

toolOf

STABILITY



COMMENT ÇA TIENT?



COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ÉLÉMENTAIRES

Le kit d'assemblage mécanique **TOOLOF STABILITY** permet d'appréhender par des manipulations et des expériences physiques les phénomènes élémentaires qui sont en jeu dans la **stabilité d'une structure filaire**; les principes de contreventement, la compression et la traction, les efforts sur appuis.

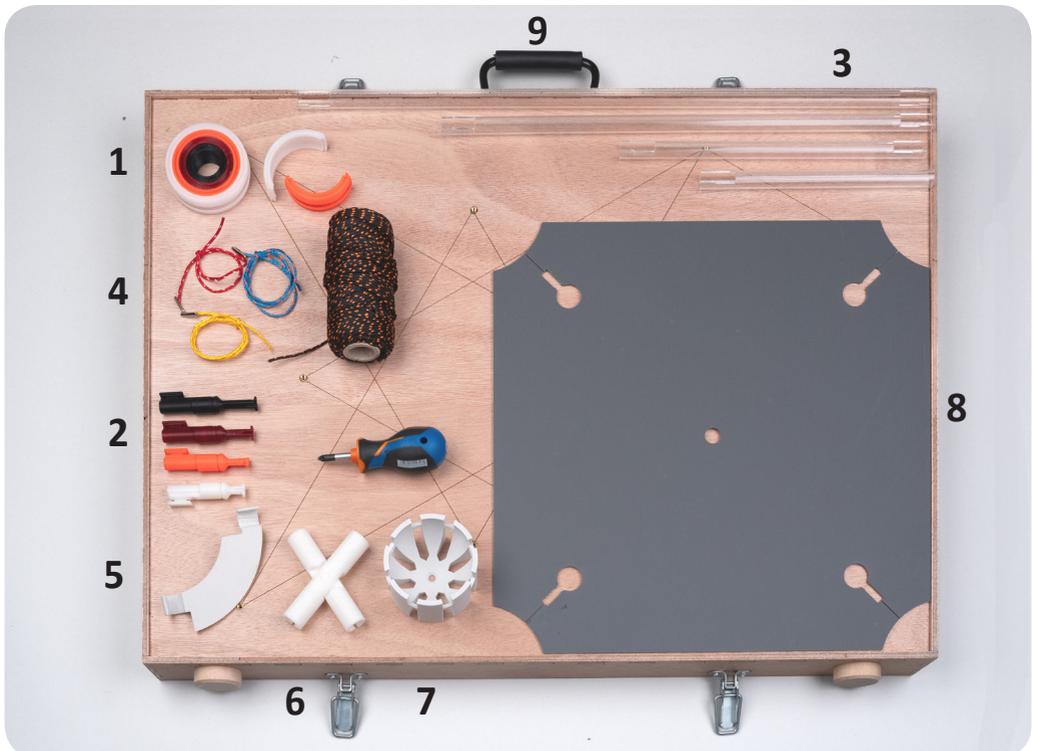
Le kit est constitué de pièces à assembler pour construire des figures en 2d et en 3d composées de barres et de nœuds de liaison articulés qui n'assurent donc pas la rigidité des assemblages. Pour cela il faudra mettre en œuvre des éléments dits de «contreventement».

Ce livret présente des exemples de figures en 2d et formes en 3d en proposant des manipulations visant à rendre explicites les logiques en jeu dans la stabilité d'une structure filaire.

CE KIT EST À DESTINATION D'UN PUBLIC D'ENSEIGNANTS, DE FORMATEURS, DE COLLÉGIENS, LYCÉENS ET D'ÉTUDIANTS.
DOMAINES D'APPLICATION, ARCHITECTURE, INGENIÉRIE,
MÉCANIQUE, DESIGN...

LES PIÈCES DU KIT.

1. ROTULES D'ASSEMBLAGE APPELÉES GYROSCOPES ET DEMI-BAGUES
2. CONNECTEURS ROTATIFS
3. TUBES CREUX RIGIDES ET TRANSPARENTS
4. LACETS APPELÉS TIRANTS ET BOBINE DE 50M
5. GOUSSETS
6. CROIX
7. PLOTS D'ANCRAGE
8. VOILES
9. MALLETTE.



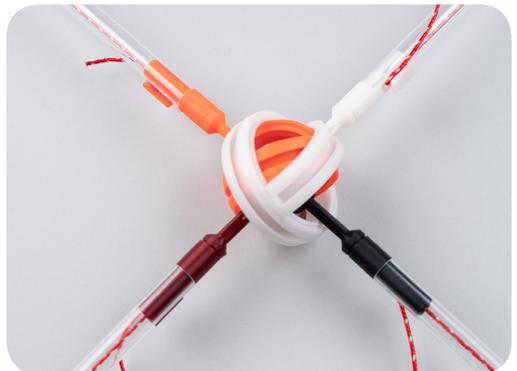
1. LA ROTULE D'ASSEMBLAGE OU «GYROSCOPE»

Le gyroscope est constitué de 4 anneaux de diamètres croissants articulés entre eux autour d'un point central.

La partie convexe de chacun de ces anneaux est creusée d'une gorge servant à la fixation des connecteurs.

Des demi bagues peuvent être clipsées sur le flanc des deux anneaux extérieurs.

Elles permettent de maintenir une articulation entre deux barres assemblées dans le même axe sur un gyroscope.



2. LE CONNECTEUR

La tête du connecteur est rotative et munie d'une broche permettant la fixation du connecteur au gyroscope. Elle est déclinée en 4 longueurs de façon à compenser la distance variable entre chacun des anneaux et le point d'articulation central du gyroscope.

A l'autre extrémité, le corps du connecteur est prolongé d'un manchon qui permet de recevoir le tube creux.

Le corps du connecteur est traversé d'une cavité par laquelle passe le lacet appelé «tirant».

Un taquet situé au débouché de cette cavité permet de fixer le lacet. Il sert en outre à la fixation du voile sur un gyroscope.



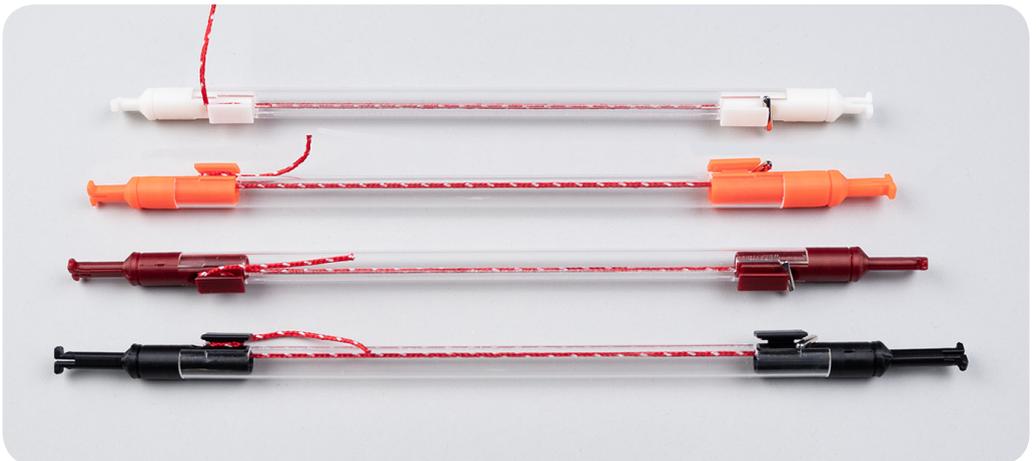
3. LE TUBE

Le tube est raide et transparent. Il prend place entre deux connecteurs sans y être fixé. Il est percé d'une gorge de 2mm sur toute sa longueur et grugé aux deux extrémités.

Le tube peut être délogé ou installé entre les connecteurs en laissant le tirant en place.

Il est décliné en plusieurs longueurs pour permettre de réaliser des assemblages de diverses formes.

Un assemblage tube + lacet entre 2 connecteurs prendra le nom de «barre».



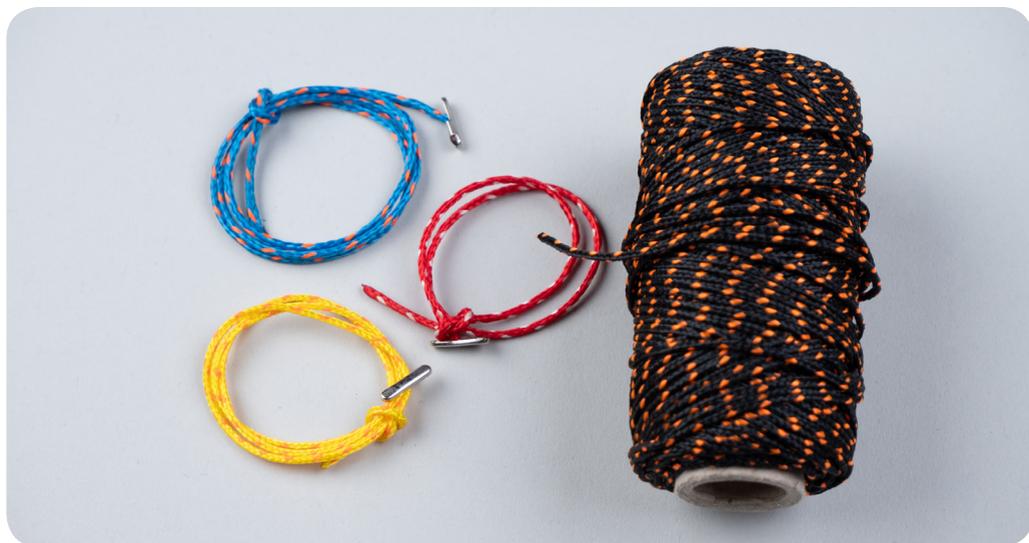
4. LE TIRANT

Il s'agit d'une cordelette sans élasticité munie d'un ferret d'un seul côté. L'amarrage manuel du lacet au connecteur n'est donc nécessaire que d'un seul côté, par enroulement sur le taquet.

Le tirant peut être délogé sans avoir à démonter le tube transparent.

Le lacet est décliné en plusieurs longueurs et couleurs correspondant à celles des tubes.

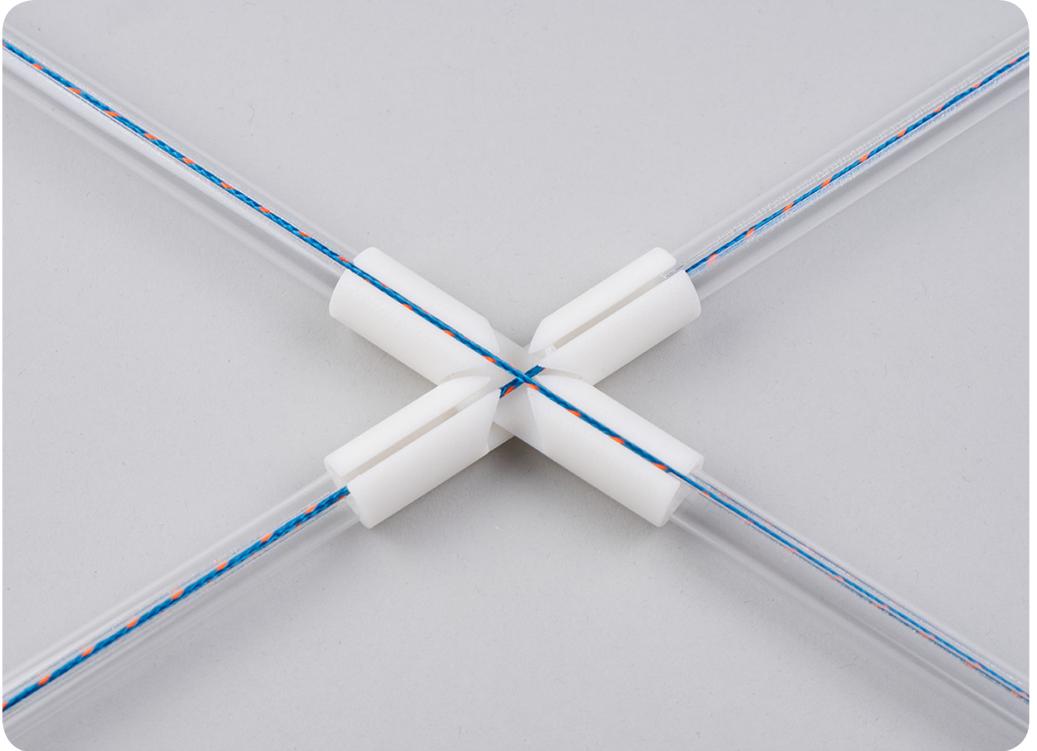
Une bobine de 50m est également fournie pour permettre de réaliser des assemblages hors format.



5. LA CROIX

Cette pièce sert à réaliser des assemblages mettant en œuvre deux barres en diagonale dans un même plan.

La croix dite «de Saint-André» est articulée de sorte à s'adapter aux angles variables selon la position du contreventement dans une forme tridimensionnelle.



6. LE GOUSSET.

Cette pièce clipsée entre deux barres disposées à 90° l'une de l'autre permet de bloquer l'articulation et de les fixer ensemble.

Les goussets forment des nœuds rigides qui permettent de s'affranchir d'un autre dispositif pour stabiliser une forme.

Elles permettent en outre de stabiliser provisoirement une figure en 3D durant son montage.

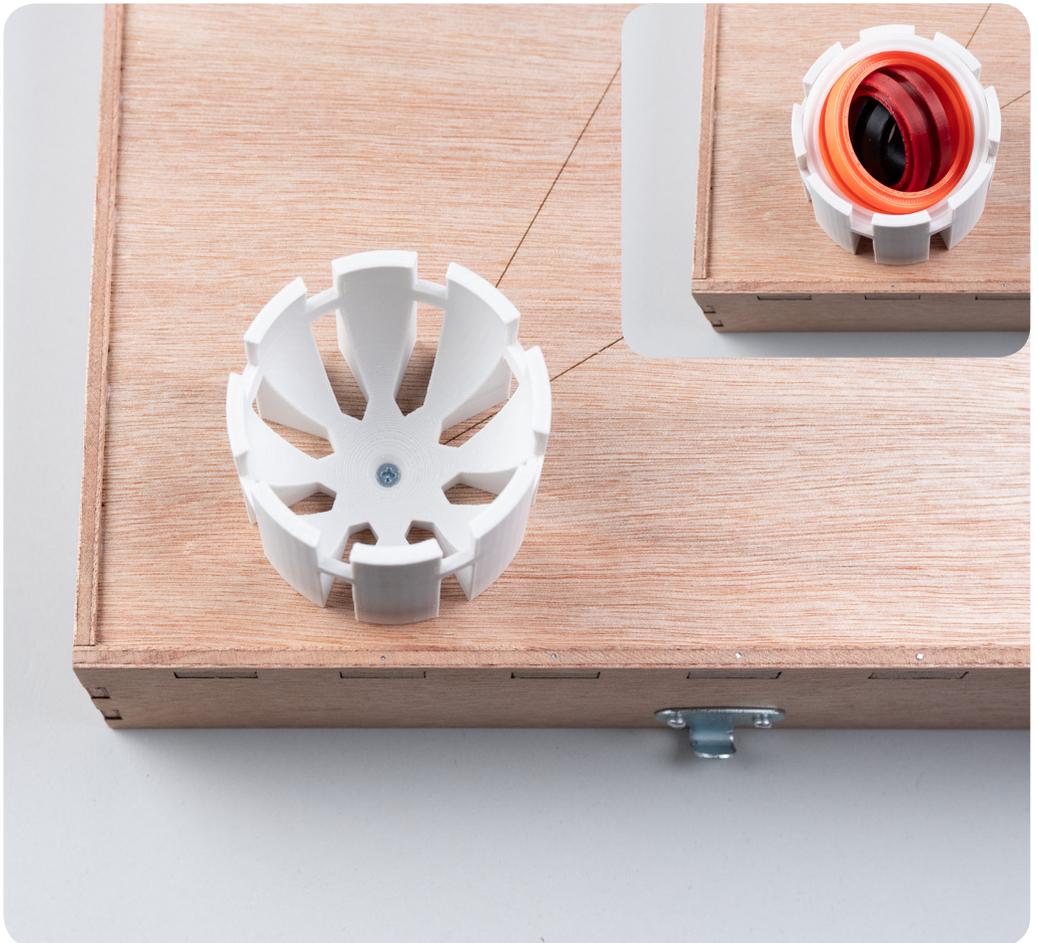


7. LE PLOT D'ANCRAGE

Cette pièce accueille le gyroscope qui y est emboîté en force. Le gyroscope placé dans le plot conserve toute sa mobilité.

Le plot d'ancrage peut être fixé sur les deux plateaux de la mallette ou tout autre support planimétrique au moyen d'une vis.

Il peut également être utilisé comme appuis glissant s'il n'est pas fixé sur un plateau.

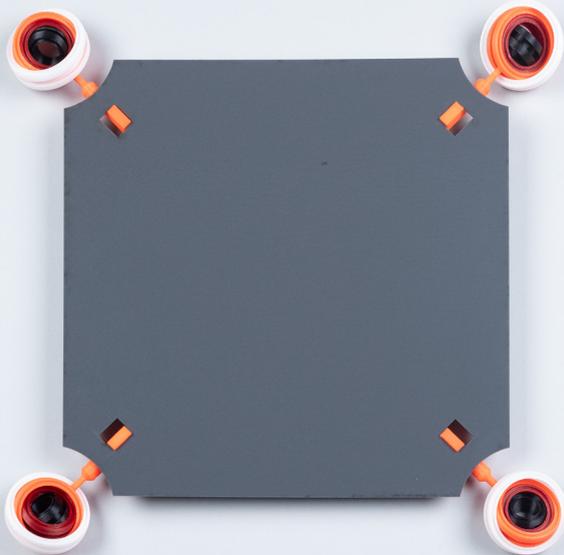


8. LE VOILE

Il s'agit d'une surface plane constituant un voile de forme carrée.

S'il est indéformable dans le plan XY , ce voile est souple et ne remplit pas toutes les conditions pour rigidifier une structure en 3 dimensions.

Il est assemblé aux gyroscopes par l'intermédiaire de quatre connecteurs clipsés dans les angles.



9. LA MALLETTE

Les deux capots de la mallette sont munis d'inserts filetés qui servent à fixer les plots d'ancrage. Les deux capots juxtaposés forment un support continu.

Les percements situés sur les flancs des capots permettent de les suspendre sur une paroi pour fabriquer un support d'ancrage vertical.

Les inserts filetés encastrés sur les deux faces de la mallette peuvent également servir de « patron » pour repérer les fixations à réaliser sur un autre support.



MONTAGES SIMPLES EN 2D

Les montages qui suivent présentent des figures élémentaires en 2d dont la plupart réclame la mise en place d'éléments de contreventement pour les rendre indéformables, stables.

Plusieurs procédés, plus ou moins complexes peuvent être employés pour y parvenir, des plus consommateurs d'énergie lors des montages et de matériel, aux plus économes.

Ce livret ne rend pas compte de tous ces procédés mais invite à les découvrir en proposant quelques tests.

FIGURE TRIANGULAIRE

Le triangle est une figure indéformable quelque soit le mode d'assemblage entre les arêtes qui lui donnent sa forme. Forme dont il sera souvent fait usage pour contreventer une structure.

Les 3 côtés sont constitués de tubes et de lacets, ces barres résistent donc à des efforts de traction et de compression.

Test

- *supprimer le tube sur un côté. Quelle action exercer sur la figure pour qu'elle reste stable?*
- *idem en supprimant un lacet*



FIGURE CARRÉE

Cette figure est constituée de 4 gyroscopes, 8 connecteurs et 4 barres elles-mêmes constituées de tubes mis en compression entre les connecteurs par les lacets en tension.

Cette figure n'est pas stable car les nœuds de liaisons sont articulés.

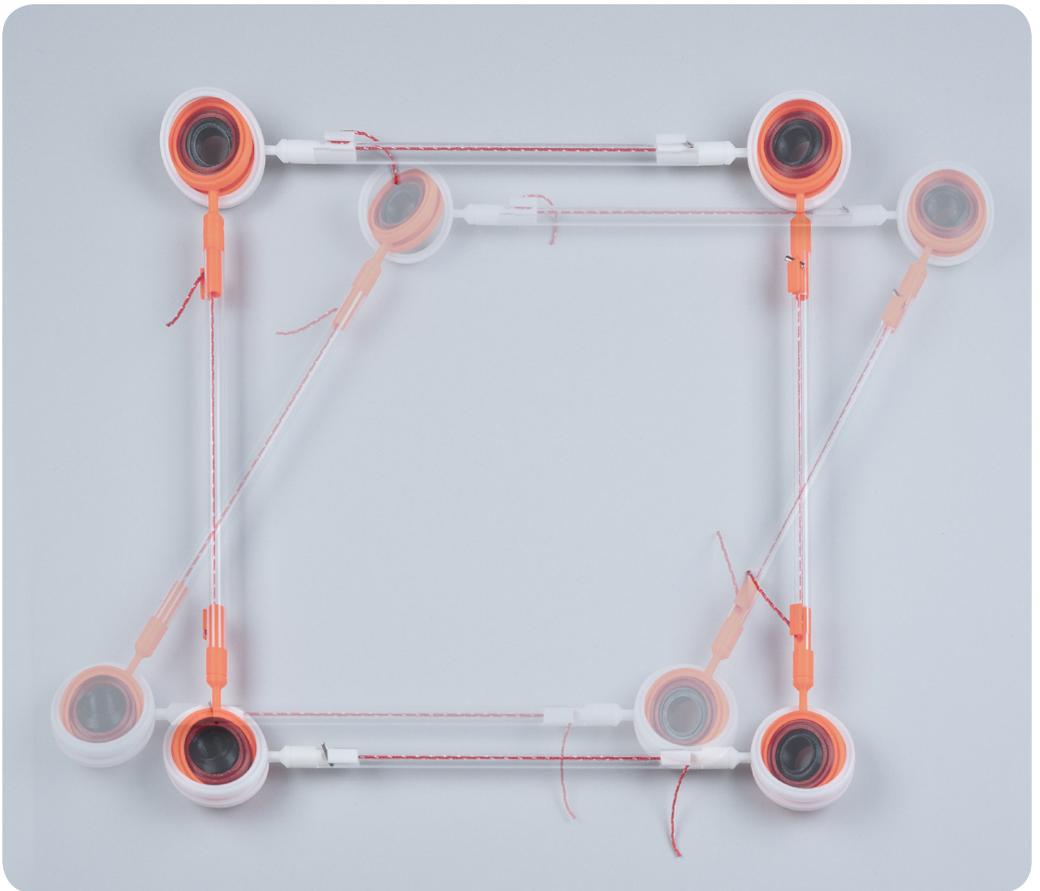


FIGURE CARRÉE # 1

L'un des procédés permettant de stabiliser cette figure consiste à la trianguler par une barre en diagonale qui résiste aux efforts de compression et de traction.

Test

- *supprimer le tube en diagonale, ou*
- *supprimer le lacet en diagonale*
- *supprimer un tube et/ou un lacet sur le contour de la figure carrée*

- ...

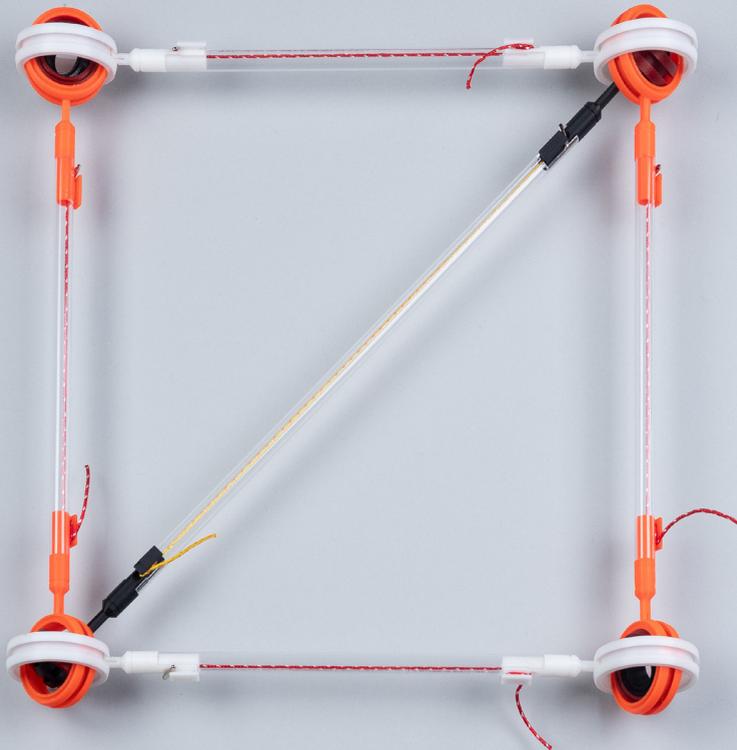


FIGURE CARRÉE # 2

Un autre procédé permettant de contreventer cette figure consiste à la trianguler par deux barres en diagonale composées de tubes en compression et de tirants.

Test

- *supprimer les tubes en diagonale, ou*
- *supprimer les lacets en diagonale*
- *supprimer les tubes ou les lacets sur le contour de la figure carrée*
- ...

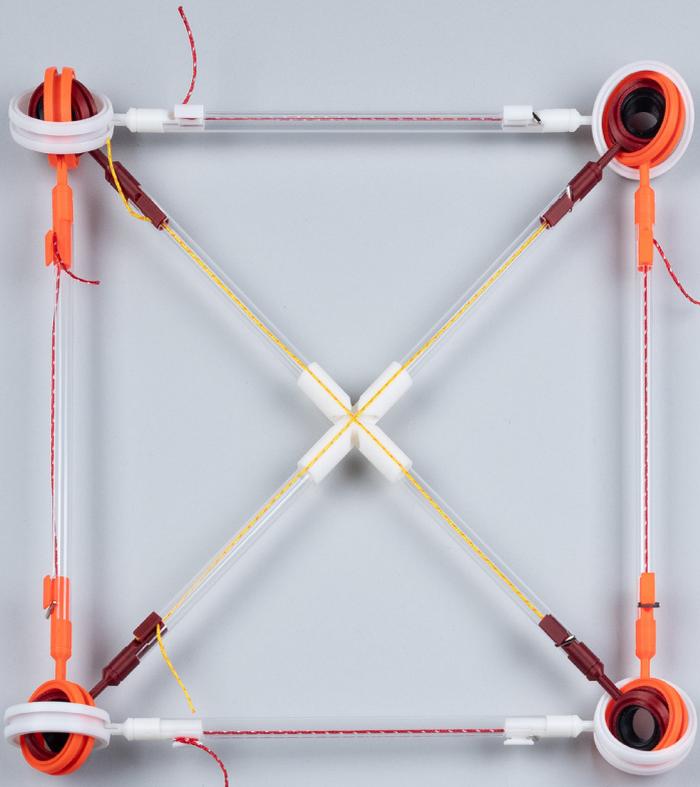


FIGURE CARRÉE # 3

Les goussets assemblés aux 4 angles de la figure suppriment l'articulation des assemblages, par conséquent la figure est stabilisée.

Test

- *supprimer un gousset*
- *supprimer deux goussets*
- *ne conserver qu'un seul gousset*
- ...

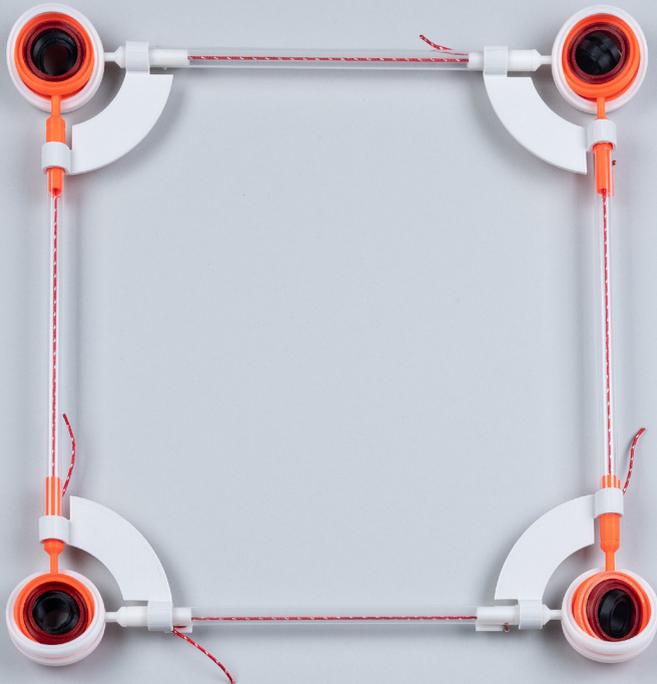


FIGURE CARRÉE EN # 4

La mise en oeuvre d'un plan rigide et indéformable dans le plan XY remplace tout autre dispositif de contreventement pour cette figure en 2d.

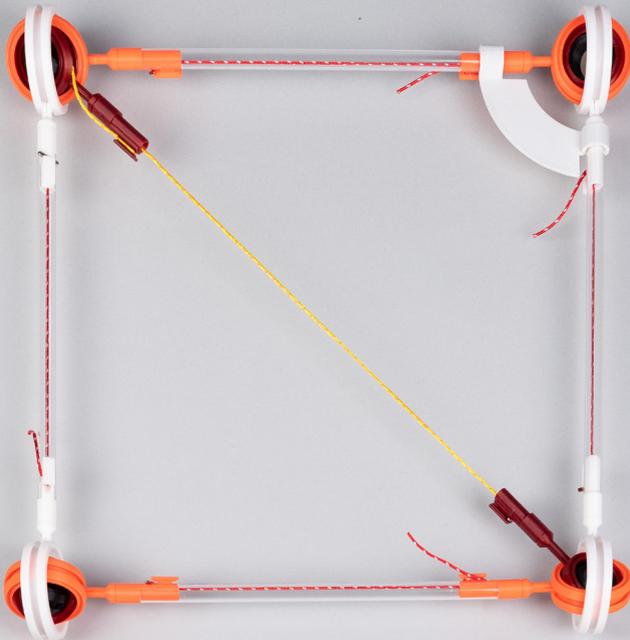


FIGURE CARRÉE EN # 5....

D'autres solutions peuvent être envisagées pour contreventer cette figure en associant les différentes pièces fournies dans la mallette. Ici, la figure carrée est rendue indéformable en associant un gousset et un tirant en diagonale.

Test

- *supprimer le gousset*
- *supprimer les tirants des arêtes du carré*
- *ajouter un tube sur la diagonale*
- ...

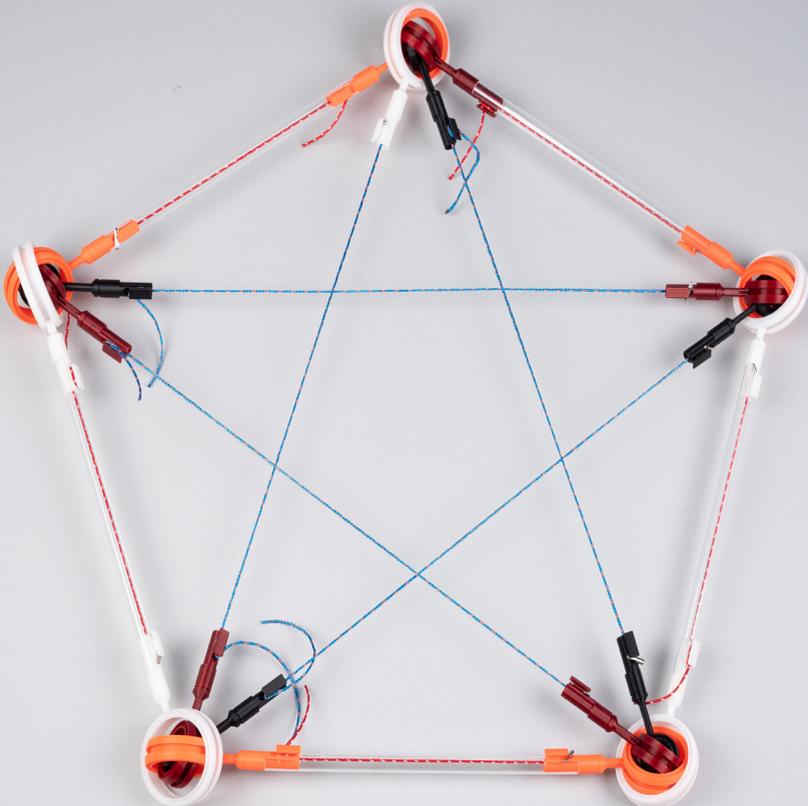


LE PENTAGONE

5 barres reliées à 5 gyroscopes forment la figure pentagonale. Des tirants relient deux gyroscopes pour former des triangles. La juxtaposition de ces triangles forme un pentagone indéformable.

Test

- supprimer un et plusieurs tirants à l'intérieur de la figure
- supprimer un et plusieurs tirants à l'extérieur de la figure
- supprimer un tube
- ...

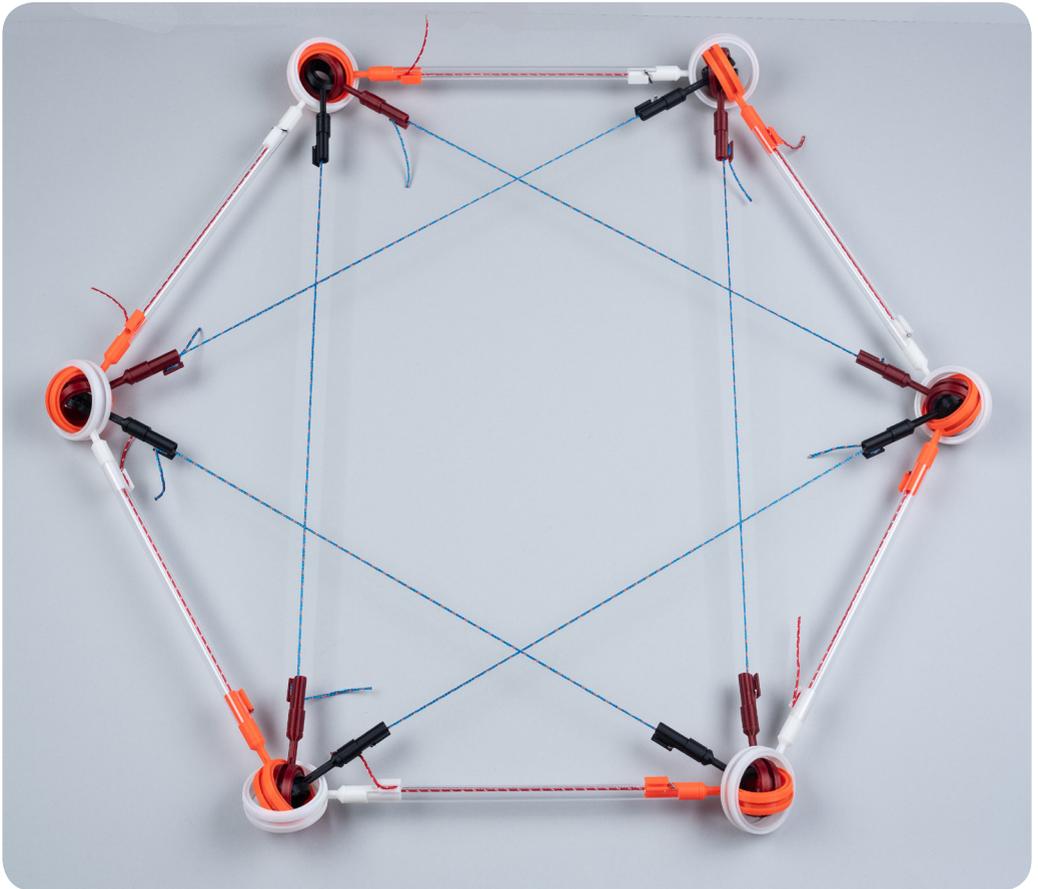


L'HEXAGONE

6 barres reliées à 6 gyroscopes forment la figure hexagonale. Les tirants relient deux gyroscopes pour former des triangles. La juxtaposition de ces triangles forme un hexagone indéformable.

Test

- supprimer les tirants en périphérie de la figure
- supprimer un ou plusieurs tirants à l'intérieur de la figure
- ...



MONTAGES SIMPLES EN 3D

Les montages qui suivent présentent des formes élémentaires dont certaines réclament également la mise en place d'éléments de contreventement pour les rendre indéformables.

Là aussi, plusieurs procédés, plus ou moins complexes peuvent être employés, des plus consommateurs d'énergie et de matière aux plus économes.

LE TÉTRAÈDRE RÉGULIER

Formé de faces triangulaires le tétraèdre, régulier ou non est indéformable. Cf le triangle 2d.

Les arêtes sont constituées de barres résistant à la compression et la traction.

Test

- *supprimer les tirants des 3 barres supérieures*
- *supprimer les 3 tubes de la base*
- *à quelles conditions cette forme reste t-elle stable?*
- ...



LA PYRAMIDE, PRISME À BASE CARRÉE

Elle est constituée de 4 faces triangulaires sur une base carrée. Les arêtes sont constituées de barres résistant à la compression et la traction. La pyramide est auto-stable mais se déforme si elle ne repose pas sur sa base.

Test

- *supprimer les tubes reliant la base de la pyramide.*
- *supprimer les tirants des 3 barres supérieures*
- *à quelles conditions cette forme reste t-elle stable?*
- ...



L'OCTAÈDRE

Il s'agit d'une pyramide reproduite en miroir sur sa base carrée.

Les arêtes sont constituées de barres résistant à la compression et la traction. Cette forme est stable quelque soit sa position dans l'espace et les contraintes exercées.

Test

- *supprimer les tubes de la base carrée des pyramides*
- *supprimer d'autres pièces des figures triangulaires*
- ...



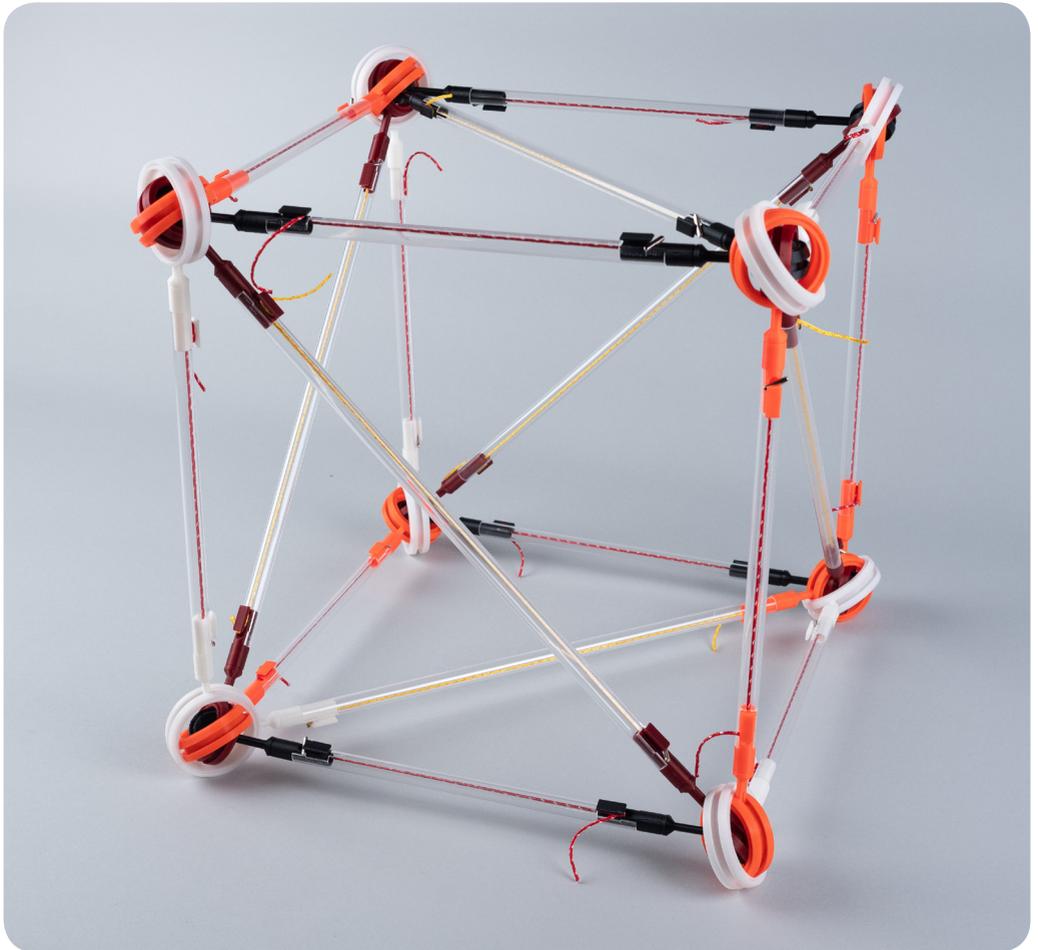
LE CUBE - # 1

Toutes les faces du cube sont contreventées par des barres résistants à la compression et la traction.

Le cube est indéformable mais les moyens mis en oeuvre sont excessifs: 18 tubes + 18 lacets.

Test

- quelles sont les pièces qui peuvent être supprimées sans que le cube ne se déforme?

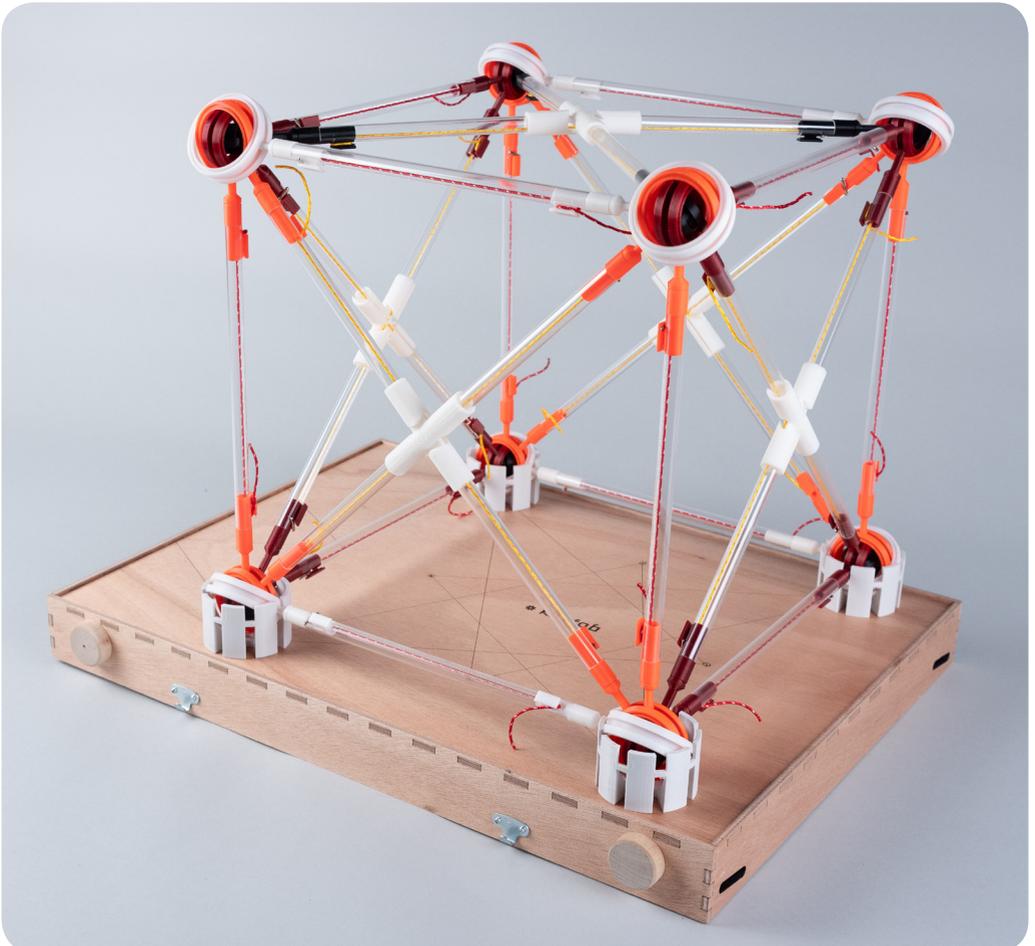


LE CUBE - # 2

Les versions suivantes présentent un cube dont la base est encastrée dans des plots eux-mêmes fixés au plateau de la mallette. Toutes les faces de ce cube sont contreventées par des barres croisées en diagonales. ce montage présente un nombre de pièces excessif pour atteindre le but recherché.

Test

- quelles sont les pièces qui peuvent être supprimées sans que le cube ne se déforme?

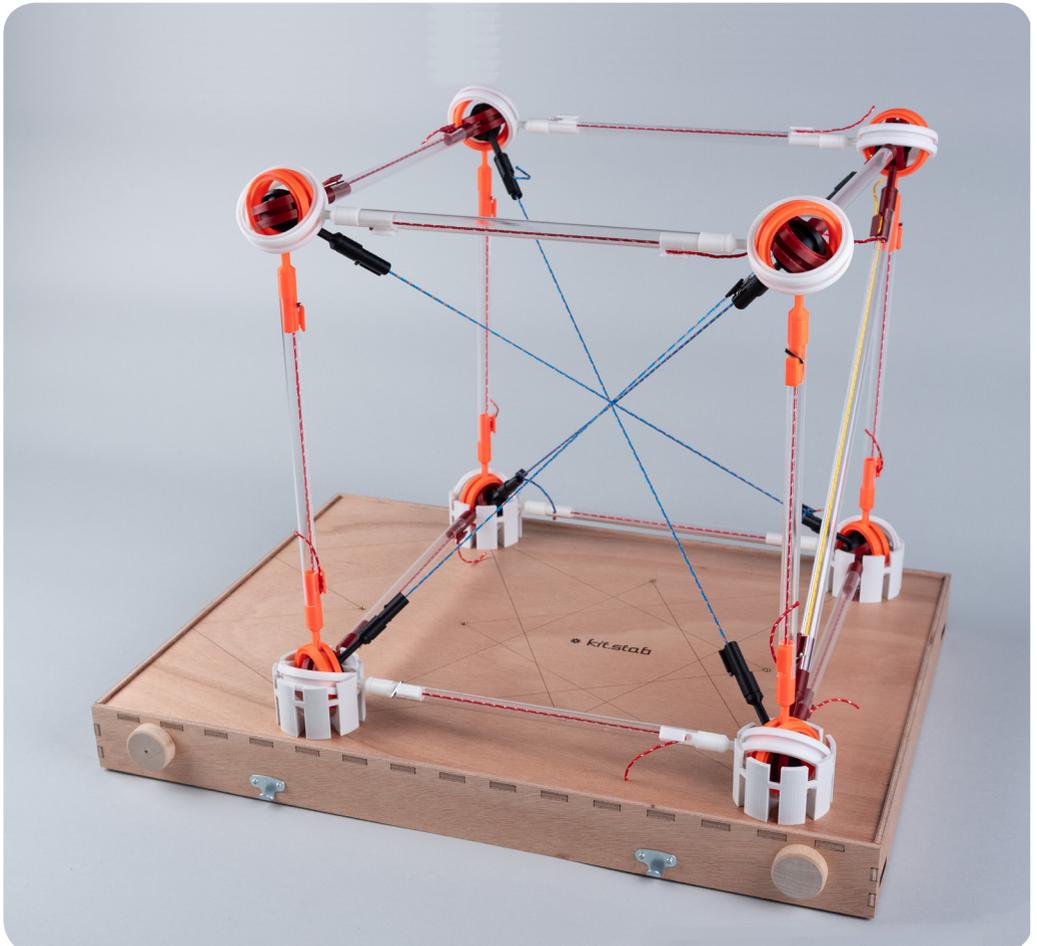


LE CUBE - # 3

Une série de tirants relie chaque sommet du cube. Une barre est installée dans la diagonale d'une des faces du cubes.

Test

- *supprimer les barres entre les plots*
- *supprimer la barre en diagonale*
- *supprimer l'un des tirants situés à l'intérieur du cube*
- ...

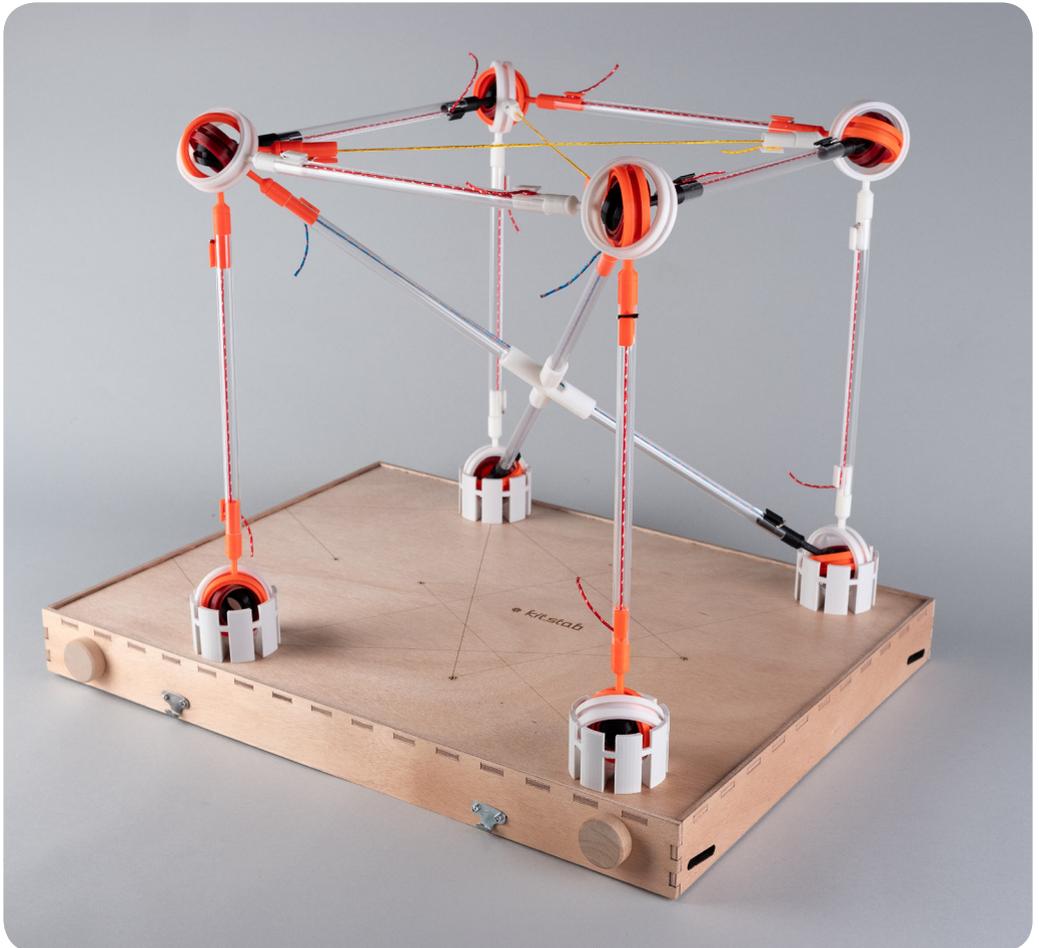


LE CUBE - # 4

Ici, une croix de Saint-André est installée dans la diagonale du cube. La face supérieure du cube est contreventée par des tirants croisés.

Test

- *supprimer les tirants de la face supérieure*
- *supprimer les tirants des 4 pieds*
- ...

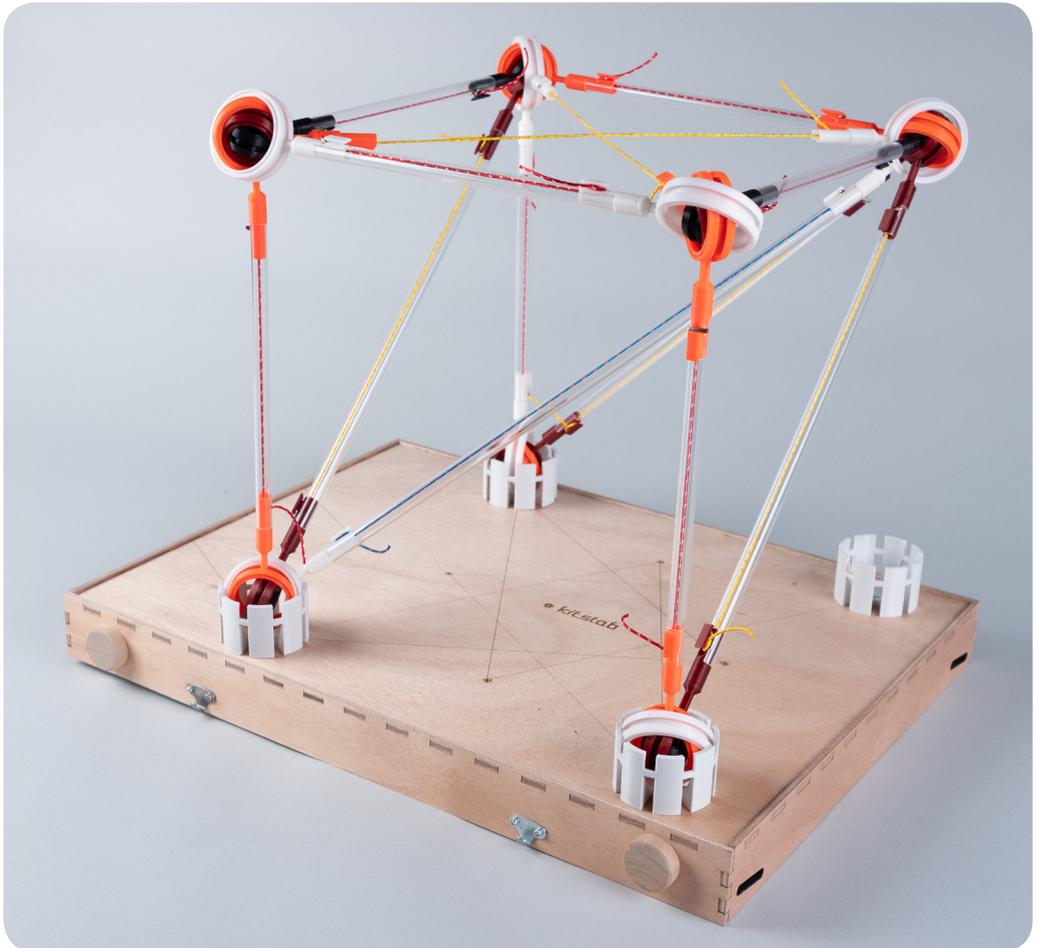


LE CUBE - # 5

Dans cette version, une liaison transversale est mise en place entre deux sommets opposés du cube.

Test

- quelles pièces peuvent être supprimées sans que le cube ne se déforme?

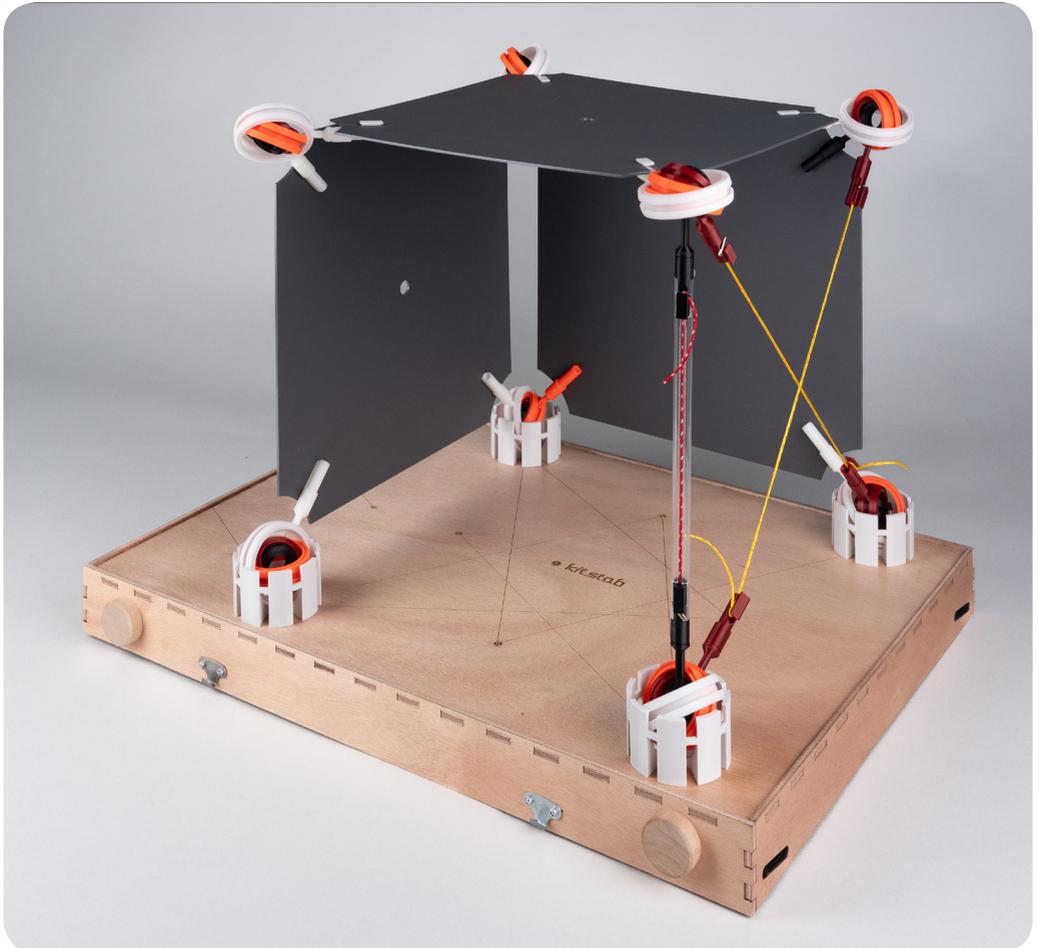


LE CUBE - # 6

La figure est ici contreventée par 3 voiles et 2 lacets croisés en tension.

Test

- *supprimer les tirants, quelle déformation subit la figure?*
- *à quoi est due cette déformation?*

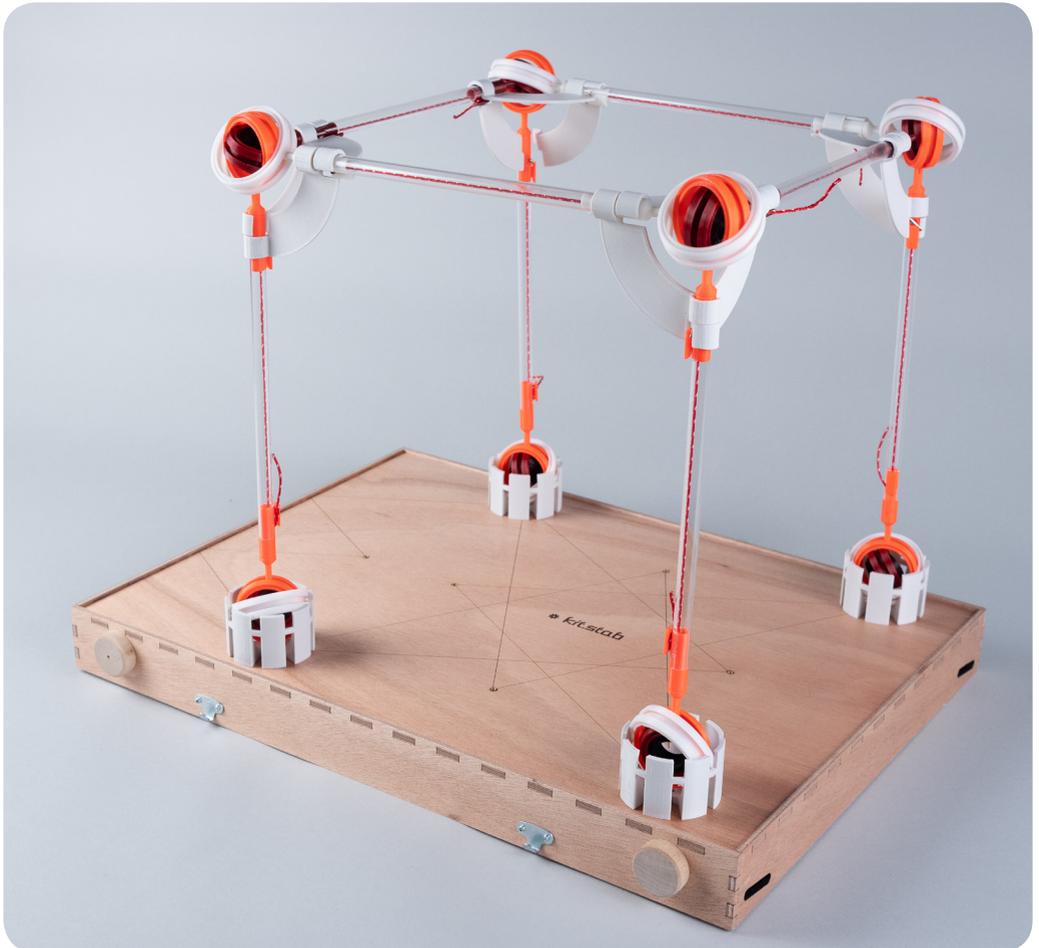


LE CUBE - # 7

4 séries de 3 goussets sont installées dans les angles du cube pour former des portiques.

Test

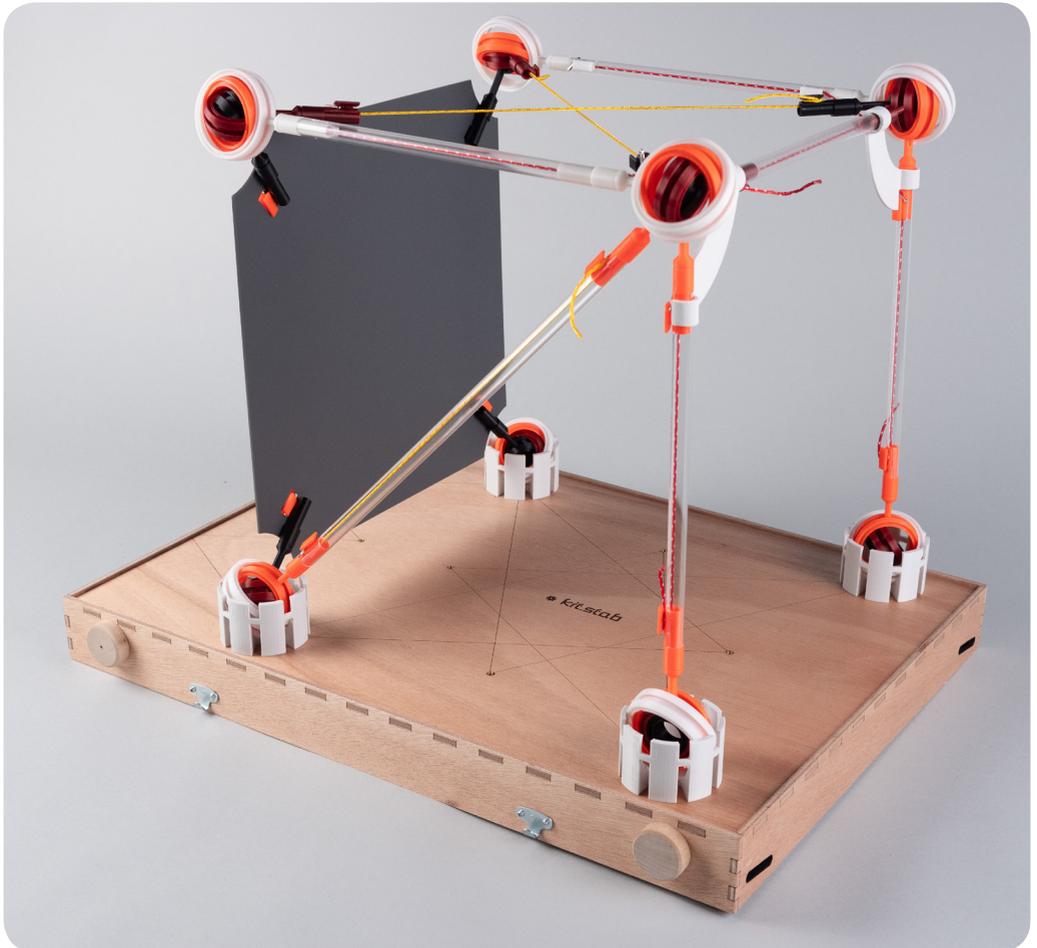
- supprimer un jeu de goussets puis plusieurs jeux



LE CUBE - # 8

D'autres procédés peuvent être déclinés en associant, tubes en compression, lacets en tension, goussets, croix de Saint-André et voiles en un nombre considérable de combinaisons.

Ici le cube est contreventé par l'association de 2 tirants croisés, 1 voile rigide, 2 goussets et 1 barre en compression et traction.



AUTRES MONTAGES EN 3D

Les exemples de montages suivants présentent des structures plus sophistiquées; tour, poutres sur 2 appuis, porte-à-faux, structure haubanée etc.

Chacun de ces montages pourrait être optimisé en observant quels sont les efforts exercés sur les barres.

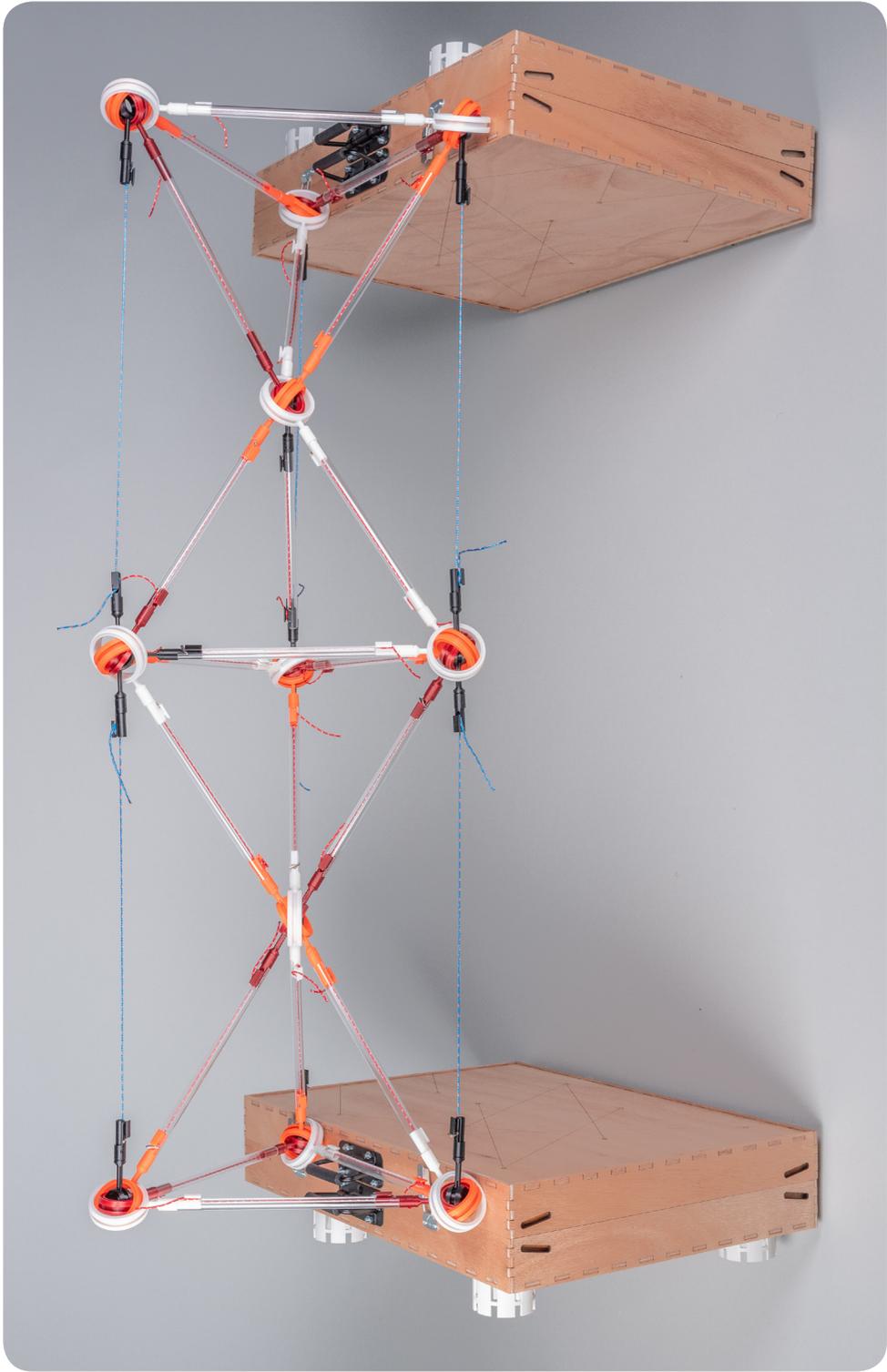
Le kit permet de réaliser un grand nombre de structures et ouvre la voie à de multiples expériences.



STRUCTURE VERTICALE HAUBANÉE



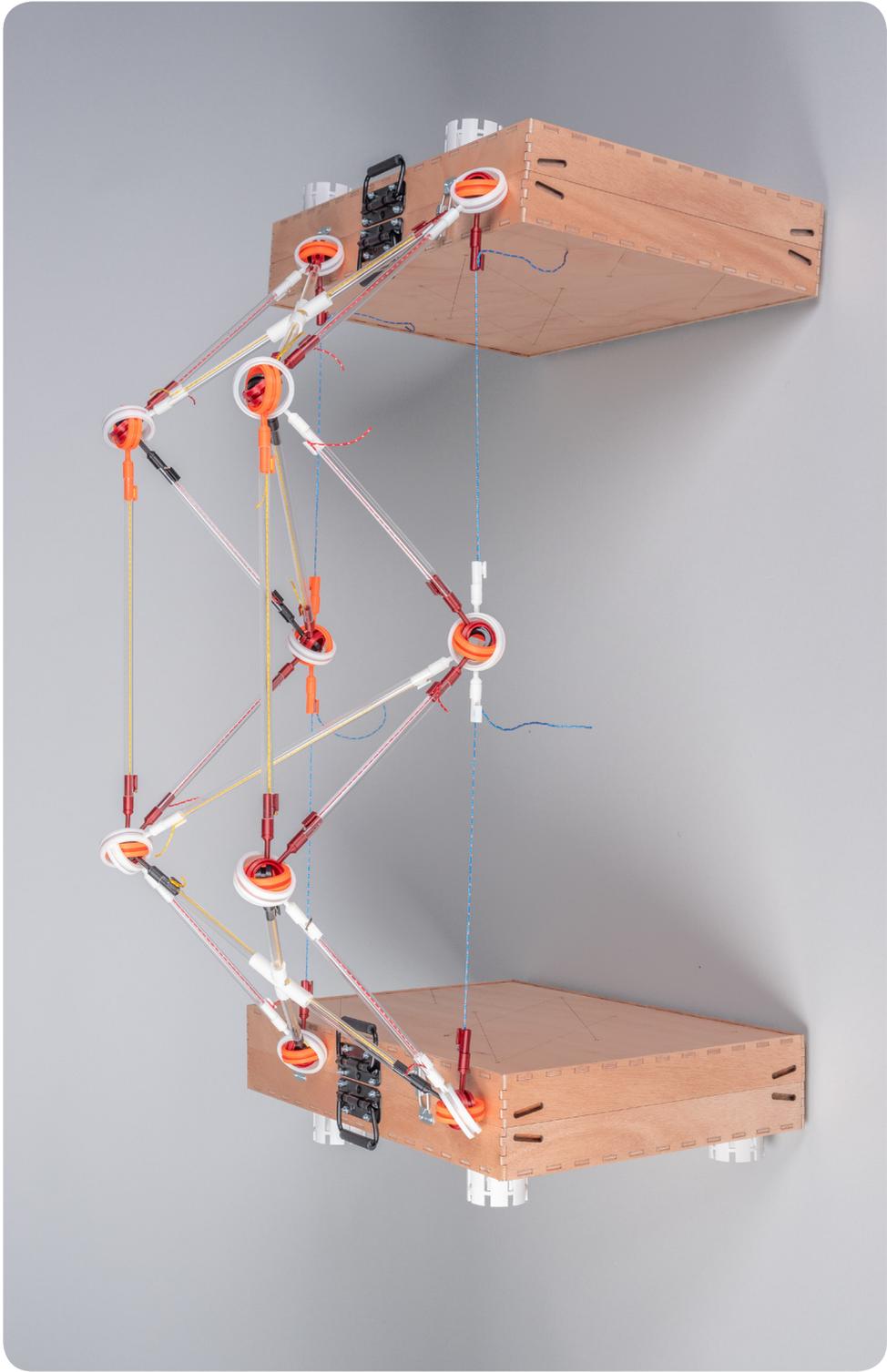
SYSTÈME DE TENSÉGRITÉ



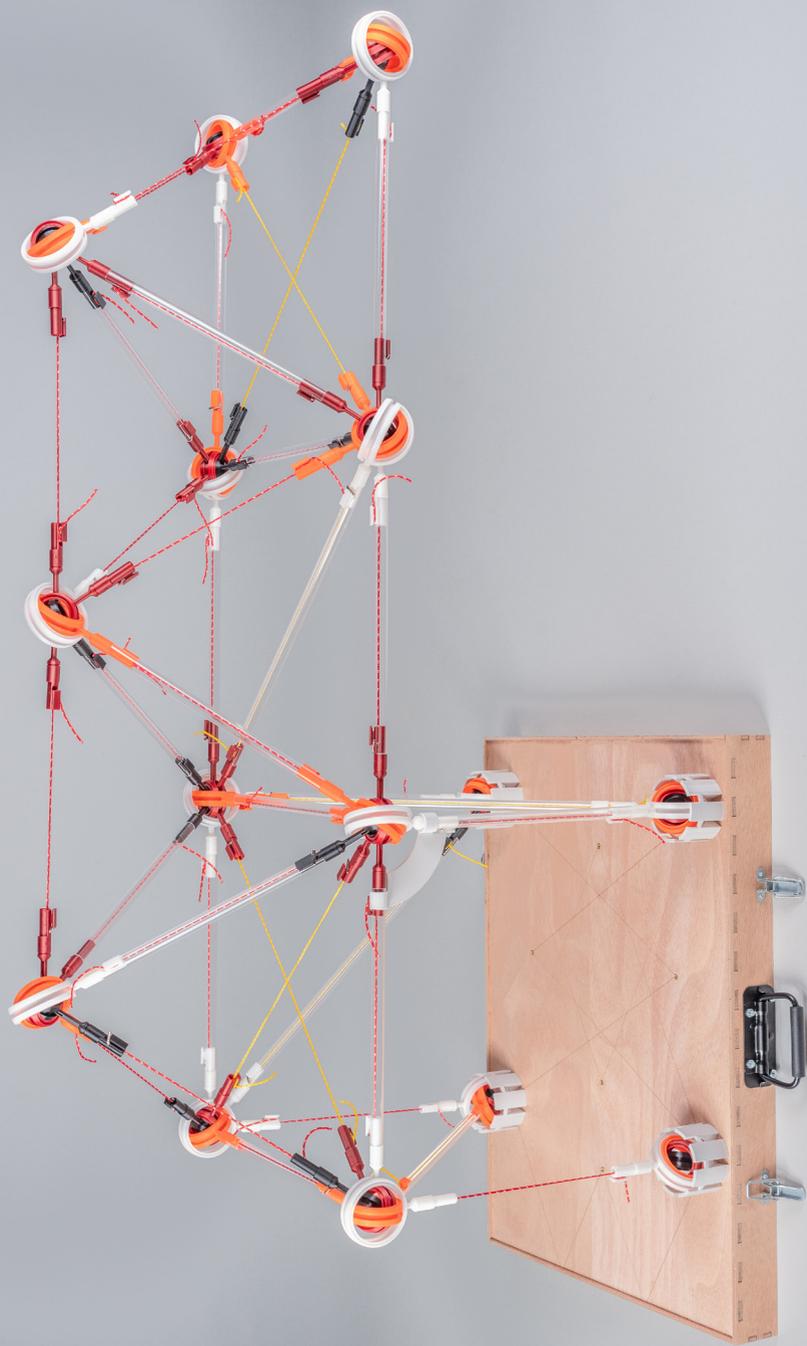
POUTRE SUR DEUX APPUIS # 1



POUTRE SUR DEUX APPUIS # 2



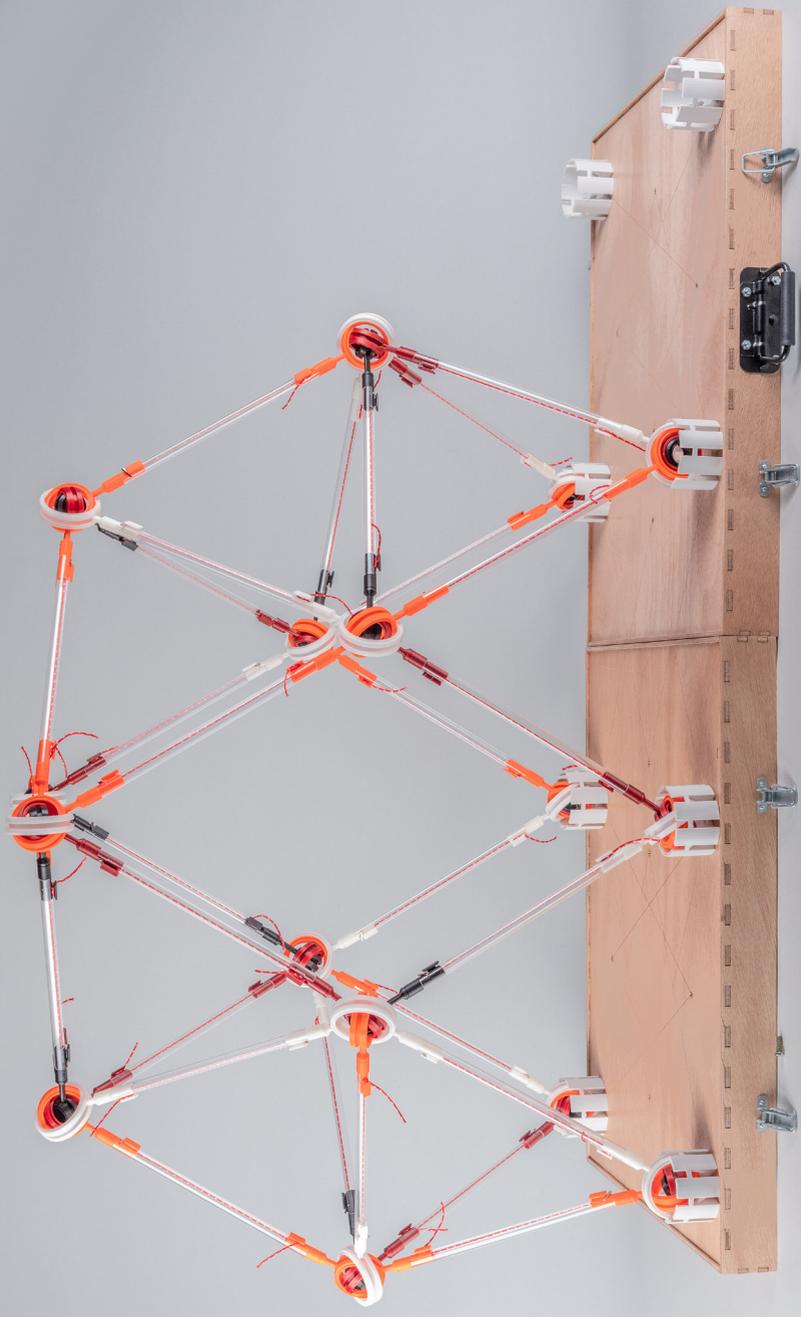
POUTRE SUR DEUX APPUIS # 3



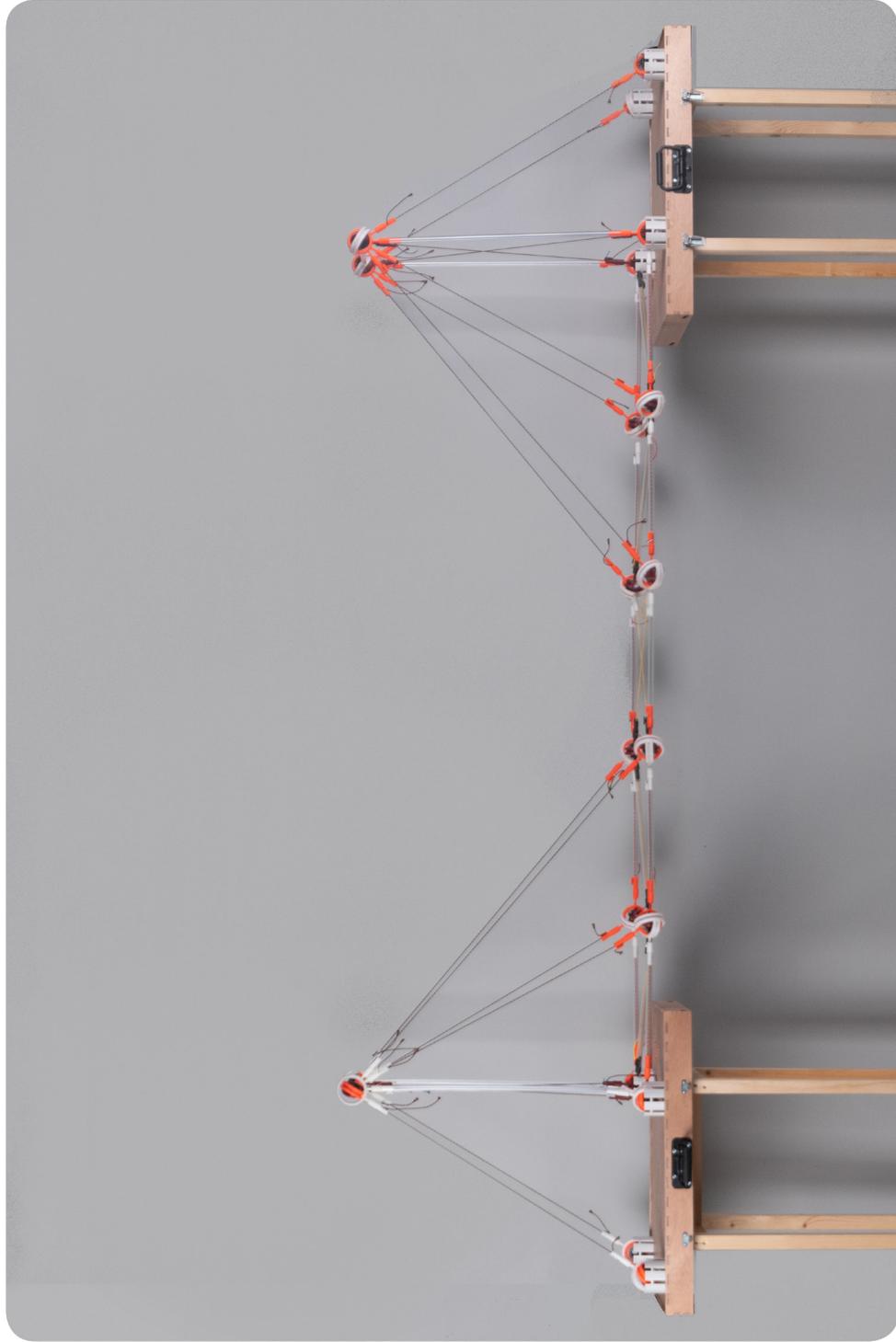
PORTE-A-FAUX



STRUCTURE TENDUE OU HAUBANÉE



STRUCTURE COQUE A BASE DE TRIANGLES



STRUCTURE TYPE PONT SUSPENDU

CONCEPTION

Jean-Philip Lebecq architecte dplg, agence Post architectes
www.postarchitectes.com- www.toolof.fr- jphilip@toolof.eu

Maître de Conférence Associé dans le champ; Théorie et Pratique de la Conception Architecturale et Urbaine à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Lille. Responsable de session dans le cadre de l'habilitation des architectes, cursus HMONP.

Prototypage par impression 3d: HB3D, Hakim Bereksi

Maquettes et prototypage par découpe laser: Charlie Le Gonidec

Prises de vues, conseils et assistance technique: Valérie Battist architecte dplg

Conception du site web: Milo Louchart

Typographie: Bertrand Lardé



Le kit toolOF stability est breveté en France sous la référence FR 3 131 795 A1 et à l'international sous la référence PCT/EP2023/050351

PARTENAIRES

EURATECHNOLOGIES

le kit pédagogique **toolOF stability** a été retenu par l'incubateur PropTech durant la session 2022-2023.



Il a reçu une subvention du Fond Régional d'Incubation de la Région Hauts de France.



toolOF stability a reçu le soutien de l'université de lille pour la réalisation des outils de communication.



Il a participé à la première édition de l'évènement Design-up-Days organisé par la Cité du Design de Saint-Etienne.



Le kit pédagogique **toolOF stability** est soutenu par l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Lille



En octobre 2023 il est invité au salon de l'innovation par la Fédération Française du Bâtiment

Ils ont encouragé le projet. Remerciements,

Sébastien Perek, Lionel Buissières et Théo Valot / HDFID-FRI, Dominique Paret / Cité du Design - Bernarth Godbille, Sébastien Muteba, François Lacoste, Xavier Buchianeri, Axel Vénacque, Didier Debarge et Pablo Lhoas, / ENSAPL- Yoann Devynck et Vincent Lagache / Post architectes - Pascal Marquilly / Groupe A - Mathieu Barlet, Agnieszka Bogucka et Kate Hopton / Euratechnologies- Mathieu De Paepe, Olivier Laloux / UCLouvain- Julien Dhoyer - Guislain Baudelet- Sarah Genty- Joseph Benedetti - Simon Vandebussche / RVDB - Gary Lomprez / Weezart - Jérôme Lecat- Selim Pigache / FFB- Valérie Duhal et Patrice Théry / Univ.Lille- Johann Leost / ICAM- Christian Vernet- Guylaine Huet / Le Freynoy...