

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PRATIQUE ET PRAGMATISME EN DESIGN :
LE PROJET D'UN CERF-VOLANT

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN DESIGN DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
PIER-LUC LUSSIER

JANVIER 2020

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Un sincère merci à Céline, qui a accepté de se laisser emporter par ce projet, qui m'a guidée tout au long du processus et qui a su modérer mes envolées. Mille mercis pour l'aide soutenue, l'immense générosité, la bonne humeur et la motivation qui ont porté ce projet vers la réussite.

Un merci particulier à :

Jean-Michel, pour toute l'aide à tenir des cerfs-volants, à attacher des câbles en tension, à prendre des photos en courant, à corriger mes fautes d'orthographe, à chialer sur l'actualité, et j'en passe...

À Sinisha, pour les coups de pied de motivation, mais aussi pour l'amitié.

À Carlo, pour la disponibilité et le partage de connaissances.

À Mark Poddubiuk, pour le *coaching*, les bons conseils et les livres.

À Réjean Legault, pour les références fort pertinentes et les discussions fort savantes.

À Patrick Evans, de m'avoir convaincu (deux fois) de le faire.

À Thomas-Bernard et Carole, pour la première année.

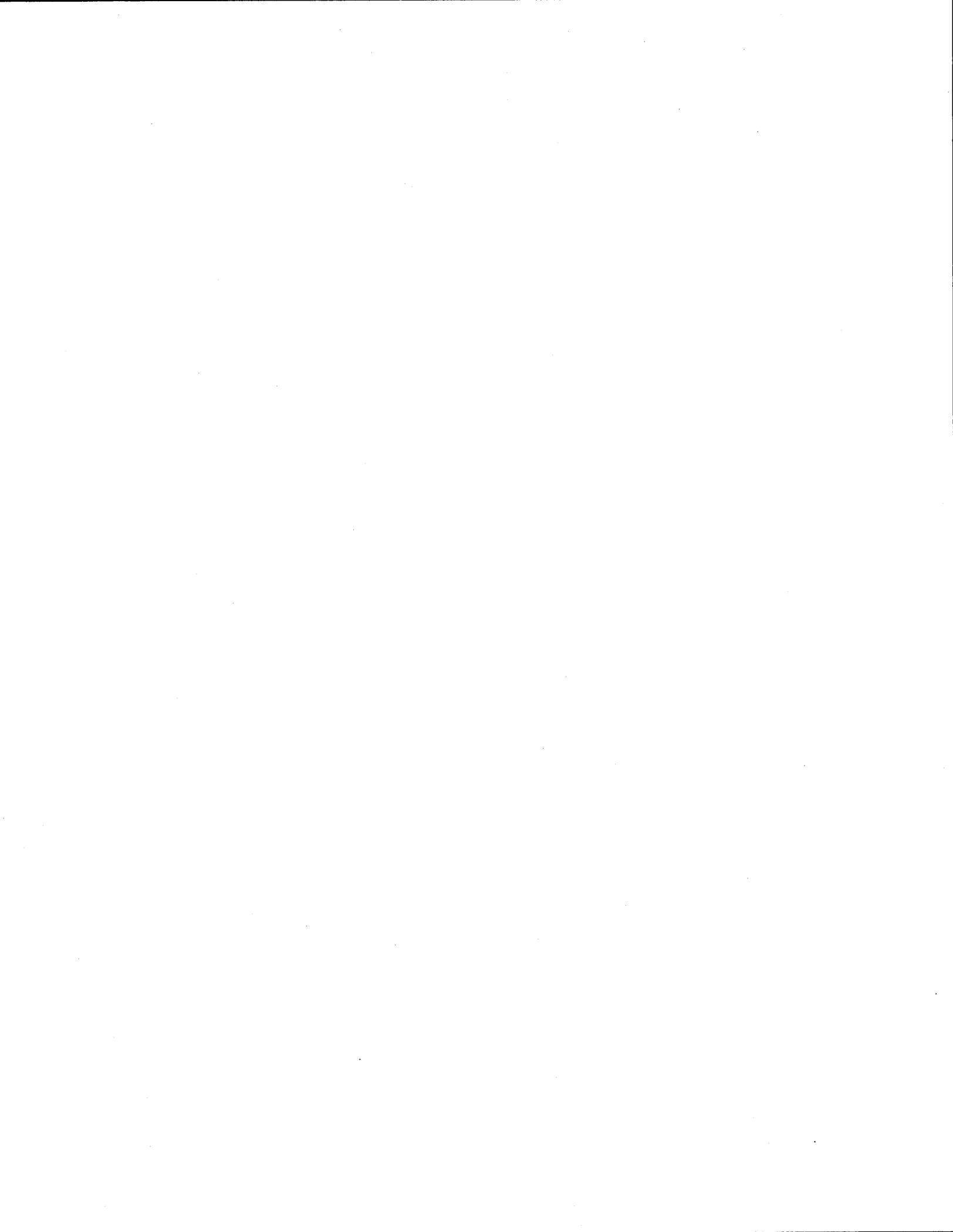
À David (Jim), pour la complicité, les discussions sans fin et les projets qui ne mènent nulle part.

À Jacob, pour les photos et aussi en tant qu'adversaire redoutable de Badminton.

À Louise pour la bonne humeur et les plaisirs de la colocation de bureau.

À Maxime et Joel pour le coup de main à Halifax : C'est pas grave les gars si ça' pas volé.

Et bien sûr, merci à Emilie pour sa sensibilité, sa générosité, sa sérénité et son sens de l'organisation fort utile qui m'ont permis de m'investir à 100% dans ce projet.



DÉDICACE

À Francine et Jean-Luc, mes sources
d'inspirations à tous ces efforts.

AVANT-PROPOS

Avant de lire ce mémoire, nous recommandons au lecteur de fabriquer un modèle en tensesgrité à trois bâtons tel que dans le schéma de la figure 2-109.

À guise d'indication, il est possible d'utiliser trois bâtons de 30 centimètres chacun, et neuf câbles de 20,4 centimètres chacun.

Bonne chance!

TABLES DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	vii
LISTE DES FIGURES.....	xi
RÉSUMÉ.....	xxi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I Vers une attitude pragmatiste en design.....	3
1.1 Le design comme activité projectuelle	3
1.2 Pragmatisme et pratique : mise au point.....	4
1.3 Entre projet et expérience	6
1.4 La création pour la recherche	8
1.5 Le jeu des hypothèses et la quête d'une vision d'ensemble	10
1.6 Jeu de langage : la relation entre règles et usage	13
1.7 Le jeu de langage pour le design : de l'expérimentation à l'usage.....	16
1.8 Fabriquer un objet : le laboratoire d'un cerf-volant.....	17
CHAPITRE II Les différents usages du cerf-volant	21
2.1 De la Chine à la foudre	22
2.2 Lawrence Hargrave et les formes modernes du cerf-volant	27
2.3 Alexander Graham Bell et la science de la machine volante.....	47
2.4 Charles et Ray Eames, le jeu de la matière, des formes et des couleurs	61
2.5 Le Black Mountain College, Richard Buckminster Fuller, Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson : le jeu technologique.....	82
2.6 Synthèse : définition des objectifs méthodologiques.....	102
CHAPITRE III La petite histoire de la fabrication d'un cerf-volant : sortir dehors pour que ça vole	107

2.7	Être à l'écoute, fabriquer un prototype, préciser les objectifs	107
2.8	Faire des recherches et connaître l'histoire des cerfs-volants	114
2.9	Faire l'expérience des systèmes en tenségrité à l'aide de maquettes	120
2.10	Raffiner la structure à l'aide de brevet, du vent et des tests	131
2.11	Faire d'autres hypothèses, exposer les résultats et en discuter	141
2.12	Corriger et faire voler	150
	CONCLUSION	170
	BIBLIOGRAPHIE	173
	RÉFÉRENCES DES ILLUSTRATIONS	177

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2-1 – Rassemblement Japonais	22
2-2 – Minamoto-no-Tametomo's son	23
2-3 – Early aerial invasion. Japanese kite-borne archer	23
2-4 – Birman Kite	24
2-5 – Fishing kites form the Solomons and Dobu	24
2-6 – Santiago Sacatepequez Kite Festival	25
2-7 – The Mysteries of Nature and Art	26
2-8 – A fiery drake or lozenge kite used for lofting fireworks from Mysteries of Nature and Art.	26
2-9 – Franklin Kite Experiment	27
2-10 – Hargrave and Swain demonstrate how the man-lift was achieved	28
2-11 – Model box kite, reproduction two cell, wood / cotton calico / string, designed by Lawrence Hargrave in 1893	29
2-12 – Lawrence Hargrave's extensive experiments with both dihedral and cellular configurations. Materials used ranged from tin sheet to redwood veneer	29
2-13 – Lawrence Hargrave lifted sixteen feet from the ground by a tandem of his box kites	30
2-14 – Single-celled, reflex curved aerofoil kite	30
2-15 – Cody makes an ascent during admiralty trials, Spithead	31

2-16 – Cody's man-carrying biplane glider-kite.	32
2-17 – A heroic portrait of Cody at the controls of his British Army Aeroplane, at Laffan's Plain.	33
2-18 - A train of Captain Madiot's man-lifters on trials.	33
2-19 – Madiot's kite: barrelled spars were force-fitted into a central boss, and the whole unit was held together under tension.	34
2-20 – Captain Saconney's man-lifting system, undergoing trials.	34
2-21 – Departing on a high altitude attempt under a train of Saconneys.	35
2-22 – Saconney's man-lifting kite.	35
2-23 – Gibson Kite Instruction	36
2-24 – Gibson Kite Instructions	37
2-25 – Gibson-girl box kite with assembly instruction printed upon foward cell.	37
2-26 – Sauls Barrage Kite	38
2-27 – Design for a Collapsible Kite. Serial no. 110,219	38
2-28 – San Francisco in Ruin.	39
2-29 – Patent drawing of Eddy's kite	39
2-30 – Marconi's assistant G.S. Kemp with one of the Levitor kites used for aerial elevation in Marconi's early experiments.	40
2-31 – Kite Aerial, Signal Hill.	40
2-32 – Otto Lilienthal Muehlenberg Derwitz	41
2-33 – Aircraft flown at Kitty Hawk.	42
2-34 – Francis Rogallo	43
2-35 – Francis Rogallo	43
2-36 – Flexible Kite Serial No.61 702	44

2-37 – North American Dynamics, Inc	45
2-38 – Giant Parafoil, being flown during trimming of shroud lines.	45
2-39 – Multi-cell Wing Type Aerial Device Serial No.400 734	46
2-40 – Hargrave Box kite	47
2-41 – Triangular Box	48
2-42 – Figure sans titre représentant l’agencement en triangle	49
2-43 –Compound Triangular Kite	49
2-44 – A. A triangular cell, B. A winged tetrahedral Cell.	50
2-45 –Winged tetrahedral Cells	50
2-46 –Four Celled Tetrahedral Kite	51
2-47 – The Aerodrome kitel	51
2-48 – Alexander Graham Bell (1902), [Photographie]	52
2-49 – Kite “Siamese Twins” Seen from the Frost	53
2-50 – Cygnet III	53
2-51 – Frost King	54
2-52 – Plate IV: 1.Tetrahedral cell employed in making the framework of the wind-break. 2,3 and 4 The wind-break in process of construction	55
2-53 – Plate V: 1.Wind-break completed, showing canvas rolled down. 2. Wind-break showing canvas raised 3. End view of wind-break. 4. Model of the framework for a tetrahedral house. 5. Tetrahedral nuts for fastening tetrahedral frames together.	56
2-54 – Plate VI: 1. The observation-house where the kite experiments are observed and noted. The house itself is of the tetrahedral form. 2. Front view of winged boat, the framework of which is constructed of tetrahedral cells. 3. Another view of the winged boat. 4. The winged boat in the air.	57

2-55 – Head-on front view of four unidentified men standing on a tetrahedral beam supported on sawhorses; part of Alexander Graham Bell's tetrahedral kite experiments of 1907.	57
2-56 – Bell's Tower	58
2-57 – Photo sans titre	58
2-58 – Photo sans titre	59
2-59 –Eames MoMA Chair	62
2-60 – Eames House	63
2-61 – Kwikset	64
2-62 – Architectural Forum [Page couverture]	65
2-63 – Life in a Chinese Kite [Première page de l'article]	65
2-64 – Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture	67
2-65 – Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture	67
2-66 – Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture	68
2-67 – Jay Connor (1949) View From the northwest above the retaining wall looking toward the ocean.	69
2-68 – Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture	69
2-69 – Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture	70
2-70 – House of Cards	71
2-71 – House of Cards	71
2-72 - Ray Eames with an early prototype of The Toy	72
2-73 – The Toy	72
2-74 –The Toy	73
2-75 - The Toy	73

2-76 –Kite	74
2-77 –Page couverture du magazine Portfolio	75
2-78 – Design for a kite	76
2-79 - Charles and Ray Eames (1950) [Illustration]	77
2-80 - Charles And Ray Eames (1950) [Photographies]	78
2-81 – Solar Do-Nothing Machine	80
2-82 – Solar Do-Nothing Machine	80
2-83 – Wichita House	86
2-84 – Kenneth Snelson, Black Mountain College.	87
2-85 – Fuller in his office at Black Mountain College	87
2-86 –The Dome Model with Si Sillman (bending), Buckminster Fuller, Elaine de Kooning, Roger Lovelace, and Josef Albers	88
2-87 – The "Supine Dome" under construction	88
2-88 – The "Supine Dome" under construction	89
2-89 – Fuller and class testing strength of dome	89
2-90 –Buckminster Fuller's students at the 1949 Summer Institute, Black Mountain College, demonstrate the lightness of the "Necklace Dome.	90
2-91 – Necklace Dome with outer plastic skin	90
2-92 – Necklace Geodesic Structure (14 ft., 50 lbs.), on exhibit in the Pentagon Garden	91
2-93 – Geodesic dome, Montreal, December 1950, Fuller Research Foundation, Canadian Division, Jeffrey Lindsay, Director	92
2-94 – Simon Fraser University, Burnaby.	92
2-95 – Shell truss configuration, a perfect space frame system. Complete separation of tension and compression functions with no more than three members meeting at a point	93

2-96 – Spring St. Loft	94
2-97 – Double track	95
2-98 –Crossweave	95
2-99 – Three of Diamonds	95
2-100 – Diagonal Double Cross	96
2-101 –Black and White Frame	96
2-102 – Inner Wedge	96
2-103 –Odd Kite, Art fly high at UCLA	97
2-104 –55’ shell truss beam	98
2-105 – The shell truss tower, horizontal, showing configuration and structural integrity.	99
2-106 – The kite, for which there was no precedent, is an excellent example of applied structural physics. It is exceptionally stable and efficient in flight.	99
2-107 – Festival de cerf-volant entre 1950 et 1970	101
2-108 – Ponoma’s Neighbors Progress Bulletin : Dymaxion kites	101
2-109 - Schéma d'interdépendance	103
3-1 – Ludwig Wittgenstein and William Eccles at the kite-flying station in Glossop	108
3-2 – Réplique du cerf-volant de Wittgenstein de 1,60m haut	110
3-3 –The Tang of Height	110
3-4 –Kite, based on Ludwig Wittgenstein with William Eccles at the Kite-Flying Station in Glossop, 1910	111
3-5 – Flying : Lift and Stability	112
3-6 – (Septembre 2017) Maquette de cerf-volant réalisée dans le cadre de la reconstitution.	113

3-7 – (Hiver 2018) Résultat de l'expérimentation de la reconstitution du cerf-volant de Wittgesntein.	114
3-8 – (Printemps 2018) Maquette d'exploration du tétraèdre de Bell.	115
3-9 – Expérimentation du modèle en tétraèdre.	116
3-10 –USAF space frame Konrad Wachsmann	117
3-11 –Shell Truss Space Frame	118
3-12 – Kite sketch	119
3-13 - (Septembre 2018) Maquette de structure en tensegrité en forme d'icosaèdre.	121
3-14 - Schéma d'intégration des surfaces à l'intérieur de la forme.	122
3-15 - Schéma d'apposition des surfaces sur l'icosaèdre.	123
3-16 - (Octobre 2018) Maquettes résultant de l'exploration sur les formes de l'icosaèdre.	123
3-17 - (Octobre 2018) Dessin de modélisation 3D des modifications possible de l'icosaèdre.	124
3-18 – (Octobre 2018) Test de vol.	124
3-19 – (Octobre 2018) Test de vol.	125
3-20 – (Octobre 2018) Cellule à trois tiges.	126
3-21 - Schéma explicatif d'une cellule à trois tiges	126
3-22 - (Octobre 2018) Cellule à treize tiges.	127
3-23 – Bead Chain X-Column.	127
3-24 – (Octobre 2018) Forme en tensegrité d'icosaèdre avec indicateur des cellules.	128
3-25 – Discontinuous Compression Sphere, School of Architecture, Princeton	129
3-26 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, explorant le principe de «forme négative» qui clos le système.	130

3-27 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, utilisant le principe de «forme négative» qui clos le système.	130
3-28 –Square and Hexwave	131
3-29 – Patent Drawing abandoned	132
3-30 – Patent Drawing abandoned	133
3-31 – Patent Drawing abandoned	133
3-32 – Triangle Planar Piece Model	134
3-33 – (Novembre 2018) Dessin d’analyse pour la conception d’un cerf-volant calqué sur le brevet abandonné de Snelson	136
3-34 – (Novembre 2018) Construction des trois cellules pour le cerf-volant	136
3-35 – (Novembre 2018) Assemblages des trois modules	137
3-36 – (Novembre 2018) Test de solidité et de légèreté	137
3-37 – (Novembre 2018) Installation des toiles en Tyvek	138
3-38 – (Novembre 2018) Installation des toiles en Tyvek	138
3-39 – (Novembre 2018) Documentation de l’expérimentation du cerf-volant	140
3-40 – (Janvier 2019) Photo du cerf-volant en poutre planaire	140
3-41 – (Fevrier 2019) Sketch d’inspiration d’un box kite en tensegrité	141
3-42 – (Fevrier 2019) Maquette d’une hypothèse de box kite	142
3-43 – (Fevrier 2019) Maquette d’une hypothèse de box kite	142
3-44 – (Fevrier 2019) Maquette grande échelle d’une hypothèse de box kite	143
3-45 – (Fevrier 2019) Variation d’hypothèses sur le box kite	143
3-46 – (Fevrier 2019) Variation d'hypothèses sur le box kite	144
3-47 –Tensegrity Patent	145

3-48 – Octahedral truss Patent	145
3-49 – Octahedral truss Patent	146
3-50 – Octahedral truss Patent	147
3-51 – Octahedral truss Patent	147
3-52 – (Mars 2019) Représentation de jonction de forme en tensegrité à l'horizontale	148
3-53 – (Avril 2019) Maquette de l'agencement des cellules à l'horizontale	149
3-54 – (Avril 2019) Sketch d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces, avec l'augmentation des bâtons	150
3-55 – (Avril 2019) Maquette réalisée pour tester l'allongement des bâtons	151
3-56 – (Avril 2019) Modèle «moth»: Maquette d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces	152
3-57 – (Mai 2019) Maquette d'optimisation des surfaces	152
3-58 – Modeling with soap Film	153
3-59 – Pavillon de musique à l'exposition fédérale des jardins à Kassel, Allemagne	154
3-60 – Forces impliqués dans la nouvelle hypothèse du cerf-volant	155
3-61 – Moment de force induit par les charges de vents	155
3-62 – Forces induites aux membrures des cellules	156
3-63 – Solution proposée pour utiliser la charge vive du vent pour la mise en vol	156
3-64 – Vue en élévation sur la droite de l'hypothèse proposée	157
3-65 – Schéma d'écoulement de l'air sur la voilure	157
3-66 – Schéma de portance	158

3-67 – Schéma d'écoulement de l'air de distribution de portance et de trainée induite	158
3-68 – (Mai 2019) Cadre d'une cellule à plat, sans rigidité et démonté	159
3-69 – (Mai 2019) Expérience de montage des cellules	159
3-70 – (Mai 2019) Installation des voiles sur les cellules	160
3-71 – (Mai 2019) Assemblage des ailes	160
3-72 – (Mai 2019) Montage du cerf-volant en milieu contrôlé	161
3-73 – (Mai 2019) Arrière du cerf-volant	161
3-74 – (Mai 2019) Dessus du cerf-volant	162
3-75 – (Mai 2019) Montage sur le terrain	163
3-76 – (Mai 2019) Sécurisation des assemblages	163
3-77 – (Mai 2019) Séquence d'envol	164
3-78 – (Mai 2019) Photographie du vol	165
3-79 – Dessins techniques de planches de présentation : vue en plan, vue de face	166
3-80 – Dessins techniques de planches de présentation : axonométrie, vue du côté droit.	167
3-81 – Dessins techniques de planches de présentation : perspective inversée, cellule simple de tenségrité, vue 360 degré de la voilure.	168
3-82 – Dessins techniques de planches de présentation : vue explosée, vue 360 degrés de la voilure.	169

RÉSUMÉ

La construction de cerfs-volants a servi de point d'ancrage à ce mémoire de recherche-crédation dont l'objectif est de mettre en lumière la nature de la relation entre recherche et projet en design. Dans une perspective pragmatiste, le travail d'expérimentation en maquettes et la consolidation des connaissances historiques et techniques permettent d'en arriver à la proposition innovante d'un cerf-volant en tenségrité.

Mots clés : Cerf-volant, tenségrité, pratique, projet, hypothèse, expérimentation, Alexander Graham Bell, Charles Eames, Ray Eames, Richard Buckminster Fuller, Jeffrey Lindsay, Kenneth Snelson.

INTRODUCTION

« The marvelous part about a kite problem is that this is one area in which one can definitely judge its success or failure—that it will fly or it will not fly. I wish more problems could be so beautifully defined.»

– Charles Eames¹

À la fois jouet et outil, objet et structure architecturale, le « problème du cerf-volant » reconnu par les Eames est ce qu'on peut qualifier de beau problème en design. Il permet aisément de passer de l'utile à l'imaginaire, il sert tout autant à nourrir l'utopie et le désir de voler qu'à engager une étude scientifique de la nature de l'électricité, à évaluer de la force des vents et à faire des prévisions météorologiques. Le cerf-volant, autrement dit *objet volant plus lourd que l'air* ou aérodyne a, depuis ses lointaines origines qui remontent au IV^{ème} siècle avant JC, été reconnu tant pour ses usages scientifiques que militaires ou aéronautiques, que comme objet de divertissement, d'expression culturelle, comme moyen de transport, objet technique et scientifique, et surtout, comme objet de fascination. C'est aussi un objet relativement simple à construire qui permettra d'aborder cette recherche en design en mettant l'accent sur la pratique et l'expérimentation. En gros, il s'agira de faire des maquettes, d'aller à l'extérieur, d'attendre un peu de vent, d'examiner si ça fonctionne ou pas, de documenter, de modifier, de recommencer, ceci de manière à évaluer le rôle de l'usage et de l'hypothèse comme moteur du projet en design. Le design sera ici considéré comme une pratique guidée par la recherche.

La question de la recherche et de la méthode en design sera abordée en cherchant à

¹ Eames, Charles, (s.d.) Kites. Eames Office Official Site Récupéré de <http://www.eamesoffice.com/the-work/charles-eames-kite-collage/>

éviter une distinction entre théorie et pratique, et ce en ayant recours à une série de concepts qui détermineront une attitude pragmatiste : l'action, l'usage et l'expérience, les effets et conséquences, le contexte, la signification, l'enquête et les jeux de langage. Jouer un jeu en design, c'est comprendre les règles d'un champ de pratique, mais c'est avant tout savoir les appliquer. Nous accorderons donc toute son importance à la pratique au sens le plus élémentaire du terme : il s'agira de *faire les choses*, à la fois dans le sens de les construire et de les mettre à l'épreuve, de mettre en place un laboratoire ou plutôt une *fabrique de cerfs-volants*, de tester des hypothèses, de comprendre des règles, de clarifier des propositions qui mèneront d'une part à une série d'objets construits, et d'autres part, à de nouvelles connaissances.

Le cerf-volant fut et est encore un objet de fascination pour différents designers et pour cela nous nous attarderons à trois types de jeux qui couvrent le champ des pratiques en design : ceux où prime l'enquête scientifique (Bell), ceux qui privilégient l'enquête technologique (Fuller, Snelson, Lindsay) et enfin ceux portés vers l'enquête esthétique (Eames). Ces façons d'enquêter permettront d'établir certaines caractéristiques propres à la mise en œuvre d'un projet de design, de la même manière qu'elles ont pu le faire pour les protagonistes de mes études de cas. Elles guideront le projet pratique permettant de mettre en œuvre des hypothèses matérielles, liant ainsi la recherche et l'action du design.

Le projet permet ainsi de parfaire nos acquis en termes de connaissances scientifiques et techniques, d'évaluer la pertinence de tel ou tel matériau, couleur, forme ou composition et ainsi de guider au mieux la série des décisions à prendre pour en arriver à un résultat satisfaisant. C'est ce jeu du pragmatisme auquel nous nous livrerons, un jeu où il s'agira d'accorder toute son importance à la mise à l'épreuve des connaissances par la pratique.

CHAPITRE I

VERS UNE ATTITUDE PRAGMATISTE EN DESIGN

1.1 Le design comme activité projectuelle

Le design peut être compris comme une activité *projectuelle*, portée vers les fins, qui implique recherche, conceptualisation et réalisation qui met à contribution un ensemble de savoirs et de savoirs faire.

Pratiquer le projet en design, c'est concevoir en fonction d'un idéal du monde un dispositif artéfactuel complexe qui donne forme à des usages autant qu'il produit des connaissances, en réaction à une demande ou à une insatisfaction, et grâce à une méthodologie rigoureuse en constante évolution qui vise, de manière créative et innovante, à améliorer l'habitabilité du monde ²

Cette définition montre comment le projet de design s'éloigne de l'application pure et simple de connaissances scientifiques. La méthode ne saurait se réduire à la résolution d'un problème posé a priori. Les choix mis de l'avant résultent d'un « idéal du monde », une projection future qui semble propice à améliorer l'habitabilité du monde et qui s'incarne dans des projets particuliers et uniques. Cette façon qu'ont les designers d'arriver à leurs fins découle d'une méthode qui permet de mettre en pratique des idées. Quand on parle de connaissances pour le design, ces connaissances s'inscrivent dans un processus qui vise l'application et la mise à l'épreuve.

² Vial, Stéphane. (2015). De la spécificité du projet en design : une démonstration. Communication et Organisation n° 46. Presses Universitaire de Bordeaux, 2015 p. 17-32. P.26

De plus, la méthode en design est quelque chose d'intrinsèquement liée à l'éducation. Il faut enseigner au futur designer une méthode qui lui permettra de saisir les projets dans leur individualité³. L'acte de design doit être compris et maîtrisé par l'application de connaissances théoriques qui assurent le maximum de conscience et de vigilance intellectuelle. Autrement dit, il faut avoir une connaissance dite théorique issue de la production d'hypothèses qui permet de justifier, déterminer, valider, des connaissances qui seront mises en pratique.

C'est avant tout au travers du projet de design qu'on apprend à utiliser les concepts dits « théoriques ». Entre le fétichisme de la théorie ou encore celui de la pratique, il faut veiller à atteindre une « fécondation de la pratique par la théorie »⁴. Il faut donc se détourner d'une théorie du design qui mettrait en œuvre des principes d'actions idéalisés posés a priori. La théorie sert avant tout une visée pratique qui cherche, de manière générale, à rendre le monde meilleur, habitable.

1.2 Pragmatisme et pratique : mise au point

Le mot *pratique* est polysémique. On peut l'utiliser comme un adjectif; « c'est pratique », « une méthode pratique ». En tant que nom, il renvoie à un caractère concret et utilitaire⁵ : comme dans l'expression « en pratique... » ; « mettre en pratique » ; ou encore qui représente un savoir-faire; pratiquer quelque chose; ou encore une manière de faire ; « une pratique répandue ». On peut retrouver une affectation morale vertueuse dans l'expression « c'est très pratique » qui est gage

³ Alain Findeli, cité par, Vial, Stéphane. (2015) *Le projet en design et sa méthode*, Stéphane Vial éd., Le design. Presses Universitaires de France, pp. 80-106.

⁴ Vial, Stéphane. (2015) *Le projet en design et sa méthode*, Stéphane Vial éd., Le design. Presses Universitaires de France, pp. 80-106.

⁵ Centre National de Ressources textuelles et lexicales. (s. d.) *Lexicographie : Pratique*. Récupéré le 7 janvier 2020 de <http://www.cnrtl.fr/definition/pratique>

d'ingéniosité. Comme verbe, « pratiquer », c'est mettre en action une règle, exercer une activité.

Dans l'œuvre d'Aristote, *Éthique à Nicomaque*, on retrouve la naissance de certains concepts, tel que *praxis* et *phronesis* qui tracent le portrait du concept de pratique comme une mise en action de la vertu.⁶ Le philosophe y fait la distinction entre *praxis* (πραξις) et *phronesis* et *technè*. *Praxis* est habituellement traduit en français par « action », référant à l'agir. Relié au politique et à l'éthique, le concept de *praxis* se distingue de *technè*, qui réfère à la production artisanale et l'objet produit. La *praxis*, l'action, est elle-même une fin en soi et ne se retrouve pas dans le résultat. Quant à *phronesis*, il est traduit communément en français par le terme « prudence ». Aristote nous dit qu'il est en relation avec la *sophia*, la sagesse dite théorique. En anglais, on utilise plutôt l'expression « practical wisdom » que l'on pourrait traduire par la raison pratique. Ce concept est central à l'éthique chez Aristote qui souligne la vertu naturelle de la sagesse : c'est avec l'utilisation pratique de la *sophia* qu'apparaît la vertu.⁷ Ainsi, c'est dans l'action et en usant de prudence et de sagesse, que le design devient une activité justifiée et éclairée.

Charles S. Peirce, souligne l'importance de la pratique pour la connaissance:

« Considérer quels sont les effets pratiques que nous pensons pouvoir être produits par l'objet de notre conception. La conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet »⁸. Si par exemple, nous nous posons la question « qu'est-ce

⁶ Aristote, traduction de Tricot, J. (1959).. *Ethique a nicomaque* (Bibliothèque des textes philosophiques). Paris: J. Vrin. p.131 (1139b - 1140a)

⁷ Ibid p.145 (13 1145a)

⁸ Peirce, Charles S.. (JANVIER A JUIN 1879), *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*, T. 7 pp.39-57. p.48

qu'une maison?». De façon générale, nous dirions qu'il s'agit d'un lieu qui sert à répondre à certains types de besoins, tel que dormir, se protéger, faire à manger, etc. Les usages de la maison sont ce qui nous indique le sens de l'objet. Le concept *d'effet pratique* revient à son utilisation dans ce cas-ci. C'est l'usage dans les circonstances possibles qui permet de définir notre compréhension de la maison.

Disons que l'on veuille construire un cerf-volant. Nous cherchons à comprendre qu'est ce que *fait* un cerf-volant. Quel comportement a-t-il ? Nous comprendrons rapidement, en voyant des gens faire voler un cerf-volant, qu'il s'agit d'un objet qui peut voler, qu'il est attaché à une corde et qu'il doit être soulevé par le vent, qu'il est construit de matériaux légers, qu'il possède une certaine forme aérodynamique, que certains sont des jouets, que d'autres servent comme instruments scientifiques, etc. On reconnaît ainsi un type d'objet « cerf-volant » par l'usage et les effets qu'il produit. Ce sont ces effets qui ont des conséquences réelles et non supposées. Ce sont ces effets qui sont la « matière » de nos conceptions.

1.3 Entre projet et expérience

Dans son article *La démarche design, entre projet et expérience*⁹, Estelle Berger rejette une position qui distingue théorie et pratique du design, déchirée entre l'art et la recherche méthodique. Elle soutient qu'en tant qu'activité projective, le design n'est pas restreint à une activité de connaissance théorique. Le design ne produit pas une interprétation du monde, car il agit sur lui. En ce sens, le « monde » est considéré

⁹ Berger, Estelle. (2014) *La démarche design, entre projet et expérience*. Une poétique qui hybride penser et faire, *Communication & Organisation*, vol. 46, no. 2, , pp. 33-42. p.35

comme un *sujet* et non pas un objet. C'est au travers de cette relation que le design est en relation avec l'altérité. Le monde avec lequel le designer interagit est complexe et dépasse la dialectique sujet-objet pour une relation sujet-objet-projet :

« Objet et sujet ne sont pas dans un face à face, une opposition. Dans la trialectique sujet-objet-projet, la troisième dimension est le produit des précédentes.(...) toute connaissance suppose intention subjective, conditions objectives et en finale réalisation projective (rationnelle) »¹⁰.

La liaison entre la notion de projet et celle d'expérience permet de réduire la distinction entre intelligible et sensible, entre théorie et pratique. Inspirée par le concept d'expérience esthétique chez John Dewey, Berger soutient que l'expérience est un processus qui permet le passage constant entre les pôles *chaos* et *conscience*.¹¹ Concevant l'expérience comme une relation d'apprentissage, le sujet se trouve projeté dans une situation chaotique, où il tente d'unifier les relations qui lui apparaissent, pour qu'advienne « l'état de conscience vivante » .

« L'expérience esthétique du créateur est donc un processus conscient, d'intégration et d'accomplissement interne, fruit d'un mouvement organisé. (...) Le processus de création est (...) une quête permanente qui alterne chaos, révolution, disruption, puis retour à un ordre nouveau qui stabilise et pérennise la proposition issue de ce mouvement. »¹²

L'inconfort et le chaos de l'incompréhension poussent le sujet dans l'action. Complètement pris par l'organisation de la situation, le sujet tente de revenir à un état stable de compréhension. C'est de cette façon que le projet de design est un jeu constant de mise en organisation de constats, d'objectifs et d'hypothèses. Le projet est une expérience en soi toujours différente, particulière et contingente. Si on parle de processus de création, alors le design est une quête expérientielle continue qui

¹⁰ Ibid. p.35

¹¹ Ibid. p.36

¹² Ibid. p.37

multiplie les situations de chaos. Il est impératif de revoir la conception d'un processus de design qui suivrait une théorie prescrite pour résoudre un problème.¹³

1.4 La création pour la recherche

La recherche en design, est parfois victime de mécompréhension: « *faire de la recherche* en design est différent que d'être à *la recherche de* quelque chose »¹⁴. On distingue l'activité qui consiste à faire des recherches et documenter son travail, comme c'est souvent le cas en art, et celle de faire des recherches et publier les résultats dans une revue scientifique. Il faut donc être vigilant lorsque l'on soutient qu'une recherche par le moyen des arts peut être présentée comme recherche scientifique.

Il est ainsi difficile d'affirmer que la production d'artefacts en design contribue à la production de connaissances qui dépassent celles de l'expérience, car la quête créative est différente de l'enquête scientifique qui produit un savoir objectivement¹⁵. La création seule ne remplit pas ces conditions, bien qu'elle contribue à la production culturelle. Il faut sortir d'une logique de « recherche pour la création », et adopter une logique de *création pour la recherche*, c'est-à-dire de *recherche pour la connaissance*.¹⁶ La création ne doit pas être une fin de la recherche, mais bien l'inverse.

Nigel Cross reconnaît trois types de savoir en design : premièrement, un savoir qui

¹³ Ibid. p. 39

¹⁴ Vial, Stéphane (2015) Qu'est-ce que la recherche en design? Introduction aux sciences du design. Sciences du Design (n° 1), p.29

¹⁵ Ibid. p.32

¹⁶ Ibid. p.30

réside dans la faculté humaine à faire du design; ensuite, une praxéologie du design qui se situe au niveau du processus et des méthodes ; et enfin un savoir qui réside dans les objets eux-mêmes. Cette définition des savoirs couvre bien le processus de conception d'un projet, mais pour Alain Findeli, il faut reconnaître également la position de la *réception* de l'artéfact comme élément épistémique. Le moment où l'objet rencontre l'usage et que les effets pratiques émergent. La recherche en design doit donc s'intéresser à la réception car elle fait intervenir des connaissances en relation avec d'autres disciplines des sciences humaines et sociales. Elle est à même de produire des connaissances « valides » et « fiables » sur son domaine de connaissance spécifique.¹⁷

Ce domaine de connaissance spécifique, Alain Findeli le définit comme étant « l'habitabilité ». Ce concept dénote la relation entre les humains, leur façon d'habiter un environnement, au même titre que l'écologie humaine. Les interactions qui se passent dans cet environnement ne sont pas pour le designer des *objets* de sciences, mais des projets. On retrouve donc la relation sujet-objet transformée en relation sujet-projet.

Le sujet est nécessairement impliqué dans l'expérience du projet. Le designer est ainsi engagé et situé, dans son objet. C'est par cette réflexion qu'il aborde la *recherche-projet*, autrement dit, la recherche *par* le projet. Le projet tient lieu d'un terrain, là où le designer s'engage et s'implique. On parlera plutôt *d'engager* une théorie dans le champ d'un projet au lieu de simplement l'appliquer.¹⁸

L'objet de recherche qui intéresse le chercheur en design doit donc être mis en action

¹⁷ Ibid. p.33

¹⁸ Ibid. p.34

dans un projet¹⁹. C'est seulement ainsi qu'on peut observer les « mouvements » de la chose et comment elle se comporte dans ses lieux d'existence. En prenant en exemple le concept de « confiance », Findeli suggère que pour bien le comprendre, il est important de le positionner dans un terrain d'étude, d'un projet, qui permettra de voir comment la confiance s'inscrit dans les différentes relations d'usage pratique. Il s'agit donc de faire la recherche par le projet et de comprendre comment la théorie est toujours engagée dans le projet. La théorie est en quelque sorte responsable et doit répondre de ses actes. Elle ne peut pas être séparée de sa mise en application lorsqu'elle est engagée dans le projet.

1.5 Le jeu des hypothèses et la quête d'une vision d'ensemble

« [L'hypothèse n'est pas] un énoncé, mais [une] loi de formation des énoncés. Seuls les énoncés particuliers peuvent être vrais ou faux (bon ou mauvais), non l'hypothèse. L'hypothèse n'est jamais vérifiée. Elle renvoie toujours au futur. Sa justification est dans le service qu'elle rend, c'est-à-dire dans la simplification qu'elle introduit. »

– Ludwig Wittgenstein,²⁰

Le projet de design est une enquête : le designer fait des hypothèses, clarifie des concepts, prend des décisions, et fait des propositions de mise en forme. Il faut voir le design comme un jeu où ce n'est pas seulement la résolution d'un problème dont il faut se soucier : « Le jeu que nous jouons ressemble davantage à l'identification

¹⁹ Findeli, Alain.(2015) La recherche-projet en design et la question de la question de recherche : essai de clarification conceptuelle, Sciences du Design, vol. 1, no. 1, pp. 45-57.

²⁰ Wittgenstein, Ludwig, Waismann, Friedrich. McGuinness, Brian. (1991) Wittgenstein et le Cercle de Vienne. (TER bilingue)

d'une question à poser »²¹. Le designer est dans un processus de clarification de même nature. L'enquête que mène le design permet la clarification des usages, des besoins et des actions à mener. Le designer produit des artéfacts, des concepts, des plans, etc., qui sont destinés à autrui. Il se rend ainsi utile à quelque chose, et participe à l'habitabilité du monde.

Le design est une attitude guidée par la recherche qui encourage une vue constante des idées et des fins pratiques. Pour cela, le designer a besoin d'une vue synoptique, c'est-à-dire une vue d'ensemble qui voit autant les fins de l'action qu'elle envisage que celles de la pensée qui les met en œuvre. L'outil qui permet au designer d'œuvrer dans le projet et qui permet d'atteindre cette vision synoptique, c'est l'hypothèse.

L'hypothèse est une disposition qu'a l'esprit à construire une vue d'ensemble, dont la portée est bien réelle, c'est-à-dire qu'elle donne un sens à nos décisions et à nos actes. [...] l'hypothèse a ceci de particulier qu'elle n'est pas validée directement par une série de faits, passés ou présents, elle construit plutôt quelque chose de nouveau, et renvoie au futur. Autrement dit, l'hypothèse permet d'innover, mais ne saurait valider, ni non plus être validée, par une des propositions, autrement dit par la pratique ²²

L'hypothèse soutient ainsi une action continue de la pensée. Dans le processus de construction de sens, l'hypothèse introduit un signe qui indique l'usage, sans le garantir.²³

[Elle] installe l'idée d'une action continue de la pensée, oscillant entre la conviction qu'elle produit, le doute, la production d'autres hypothèses, jusqu'à ce qu'une hypothèse satisfaisante rende le service attendu. En architecture, le service rendu par l'hypothèse dans le travail de construction sera de proposer une simplification qui saura, pour un temps, donner l'assurance nécessaire à la poursuite de l'enquête. En insistant sur la portée qu'elle a sur la conduite de la vie, l'hypothèse architecturale donne toute sa place à la question de l'usage, qui est sa condition

²¹ Poisson, Céline. (Octobre 2015) Design et pragmatisme. Communication présentée à TRANSFORMER, INNOVER, DÉRÉGLER : Les ateliers de la recherche en design, Université de Montréal.

²² Ibid.

²³ Ibid.

de validité. La question est donc moins de savoir si l'hypothèse est vraie ou fausse que de savoir si la simplification qu'elle introduit nous permet d'avancer, c'est-à-dire de produire les fragments manquants pour rendre l'objet utile. Elle doit nous montrer ce dont l'objet est capable et la légitimité qu'il y a à parler d'objet *réel* tient moins à ce que celui-ci est fait de brique, de verre ou de bois, mais à ce qu'il agit sur nos attentes²⁴

Oscillant entre la conviction et le doute, la production d'hypothèses sert à faire avancer le projet de design, en donnant l'assurance nécessaire à la poursuite de l'enquête. Elle est une simplification qui permet de faire avancer l'enquête, de garder vivant le processus de design et faire abstraction des éléments manquants.

L'hypothèse permet de nous montrer ce dont la proposition est capable et comment elle agit sur nos attentes. Elle en assure la légitimité. En ce sens, l'hypothèse ne garantit pas la connaissance, mais légitime son usage pour faire avancer le projet.

L'hypothèse aide à revoir la distinction entre théorie et pratique. Pour le design, ce n'est pas un « ensemble théorique » qui nous permet de développer un projet pratique, c'est plutôt un ensemble de règles de conduite en relation constante avec l'expérience mise en action par l'hypothèse. En fait, l'hypothèse est le moteur de l'activité pratique.

La vision synoptique nous aide à considérer l'ensemble des règles qui indiquent les effets pratiques et les conséquences. Le designer est en relation avec la connaissance, en clarifiant les règles d'usage, que ce soit à l'aide de la représentation en dessin et en maquette, à l'aide d'un prototype ou d'un texte, ou encore d'un plan qui nous aide à la compréhension d'un contexte et d'une situation. La connaissance de toutes les règles préétablies, apprises et appliquées ne garantit pas l'exécution correcte, de façon générale. Dans la mesure où la sagesse n'est rien sans cette prudence, cette façon juste d'appliquer les savoirs s'exprime dans l'expérience²⁵. Nous n'apprenons donc

²⁴ Poisson, Céline. (2010). Architecture et continuité : Loos, Wittgenstein, Peirce. *Recherches sémiotiques / Semiotic Inquiry*, 30 (1-2-3), 165–178. DOI : <https://doi.org/10.7202/1025931ar>

²⁵ Poisson, Céline. (Octobre 2015) Design et pragmatisme. Communication présentée à TRANSFORMER, INNOVER, DÉRÉGLER : Les ateliers de la recherche en design, Université de Montréal.

pas une technique en design, mais bien une façon d'agir. Avoir une vue d'ensemble des règles est différente que d'élever la théorie et la distancier de la pratique. Il vaut mieux voir une continuité, un mode de conscience qui saisit les règles et qui peut imaginer leurs effets pratiques.

1.6 Jeu de langage : la relation entre règles et usage

«L'analogie du langage et du jeu ne nous apporte-t-elle donc pas quelque lumière? Nous pouvons très bien imaginer des gens qui s'amuse avec un ballon dans un pré. Ils commencent à jouer à différents jeux existants. Il y en a certains qu'ils ne mènent pas à terme, et dans l'intervalle, ils lancent le ballon en l'air au hasard, et pour s'amuser ils se pourchassent avec le ballon, s'en servent comme d'un projectile, etc. Après quoi quelqu'un déclare : ces gens-là jouent sans interruption à un jeu de ballon, et à chaque lancer, ils suivent donc des règles déterminées. Et n'y a-t-il pas aussi le cas où nous jouons et - «make up the rules as we go along»? Et également celui où nous les modifions- « As we go along»²⁶?

Wittgenstein utilise l'expression « jeu de langage » pour expliquer que le langage se comporte comme un jeu, avec des règles et des contextes d'application. Lors des premières apparitions de l'expression, il est un outil qui aide à expliquer et décrire la signification des mots et des règles de grammaire²⁷. Cet instrument conceptuel sert à évaluer les différents jeux auxquels on joue dans le langage et ainsi clarifier nos idées et nos propositions²⁸. Il suppose que l'usage est à la base des significations et donc que la façon dont on utilise les mots est ce qui coordonne leur sens. C'est autour de cette définition que s'établit l'expression « la signification vient avec l'usage »²⁹. Le jeu de langage est un contexte d'échanges et d'interactions continu entre l'usage et les règles d'usage. Les « coups » joués dans le jeu de langage sont des mises en

²⁶ Wittgenstein. L (2005) Recherche philosophiques (F.Dastur, M. Elie, J-L Gautero, D. Janicaud, E. Rigal, trad.). Collection Tel (No. 404), Paris : Gallimard. §. 83

²⁷ Latraverse, François. (2012). Jeux de langage et pragmatisme. Recherches sémiotiques, 32(1-2-3), 225-246. doi:10.7202/1027780ar. p. 225

²⁸ Ibid. p. 228

²⁹ Wittgenstein. L (2005) Recherche philosophiques (F.Dastur, M. Elie, J-L Gautero, D. Janicaud, E. Rigal, trad.). Collection Tel (No. 404), Paris : Gallimard. §. 43

application de mots et de concepts. Notre façon d'utiliser des concepts, tels que maison ou chaise, suit des règles explicites et implicites (une maison sert à habiter, une chaise à s'asseoir, une chaise ne sert pas de maison). Ces règles nous guident dans l'utilisation de notre langage. En utilisant un mot, on suit la règle d'usage prescrite. L'activité du langage est conditionnée par l'appréhension continue de règles et d'habitudes : des façons d'utiliser des mots et des concepts. Un apprentissage qui coordonne d'un même geste notre compréhension des règles et notre mise en application de ces dites règles³⁰. Cette relation d'échange continue est contenue dans un langage bâti sur l'habitude et le changement perpétuel de règles implicites. L'usage et la règle sont liés dans une relation où la règle prescrit l'usage, tout autant que l'usage établit la règle. C'est parce que les règles n'existent qu'à mesure qu'on les applique que Wittgenstein dira que *suivre une règle* est une pratique³¹.

L'origine et la forme primitive du jeu de langage est une réaction ; ce n'est qu'à partir d'elle que des formes de vie plus compliquées peuvent se développer. Le langage, veux-je dire, est un raffinement. Au commencement était l'action. La forme primitive du jeu de langage est l'assurance, non l'absence d'assurance ; cette dernière en effet ne peut conduire à l'action. [...] Je veux dire: Il est caractéristique de notre langage qu'il repose sur des formes de vie fixes, sur des façons d'agir régulières. ³²

Les règles et l'usage sont forgés ensemble dans l'action du langage, et des formes de vie fixes stabilisent les règles du terrain de jeu. Wittgenstein dira que l'on saisit un jeu de langage, quand on voit les « coups » joués dans le jeu. On les reconnaît dans l'action, c'est à dire dans l'usage.

³⁰ Cometti. J.P.(2007) «L'art, l'architecture et le paysage» Dans C. Poisson(dir.), Penser, dessiner, construire : Wittgenstein et l'architecture. Quercy : Éditions de l'éclat. p.166

³¹ Wittgenstein. L (2005) Recherche philosophiques (F.Dastur, M. Elie, J-L Gautero, D. Janicaud, E. Rigal, trad.). Collection Tel (No. 404), Paris : Gallimard.. §. 202

³² Ludwig Wittgenstein cité dans Rigal. E. (2003) « Au commencement était l'action : Wittgenstein et Husserl », Noesis, 5, 153-185.

Le jeu de langage est là où les signes entrent en action. Un territoire d'expérimentation avec des règles qui sert de *condition* à une activité³³. Wittgenstein le considère comme « le milieu dans lequel se constitue toutes les choses dont nous parlons, le milieu dans lequel nous vivons. »³⁴ Comme il dira: « Tu dois avoir présent à l'esprit que le jeu de langage est pour ainsi dire quelque chose d'imprévisible. J'entends par là : il n'est pas fondé. Ni raisonnable (ni non plus non raisonnable). *Il est là comme notre vie.*³⁵ » Ce que ce passage évoque, c'est que l'activité du jeu du langage est spontanée, qu'il n'obéit à aucune motivation extérieure, qu'il ne répond pas à des normes préétablies, il est ce sur quoi la rationalité peut en fait être établie.³⁶

Les règles d'usage sont des règles pratiques. Essayer d'identifier quelque chose de théorique ou général à nos façons de faire impliquerait nécessairement de répéter quelque chose de ces façons de faire³⁷. Si l'on prend le design en exemple, essayer de fonder les activités du design de façon théorique impliquerait de répéter quelque chose que l'activité pratique énonce déjà, au travers des mises en action des règles. Certaines formes sont fixes, mais leurs justifications prennent naissance au travers de leur mise en application.

³³ Latraverse, François. (2012). Jeux de langage et pragmatisme. *Recherches sémiotiques*, 32(1-2-3), 225-246. doi:10.7202/1027780ar. p.225

³⁴ Ibid. p.237

³⁵ Wittgenstein. Ludwig (2006) *De la certitude* (Moyal-Sharrock, D. trad.). Paris : Gallimard. §.559)

³⁶ Latraverse, François. (2012). Jeux de langage et pragmatisme. *Recherches sémiotiques*, 32(1-2-3), 225-246. doi:10.7202/1027780ar. p.237

³⁷ Ibid. p. 239

1.7 Le jeu de langage pour le design : de l'expérimentation à l'usage

En prenant en considération la relation pratique entre l'usage et les règles d'usage, la notion de jeu de langage est utile pour comprendre l'activité pratique du design.

L'expérience du projet est un ensemble de jeu de langage. Le projet de design est guidé par des règles basées sur des formes de vie fixes et des habitudes, par exemple, « Le toucher de l'acier est désagréable en hiver », « Il faut diminuer le nombre de voitures lors de nos projets urbains, car cela réduit l'impact environnemental », « un cerf-volant peut s'élever lorsque le carré de sa surface portante divisé par son poids est inférieur à la moitié. » etc... Ces règles d'usage sont des outils qui servent à poser des jugements et nous permettent d'émettre des hypothèses. Les hypothèses sont le moteur de l'action, ou encore, l'assurance qui permet d'énoncer une proposition formelle, tel qu'une maquette, un collage, un dessin, un prototype, etc. Ces propositions formelles sont ensuite expérimentées et testées. Elles nous permettent de juger si le prototype remplit les fonctions prescrites, si le dessin montre un ensemble de proportions équilibrées, si la maquette explique bien le concept prévu, etc. L'expérience de cette mise en forme est une expérience de l'usage. Elle est une application pratique, qui informe, corrige et définit les règles d'usages.

Mettre en forme, c'est assurer la rencontre de l'hypothèse et de l'expérimentation. Le succès d'une hypothèse nous aide à continuer le jeu d'enquête et développer des idées plus claires pour le projet. Lorsqu'une hypothèse est utile à une mise en forme, elle participe à la construction du projet. Elle aide à cristalliser des règles qui nous guident dans le projet.

La construction d'une maquette de cerf-volant est en soi une hypothèse, un objet qui sert à tester des idées et des règles accumulées au fil de la recherche. Avec une vision synoptique, on considérera cette hypothèse comme un outil qui permet l'usage.

La méthodologie de recherche sera une mise en pratique d'un jeu d'hypothèses et d'expérimentations : le jeu de la recherche, un jeu qui fera intervenir des propositions de mise en forme et des règles d'usage. Ces propositions seront mises à l'épreuve dans l'expérimentation, ce qui permettra *d'engager* les règles d'usages.

Tester une hypothèse de mise en forme c'est enquêter matériellement sur quelque chose qui n'existe pas encore. De même que l'hypothèse, la maquette est un signe à utiliser. Elle est la « main de l'hypothèse », elle est son extension directe. Si l'intention est le début d'une hypothèse, la maquette termine la phrase. L'outil qu'est la maquette est un signe qui permet aux designers de voir un projet de façon synoptique³⁸. Elle est l'incarnation d'une pensée immatérielle, et n'a aucun a priori : elle n'existe que parce qu'on l'a fait ainsi. Elle est le résultat de l'action et de l'assurance, une continuité qui donne à l'idée, la possibilité de toucher le réel.

La maquette qui tend vers le prototype se rapproche de l'usage possible et réel. La rencontre avec l'usage est une expérimentation, une rencontre avec le réel qui nous permet de voir les effets pratiques de notre conception. On peut ainsi clarifier notre proposition, ajuster l'hypothèse, établir des règles.

1.8 Fabriquer un objet : le laboratoire d'un cerf-volant

Le cerf-volant sera l'objet de ce projet de « laboratoire engagé ». Je fabriquerai des maquettes pour explorer des hypothèses de cerfs-volants. Ces maquettes seront parfois près du prototype, pour en tester les usages. Rappelons-nous le problème évoqué par Charles Eames, celui de réussir à voler ou d'échouer. Le cerf-volant a un

³⁸ Poisson, Céline. « Architecture et continuité : Loos, Wittgenstein, Peirce. » *Recherches sémiotiques / Semiotic Inquiry*, volume 30, numéro 1-2-3, 2010, p. 165-178. Doi : <https://doi.org/10.7202/1025931ar>

usage ludique, parfois scientifique, parfois technologique. Il est un outil ouvert. Il sera un objet de recherche, comme il l'aura été pour d'autres avant moi, qui s'en sont servi pour étudier des principes, des idées et d'autres hypothèses.

Avec l'apparition de la photographie, la diffusion d'images concernant le cerf-volant a permis d'inspirer une communauté de chercheurs au balbutiement des recherches sur l'aviation. Lawrence Hargrave, l'inventeur du *box kite*, était lui-même un défenseur du partage d'idées et a grandement contribué au développement scientifique du cerf-volant à l'aide de la photographie.

C'est d'abord par la recherche photographique que j'aborderai mes études de cas et que je formerai une séquence qui me permettra d'extraire des principes formels et d'en comprendre les règles. Je me servirai également d'une séquence d'images de mes recherches pour enrichir l'expérience du projet que j'ai mené. Ce sera mon médium principal pour rendre compte des expériences et des maquettes produites.

Le cerf-volant est un objet propice à la recherche en design. À la fois véhicule de conceptions poétiques et scientifiques, un objet qui oscille entre simplicité et complexité, outil de communication, de transport, arme de guerre ou matériel de pêche, le cerf-volant a marqué le 19^e siècle et la conquête des airs. Son usage s'est transformé au travers de l'histoire. Voler est toujours resté son objectif premier. Artéfact à contempler ou à faire voler, il impose un jeu d'équilibre qui dépend des variations du vent, issues du déplacement d'air.

Le jeu de la fabrication d'un cerf-volant remplit bien les qualités nécessaires à un projet de recherche en design. Il est assez simple pour être construit et testé, il comble ainsi le besoin d'expérimentation. Il peut être assez complexe pour nécessiter une recherche soutenue sur la technologie et les principes scientifiques. Et surtout, il est une forme ludique, artistique et esthétique, qui nourrit l'imaginaire depuis des siècles au-delà des distinctions culturelles. Il permet la rencontre de ce qui semble

s'opposer : d'un côté le sérieux de la science théorique et de l'autre le jeu, l'esthétique et l'art.

Un survol de l'histoire des cerfs-volants mettra l'accent sur l'époque de Laurence Hargrave et de certains cerfs-volants importants qui eurent des influences diverses en relation avec leurs usages : outil de communication, de transport, de guerre, de pêche, etc. Ensuite, à l'aide d'une série de trois études de cas plus précises, nous verrons de quelle façon le cerf-volant a pu être un objet qui a servi de véhicule de recherche et d'exploration. Nous décrirons brièvement les travaux de protagonistes qui œuvrent dans le champ du design, de près ou de loin : (1) Alexander Graham Bell, (2) Charles et Ray Eames et (3) Buckminster Fuller (et ses élèves Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson). Ces études de cas permettent d'esquisser l'histoire de l'objet et ajoutent à sa pertinence dans un contexte de recherche en design.

En ce sens, l'objectif du projet ne sera pas de breveter un nouveau cerf-volant. Aller à la rencontre de la performance impliquerait un passage dans le champ de l'aéronautique et de la physique. Le but du projet est plutôt d'ordre méthodologique : aller à la rencontre de l'usage, de l'expérimentation et de l'hypothèse. Le cerf-volant doit posséder des caractéristiques de design et c'est en ce sens que cette recherche s'intéresse des designers qui ont eu l'occasion de s'adonner à la conception de cerf-volant. De ces exemples, nous pourrions distinguer au chapitre 2, trois jeux de langages auxquels s'adonnent les designers : le jeu scientifique, le jeu technologique et le jeu esthétique. Ce sont des jeux qui comportent des règles, des façons de faire et des habitudes d'actions.

CHAPITRE II

LES DIFFÉRENTS USAGES DU CERF-VOLANT

Maintenant on établit une méthode par des exemples, et on peut interrompre la série de ces exemples. – Des problèmes – non un problème – sont résolus (des difficultés écartées).

– Ludwig Wittgenstein ³⁹

Ce chapitre traite des usages du cerf-volant dans l'histoire et met un accent particulier sur trois exemples ou études de cas. La première partie de ce chapitre permet de cerner le caractère propre aux cerfs-volants et offre une compréhension globale de l'objet dans l'histoire. La deuxième partie se concentre sur des cas spécifiques au champ du design où le cerf-volant a pu jouer un rôle pour des acteurs d'influence : Alexander Graham Bell, Charles et Ray Eames et les étudiants de Richard Buckminster Fuller, Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson. Ces études de cas servent d'impulsion à notre projet et aident à en définir les objectifs. Ces exemples permettront de dégager trois jeux de langage comme autant de manières qu'auront les designers de mettre en relation usage et règle dans leur travail d'expérimentation : le jeu scientifique, le jeu technologique et le jeu esthétique.

³⁹ - Ludwig Wittgenstein (2005 [1953]) Recherches philosophiques. E. Rigal (trad.), Paris : Gallimard.

2.1 De la Chine à la foudre

Le cerf-volant est ancien et il est difficile de dire précisément en quelle année il fut inventé, ni exactement dans quelle culture il fut développé, mais il semblerait qu'il fit sa première apparition en Chine il y a près de 2000 ans⁴⁰, probablement fabriqué à l'aide de soie et de bâtons de bambou. Il s'avère que le premier texte décrivant un cerf-volant remonte à 400 ans avant J-C et que son auteur est un ingénieur chinois nommé Kundshu Phan. En occident, ce serait Aulus-Gellius qui en aurait fait état en décrivant un aérodyne planeur d'Archytas de Tarente, un pythagoricien et bon ami de Platon⁴¹.

On retrouve facilement des images qui mettent en scène des rassemblements de cerfs-volants. Phénomène de partage culturel et d'amusement, il est aussi un outil dont on vente les prouesses au travers de l'histoire (fig. 2-1). Au Japon, des cerfs-volants porteurs d'êtres humains sont décrits dans des histoires de guerre et évoquées dans des estampes du 19e siècle (fig. 2-2 et 2-3).



Figure 2-1. Auteur non identifié. (date inconnue) *Rassemblement japonais*. [Illustration] AEROHISTORY. Récupéré de <http://aerohistory.org/Histoire/Legende.html>

⁴⁰ Newman, Lee Scott et Jay Hartley Newman. *Le livre des Cerfs-volants* Éditions de l'étincelle, Montréal. 210 p. p.1

⁴¹ Ibid. p.1

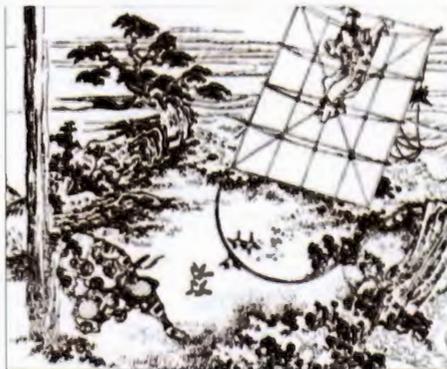


Figure 2-2 – Hokusai. (date inconnue) *Minamoto-no-Tametomo's son* [Impression]

David Pelham 1976, Penguin Books



Figure 2-3 – Auteur non identifié (19e siècle) *Early aerial invasion*. Japanese kite-borne archer [Impression] David Pelham 1976, Penguin Books

Plusieurs cultures bordant le Pacifique utilisaient des cerfs-volants pour la pêche, ce qui leur permettait de projeter l'hameçon plus loin des côtes (fig. 2-5). Objet de représentation ainsi que figure culturelle et spirituelle (fig. 2-4), il joue un rôle important chez les Maoris en participant aux mythes et légendes de leur culture.⁴² Ce rôle spirituel est aussi présent en Amérique. Les peuples autochtones de Santiago

⁴² Bob Maysmor, 'Kites and manu tukutuku - Manu tukutuku – Māori kites', Te Ara - the Encyclopedia of New Zealand, <http://www.TeAra.govt.nz/en/kites-and-manu-tukutuku/page-1> (Récupéré le 8 Août 2019)

Sacatepéquez au Guatemala, se rassemblent chaque année pour le Jour des Morts où l'on fait voler de grands cerfs-volants (fig. 2-6).⁴³



Figure 2-4 -Bob Maysmor. (2006) Birman Kite [Photographie] Récupéré de <http://www.TeAra.govt.nz/en/object/5284/birdman-kite>

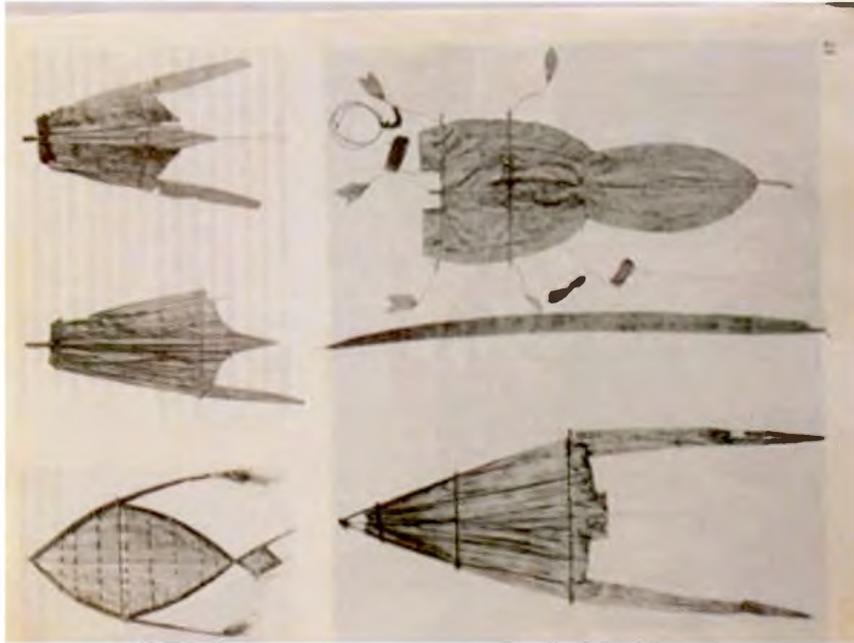


Figure 2-5 - Auteur non identifié (date inconnue) Fishing kites from the Solomons and Dobu. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books

⁴³ Pelham, David. (1976) The Penguin Book of Kites. Londres : Penguin books. p.18



Figure 2-6- Hass, A. (2007) Santiago Sacatepequez Kite Festival [photographie]

Récupéré de <https://www.flickr.com/photos/gringologue/1827542861/>

John Bates dans le livre *Mysteries of Nature and Art*, décrit des phénomènes qui fascinent les chercheurs. À ce moment en 1634, les principes de la science, les phénomènes naturels et les différentes innovations ne sont pas distingués. On range le cerf-volant au côté des principes de la science et des objets de fascination. Ce livre eu beaucoup d'influence sur les scientifiques et démontre le sérieux avec lequel l'objet était considéré. Il semblerait d'ailleurs que ce livre ait eu une forte influence sur Isaac Newton, et qu'il l'aurait incité à étudier la nature.⁴⁴

⁴⁴ Ibid. p. 23

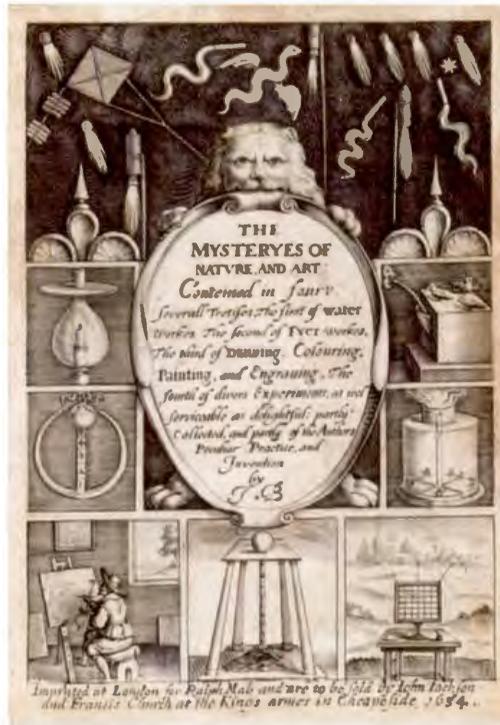
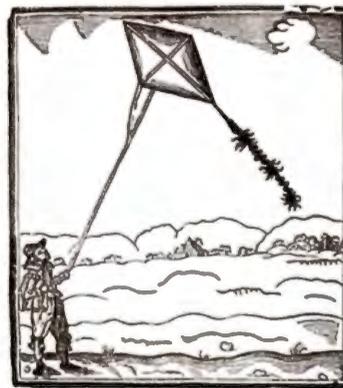


Figure 2-7 – John Bates (1634) *The mysteries of nature and art*. [Page couverture] Récupéré de <https://publicdomainreview.org/2011/11/28/the-mysteries-of-nature-and-art/>



The Fiery Drake or Kite

Figure 2-8 John Bates (1634) *A fiery drake or lozenge kite used for lofting fireworks from Mysteries of Nature and Art*. [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books

Ce rapport aux phénomènes naturels et à l'étude scientifique est aussi mis de l'avant dans le travail de Benjamin Franklin.⁴⁵ C'est à l'aide du cerf-volant qu'il put conduire sa célèbre expérimentation sur l'électricité et expliquer le phénomène de la foudre. Ces exploits scientifiques lui ont mérité une reconnaissance importante à l'échelle internationale.



Figure 2-9 – Pibaraud and L. Guiguet (1752) *Franklin Kite Experiment* [Gravure] David Pelham 1976, Penguin Books

2.2 Lawrence Hargrave et les formes modernes du cerf-volant

C'est cependant Lawrence Hargrave qui développe le cerf-volant de la manière la plus intéressante, autant d'un point de vue de design, qu'au niveau des intentions scientifiques. Dépassant la réalité du phénomène et de l'outil scientifique, c'est pour sa qualité de machine volante que ce scientifique s'intéresse d'abord à l'objet.

Né en Angleterre en 1850, Hargrave émigre en Australie en 1866 et invente le *box kite* en 1893.⁴⁶ Il est reconnu comme un défenseur du partage d'informations scientifiques et n'a jamais déposé de brevet pour ses inventions. Il est le premier à

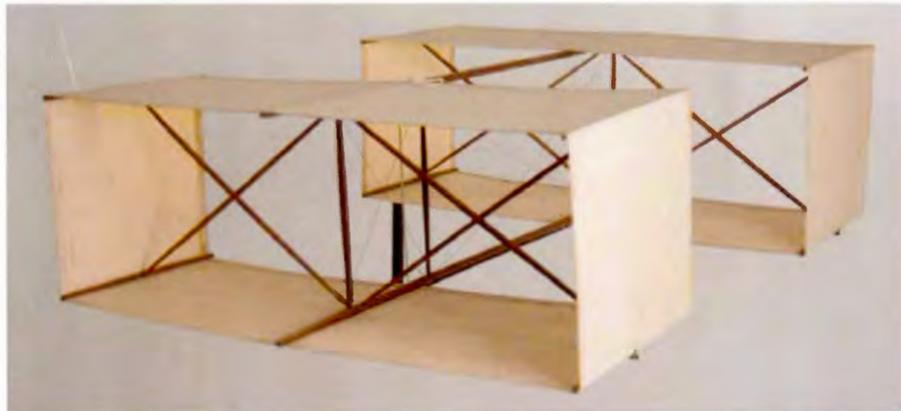
⁴⁵ Ibid. p. 23

⁴⁶ Ibid. p. 37

développer des surfaces en forme d'*aerofoil* avec une voilure (fig. 2-14). Il est aussi le premier à faire voler un être humain à l'aide de cerf-volant et il développa un moteur à rotation qui sera utilisé pour la plupart des modèles d'avion jusqu'en 1940. Il est considéré parmi les pères de l'aviation moderne pour avoir développé de façon considérable les connaissances en aéronautique. Il est aussi reconnu comme étant un scientifique acharné produisant des maquettes de cerf-volant et les testant dans les champs. Ses modèles de *box kites* étaient tellement stables qu'ils ont été utilisés par la suite pour de multiples usages, notamment par les scientifiques de Blue Hill, le plus important observatoire météorologique aux États-Unis.



Figure 2-10 - Charles Bayliss, (1894), *Hargrave and Swain demonstrate how the man-lift was achieved* [Photographie] Récupéré de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hargrave-demo.jpg>



H8649

Figure 2-11 – Museum of Applied Arts and Sciences (1969) *Model box kite, reproduction two cell, wood / cotton calico / string, designed by Lawrence Hargrave 1893* [Photographie] Récupéré de <https://collection.maas.museum/object/253099>

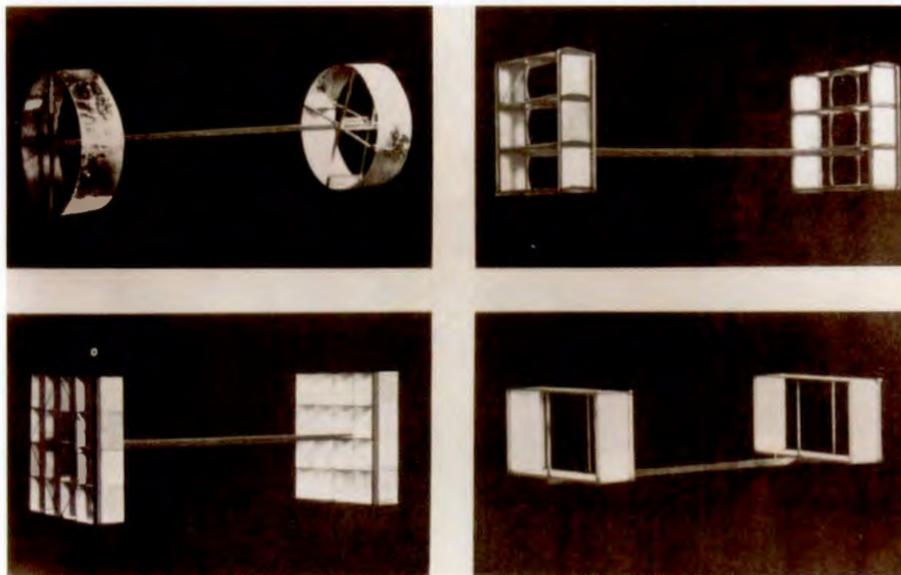


Figure 2-12 - Royal Aeronautical Society (date inconnue) Lawrence Hargrave's extensive experiments with both dihedral and cellular configurations. Materials used ranged from tin sheet to redwood veneer, 1893. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books



Figure 2-13 – Auteur non identifié (1896) *Lawrence Hargrave lifted sixteen feet from the ground by a tandem of his box kites.* [Illustration] *McClure's Magazine* Récupéré de https://en.wikipedia.org/wiki/Lawrence_Hargrave#/media/File:McCluresMagazineHargraveLifted16Feet.jpg



Figure 2-14 – Royal aeronautical Society (Date inconnue) *Single-celled, reflex curved aerofoil kite by Lawrence Hargrave.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.

Au début du 20^e siècle, Samuel Cody reprit le modèle de Hargrave, l'améliora et diffusa l'idée qu'on pourrait se servir sérieusement des cerfs-volants, c'est-à-dire qu'on devrait le considérer autrement que comme un objet de fascination. Cody

développera avec l'armée énormément de modèles ainsi qu'une organisation et une planification de la mise en vol, incluant des systèmes de treuil. Ces avancés technologiques font en sorte que ses cerfs-volants sont utilisés par l'unité d'observation de l'armée britannique, avant que l'avion ne finisse par le surpasser⁴⁷. Cody est reconnu pour avoir développé plusieurs modèles de cerf-volant qui s'élevaient à plus de 4000 mètres d'altitude et terminera sa carrière de façon abrupte en 1913 : il meurt dans l'écrasement de son dernier modèles de biplane, le Cody Hydro-Plane .



Figure 2-15 - Auteur non identifié (1903) *Cody makes an ascent during admiralty trials, Spithead.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.

⁴⁷ Ibid. p. 56

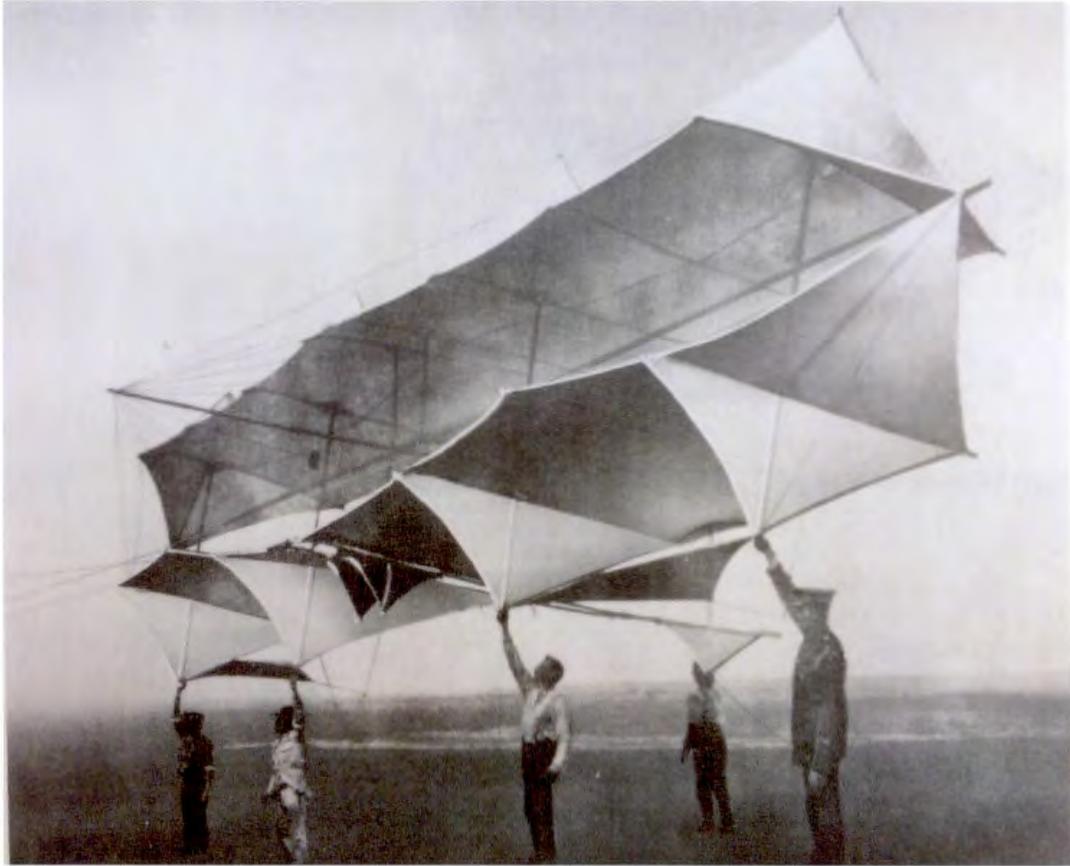


Figure 2-16 - Percy B. Walker. (1905) *Cody's man-carrying biplane glider-kite*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.

Ces développements encouragèrent l'utilisation de cerfs-volants, appréciées pour leur stabilité et leur facilité d'emploi. Cody popularisa les idées et inventions de Hargrave, ce qui eut comme effet d'amener d'autres cerfs-volistes à utiliser le *box kite*. Parmi eux, notons les travaux du Lieutenant Schreiber pour l'impérial Navy, de Charles Dollfus, du capitaine Madiot ainsi que du capitaine Saconney.



Figure 2-17 - Royal Aircraft Establishment (1909) *A heroic portrait of Cody at the controls of his British Army Aeroplane, at Laffan's Plain.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.



Figure 2-18 - Auteur non identifié (Date inconnue) *A train of Captain Madiot's man-lifters on trials.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.

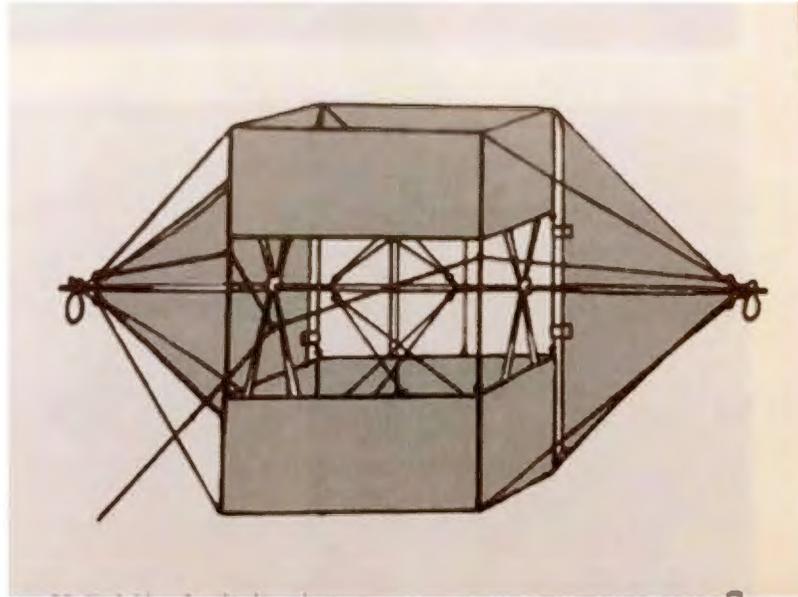


Figure 2-19 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Madiot's kite: barrelled spars were force-fitted into a central boss, and the whole unit was held together under tension.* [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books.



Figure 2-20 - Auteur non identifié (1909) *Captain Saconney's man-lifting system, undergoing trials.* [Photographie] Musée de l'air & David Pelham 1976, Penguin books



Figure 2-21 - Auteur non identifié (1909) *Departing on a high altitude attempt under a train of Sacconneys.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin books



Figure 2-22 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Saconney's man-lifting kite.* [Photographie] Service historique de l'armée de l'air & David Pelham 1976, Penguin books

Certains cerfs-volants devinrent célèbres grâce à leur utilisation dans le domaine militaire. Lors de la seconde guerre mondiale le *Gibson Girl kite*, (construit d'après les *box kites* de Hargrave) a permis aux marins Anglais et Américain d'élever une antenne de communication radio (fig. 2-23 et 2-25). Le cerf-volant venait dans une trousse contenant les morceaux nécessaires à l'assemblage en situation de détresse. Il fut un des premiers cerfs-volants à être produit en série et leur forte présence dans l'effort de guerre contribua à une certaine popularisation dans la culture américaine : ils ont aidé à établir l'idée que le cerf-volant pouvait être industrialisé, diffusé et consommé en tant qu'objet commun et accessible. On retrouve des modèles industrialisés similaires sur le marché dès les années 1950 qui reprennent cet idée de *kit* prêt a monté.⁴⁸

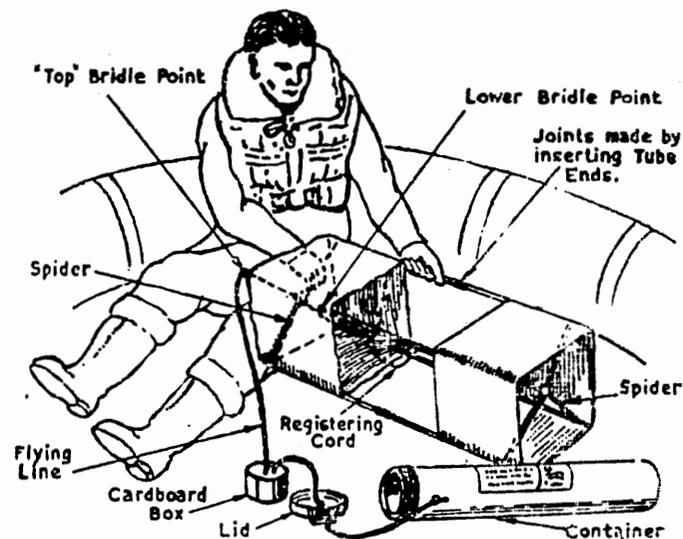


Figure 2-23 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Gibson Kite Instruction* [Illustration] Récupéré de <https://billboyheritagesurvey.wordpress.com/2012/01/17/war-kite-the-gibson-girl-kites/>

⁴⁸ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 160

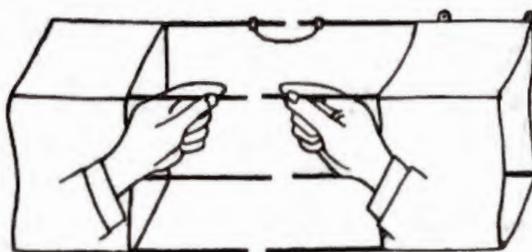


FIG. 1

KITE ASSEMBLY INSTRUCTIONS

FIRST (See Fig. 1).—Assemble the two halves of the kite by fitting the ends of the four longerons on the one half into their respective sockets on the other half. Be sure they are pressing tightly together.

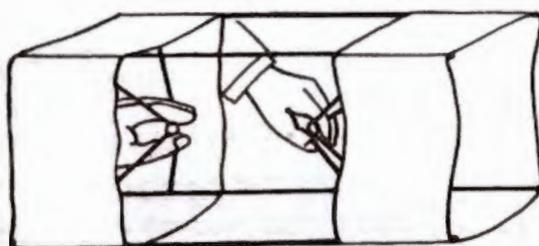


FIG. 2

SECOND (See Fig. 2)—Erect kite by grasping one longeron and shaking kite partially out. Press outward on the two spiders to which spreading members are attached (see illustration) until the members seat in their outward position which is slightly beyond dead center. They will snap into this position and require no keeper. The antenna swivel clasp should be put through outer bridling eye if breeze is strong or through the eye back from the end for lighter breeze.

Toss kite into air to clear turbulent area to leeward of operator. Release cable slowly enough to avoid fouling in water.

Figure 2-24 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Gibson Kite Instructions* [Illustration] Récupéré de <https://billboyheritagesurvey.wordpress.com/2012/01/17/war-kite-the-gibson-girl-kites/>



Figure 2-25 - Paul Hilder (Date inconnue) *Gibson-girl box kite with assembly instruction printed upon forward cell*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin books

Le *Sauls Barrage Kite* (fig. 2-26), aussi célèbre pour son utilisation par l'armée, permettait d'élever une série d'obstacles volants au-dessus des navires, pour éloigner les avions bombardiers. Ces cerfs-volants étaient équipés d'appareils de détonation explosif automatique. Lorsque les avions s'accrochaient dans la ligne, le cerf-volant était tiré jusqu'à l'appareil et au contact, le détonateur initiait une charge explosive.⁴⁹

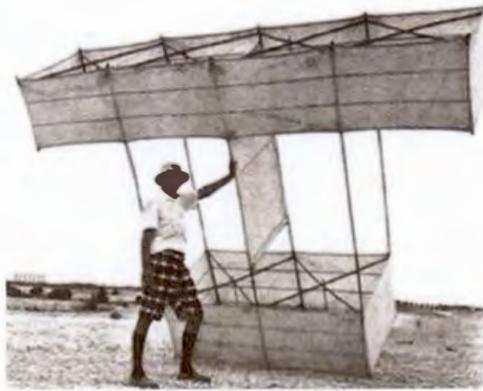


Figure 2-26 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Sauls Barrage Kite* [Photographie] Récupéré de <http://robroy.dyndns.info/targetkites/Sauls/barrage.html>

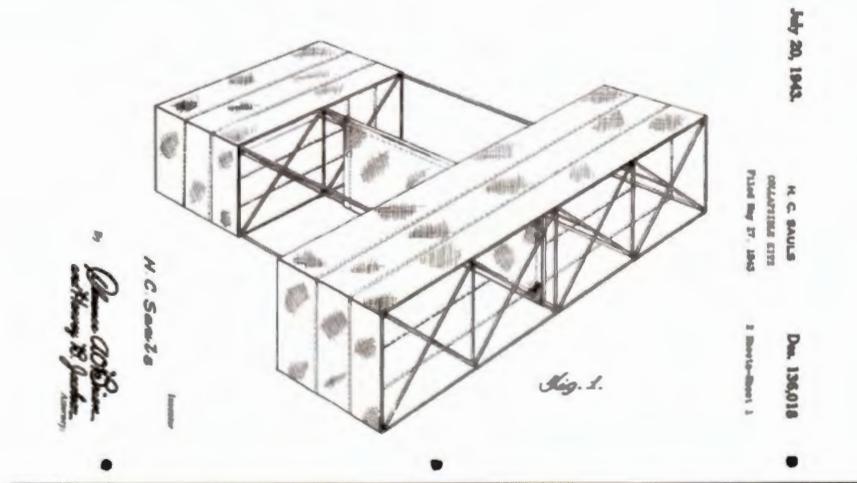


Figure 2-27 - Hosea C. Sauls (1943) *Design for a Collapsible Kite. Serial no. 110,219* [Brevet] Récupéré de <http://robroy.dyndns.info/targetkites/Sauls/barrage.html>

⁴⁹ Pelham, David. (1976) *The penguin Book of kites*. Londres : Penguin books. p. 78

Le cerf-volant fut aussi utilisé pour sa capacité à faire voler un appareil photographique. Parmi ces utilisateurs importants, on notera les travaux de cartographie du français Arthur Batut, mais c'est surtout George R. Lawrence qui est célèbre pour avoir pris des photos aériennes de la ville de San Francisco après le tremblement de terre de 1906 (fig. 2-28). C'est la pratique de la photographie qui incita William Eddy à développer et à populariser le cerf-volant qu'on appelle le *Eddy's kite*, devenue une icône du cerf-volant dans la culture populaire (fig. 2-29).



Figure 2-28 – George R. Lawrence (1906) *San Francisco in Ruin*. Panoramic photographs, Library of Congress. Récupéré de https://en.wikipedia.org/wiki/File:San_Francisco_in_ruin_edit2.jpg

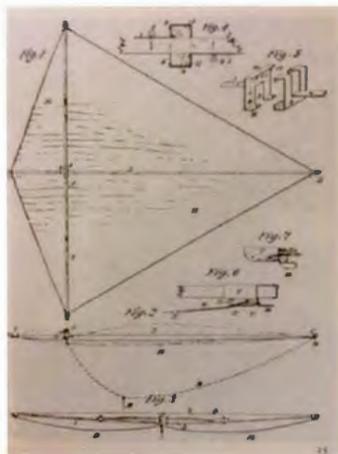


Figure 2-29 Auteur non identifié (1900) *Patent drawing of Eddy's kite* [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books.

Ce type de cerf-volant fut repris et utilisé par Guglielmo Marconi pour la diffusion d'ondes radios am. Il réalisa, à l'aide d'une antenne placée sur son cerf-volant, la première transmission transatlantique du lieu-dit de Poldhu, dans le Cornouaille au Royaume-Uni, jusqu'à St-John à dans la province canadienne de Terre-neuve.



Figure 2-30 – Auteur non identifié (Date inconnue) Marconi's assistant G.S. Kemp with one of the Levitor kites used for aerial elevation in Marconi's early experiments. G.E.C. Marconi Electronis Ltd.



Figure 2-31 - Auteur non identifié (1901) *Kite Aerial, Signal Hill*. G.E.C. Marconi Electronis Ltd.
Récupéré de <https://www.heritage.nf.ca/articles/society/marconi-guglielmo.php>

L'usage qui eut le plus d'impact reste néanmoins celui qui a trait à l'exploration et l'innovation pour l'aviation. Inspirés par Otto Lilienthal et les travaux de Hargrave, les frères Wright sont reconnus pour avoir développé les premiers modèles d'avions entre 1901 et 1905. Ils testaient leurs modèles d'ailes et de voilure à partir de maquettes de cerfs-volants. C'est ainsi qu'ils purent expérimenter et développer le principe de direction de leur biplane, ce qui leur donna un avantage considérable dans la course à l'aviation (fig. 2-33).



Figure 2-32 - Carl Kassner (1891) *Muehlenberg Derwitz* Récupéré de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MuehlenbergDerwitz.jpg#/media/Fichier:MuehlenbergDerwitz.jpg>



Figure 2-33 - Auteur non identifié (1901) *Aircraft flown at Kitty Hawk*. Récupéré de <https://wright.nasa.gov/airplane/kite00.html>

Cette brève histoire des cerfs-volants ne saurait passer sous silence deux des modèles ayant le plus performé au courant du 20e siècle. Les travaux de Francis Rogallo sur les ailes flexibles dans les années 1930 à 1940 donnèrent naissance aux formes actuelles du deltaplane. Conçu au départ avec des ailes souples, il était sensé fournir une aile dépliable qui serviront au projet des fusées de la NASA. L'aile flexible permet un écoulement d'air, et ainsi une forme de contrôle sur le passage de l'air. Elle a ensuite évoluée pour devenir une aile semi-rigide, qui assurait la tenue de l'aile dans sa forme en cônes pour l'écoulement d'air. Le deltaplane utilise le minimum de ressources pour créer des planeurs à haute performance. Il est considéré comme un des meilleurs designs, par sa simplicité, sa légèreté et sa stabilité.⁵⁰

⁵⁰ Pelham, David. (1976) *The Penguin Book of Kites*. Londres : Penguin books. p.82



Figure 2-34 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Francis Rogallo* Récupéré de <http://www.wikidelta.com/histoire/662-lhistoire-selon-f-rogallo>



Figure 2-35 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Francis Rogallo* Récupéré de <http://www.wikidelta.com/histoire/662-lhistoire-selon-f-rogallo>

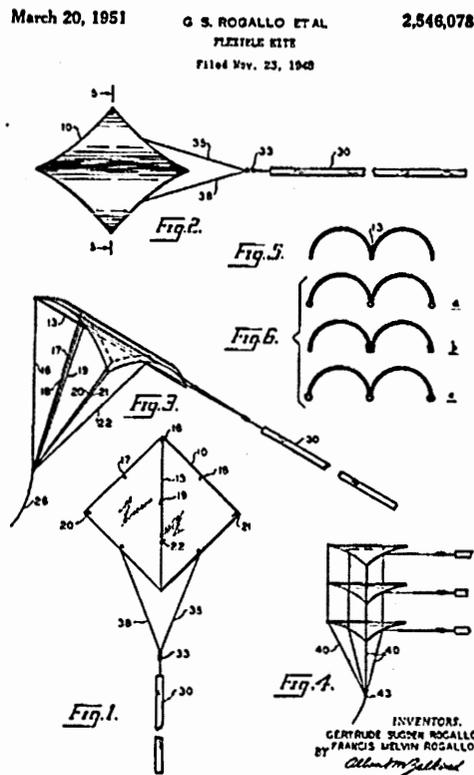


Figure 2-36 – Francis Rogallo (1951) *Flexible Kite Serial No. 61 702* [Brevet] Récupéré de <https://patents.google.com/patent/US2546078?q=flexible+kite>

Domina C. Jalbert développa le principe du parafoil, une aile construite exclusivement de tissu, pouvant se gonfler sous la pression de l'air. Ne nécessitant aucune structure, Jalbert fit breveter le principe qui permet le maximum de légèreté et de traction. Ces inventions furent reprises pour le développement du parachute et l'aile du parafoil est maintenant utilisée comme cerf-volant de traction dans des

sports comme le *kite surf*, le parapente et le parachutisme. La force de traction de ce cerf-volant est développée par la forme d'aile obtenue une fois gonflée par le conduit d'air. Extrêmement léger et ne nécessitant pas de structure rigide, il est parmi les modèles les plus performants de cerf-volant.



Figure 2-37 – North American Dynamics, Inc. (date inconnue) Récupéré de <http://naaero.com/wp/jalbert-parafoil/>



Figure 2-38 – Harri Peccinoti (Date inconnue) *Giant Parafoil, being flown during trimming of shroud lines.* [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books.

Nov. 15, 1966

D. C. JALBERT

3,285,546

MULTI-CELL WING TYPE AERIAL DEVICE

Filed Oct. 1, 1964

2 Sheets-Sheet 1

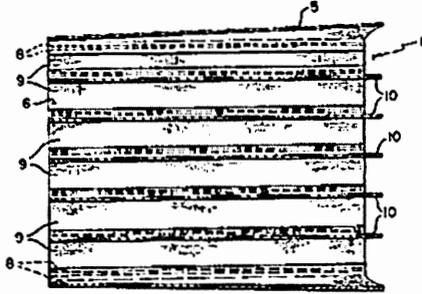
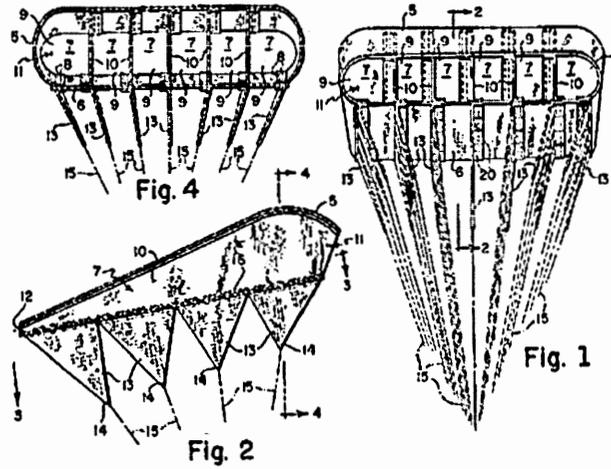


Fig. 3

INVENTOR
DOMINA C. JALBERT

BY *James W. Cyle*
ATTORNEY

2.3 Alexander Graham Bell et la science de la machine volante

Alexander Graham Bell est connu en tant qu'inventeur, notamment pour le brevet officiel du téléphone en 1876. Il a aussi mené des expériences impliquant des cerfs-volants, à l'époque où les développements scientifiques en aéronautique bouillonnaient, après les travaux de Lilienthal et de Hargrave. Il écrit en 1903 un article important dans le magazine National Geographic, appelé *The Tetrahedral Principle in Kite Structure*⁵¹, dans lequel il décrit une partie de ses expériences sur les cerfs-volants. Il y explique sa volonté d'étudier leurs comportements pour réussir à faire une « machine volante » et décrit comment l'évolution de sa recherche l'a amené à s'intéresser au principe du tétraèdre.

Bell développe des cerfs-volants pour essayer de créer un modèle propice au vol. Il élabore certains principes quant à la vitesse et la structure de l'engin, notamment à ce qui a trait à la résistance structurelle et à la densité. Il s'intéresse par ailleurs au *box kite* de Hargrave, affirmant qu'il s'agit d'une structure appropriée pour le vol stable. Bell, fasciné par ce cerf-volant multicellulaire, dira de ce dernier qu'il porte la recherche à un niveau supérieur et sera son point de départ pour l'étude des aérodynes.⁵²

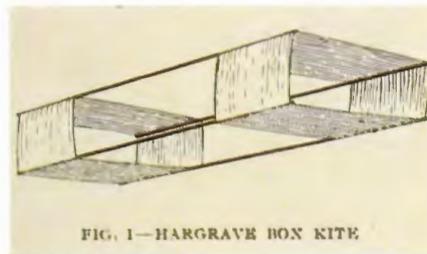


Figure 2-40 – Alexander Graham Bell (1903) *Hargrave Box kite*, The National Geographic Magazine.

⁵¹ Bell, Alexander G. « The Tetrahedral Principle in Kite Structure » National Geographic. Juin, 1903 Vol. XIV No.6 p 221

⁵² Ibid p. 221

La stabilité du *box kite* de Hargrave est due à la division de la structure en deux cellules rectangulaires qui tiennent des surfaces. Ces cellules sont séparées par un espace, produisant un effet de tête et de queue qui permet l'enlèvement dans le vent. Hargrave pouvait donc éviter les descentes et les oscillations causées par la force inconstante du vent. Les surfaces latérales permettent aussi de stabiliser la structure et de la tenir dans un angle qui maximise la levée de la structure.⁵³ Bell remarquera que la structure « carrée » du box kite est sensible aux forces latérales et nécessite une forme de contreventement. Ces dernières rajoutent du poids à la structure, diminuant le potentiel de levée. Les surfaces latérales ajoutent elles aussi une charge à la structure, tout en demeurant nécessaires.

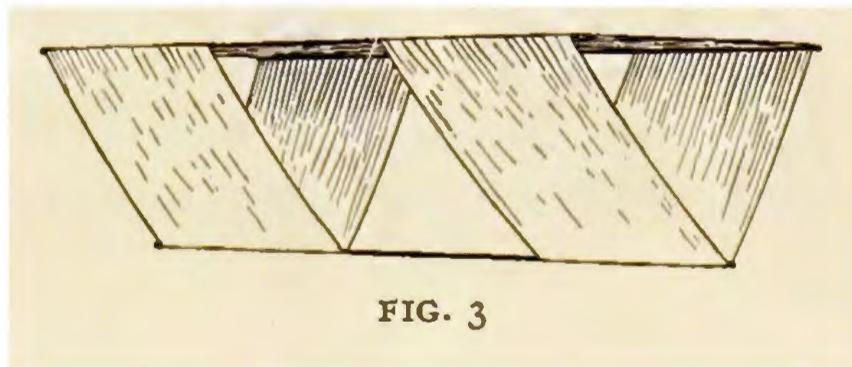


Figure 2-41 - Alexander Graham Bell (1903) *Triangular Box kite*. The National Geographic Magazine.

À l'aide de la forme triangulaire, Bell améliora considérablement la force en contreventement de la structure en gardant un ratio minimal de poids par surface. De plus, le positionnement composé des formes triangulaires permet de former d'autres triangles et augmente la surface. L'agencement des triangles permet d'unir les bâtons longitudinaux pour réduire le poids individuel de chacun. Il en résulte que la résistance de la structure reste suffisante, tout en voyant sa masse diminuer. Bell

⁵³ Ibid. p.221

observera que ce ratio d'efficacité augmente à mesure que l'on additionne les triangles.

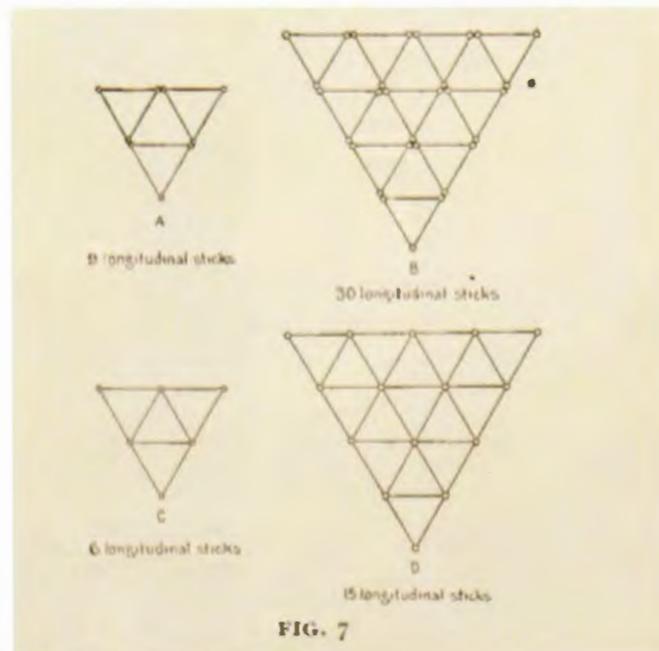


Figure 2-42 - Alexander Graham Bell (1903) *Figure sans titre représentant l'agencement en triangle*, The National Geographic Magazine.

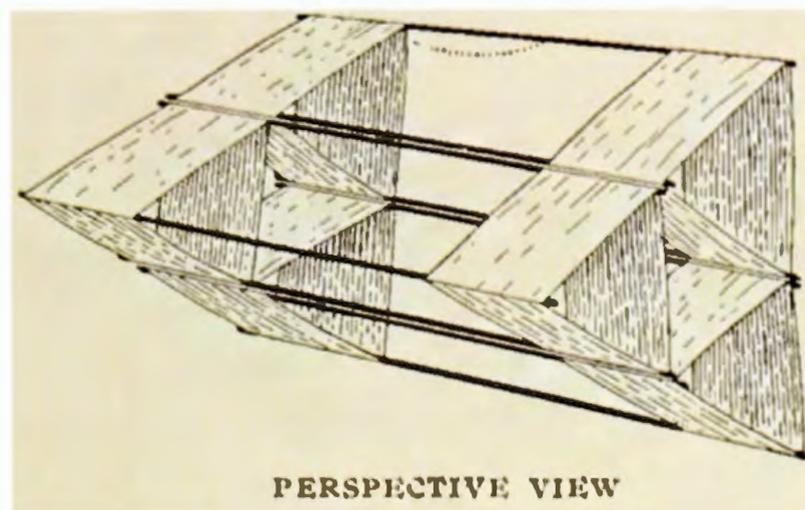


Figure 2-43 - Alexander Graham Bell (1903) *Compound Triangular Kite*, The National Geographic Magazine.

Bell se rend compte que le triangle solidifie latéralement la structure, mais qu'il doit résoudre le problème du contreventement longitudinal. C'est ainsi qu'il arrive à construire le cerf-volant en tétraèdre qui répond aux charges dans tous les sens et en proposant une forme solide et constante (fig. 2-44).

« [The tetrahedron] is not simply braced in two directions in space like a triangle, but in three directions like a solid. If I may coin a word, it possesses « *three-dimensional* » strength; not « *two dimensional* » strength like a triangle, or « *one-dimensional* strength » like a rod. It is the skeleton of a solid, not of a surface or a line. »⁵⁴

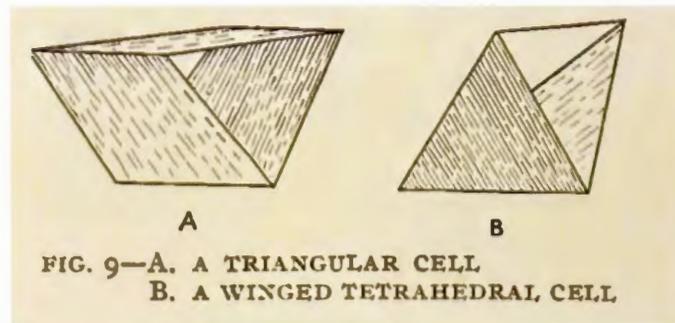


Figure 2-44 - Alexander Graham Bell (1903) *A. A triangular cell, B. A winged tetrahedral Cell*, The National Geographic Magazine.

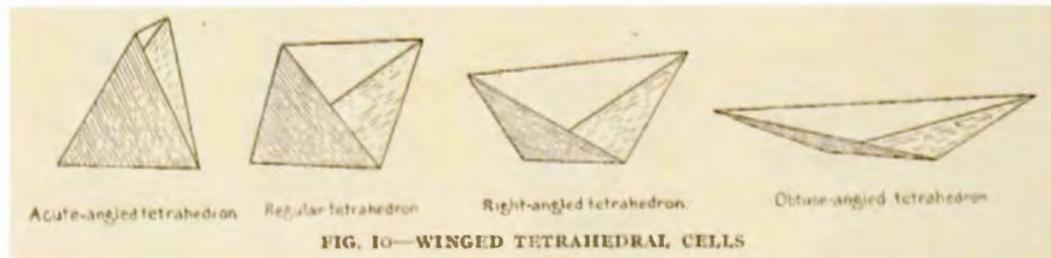


Figure 2-45 - Alexander Graham Bell (1903) *Winged tetrahedral Cells*, The National Geographic Magazine.

Ce module en tétraèdre répond à une règle émise à l'époque : plus une structure d'aérodynamisme est grande, plus le vent pour la soulever doit être fort. Basé sur des écrits scientifiques de l'époque, Bell tente de résoudre cette difficulté en utilisant une structure cellulaire. Avec le tétraèdre, il tente de réduire le ratio de poids et de surface

⁵⁴ Ibid. p. 225

en profitant de l'agencement des structures. En transformant la structure plate de Hargrave en deux pans symétriques, Bell savait qu'il réduisait légèrement la surface portante, mais gagnait une force structurale importante. En accroissant la structure de façon volumétrique, il augmentait la surface portante par le carré de 3.

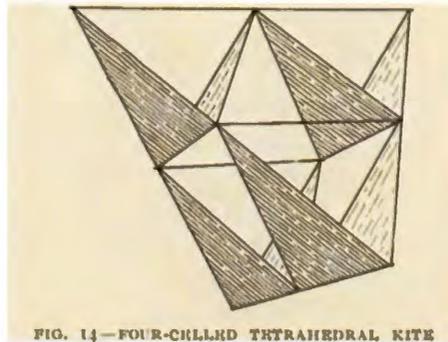


Figure 2-46 - Alexander Graham Bell (1903) *Four Celled Tetrahedral Kite*, The National Geographic Magazine.



Figure 2-47 - Alexander Graham Bell (1902) *The Aerodrome kite*, The National Geographic Magazine.

C'est cette forme en tétraèdre qui aura le plus d'impact sur le travail des structures de Bell. Il changera la forme de ses aérodynes au travers des expérimentations, tout en conservant la structure en tétraèdre. Les formes qu'il produisit avec son atelier d'expérimentation étaient d'une ampleur considérable. Bell était motivé par les possibilités de vol de ses cerfs-volants, et ses recherches l'ont amené à développer des aérodynes assez gros pour supporter un être humain et un moteur. Ses aérodynes avaient une taille considérable et il lui semblait qu'en fractionnant la surface de vol, il atteindrait une plus grande stabilité en cas de problème en altitude.

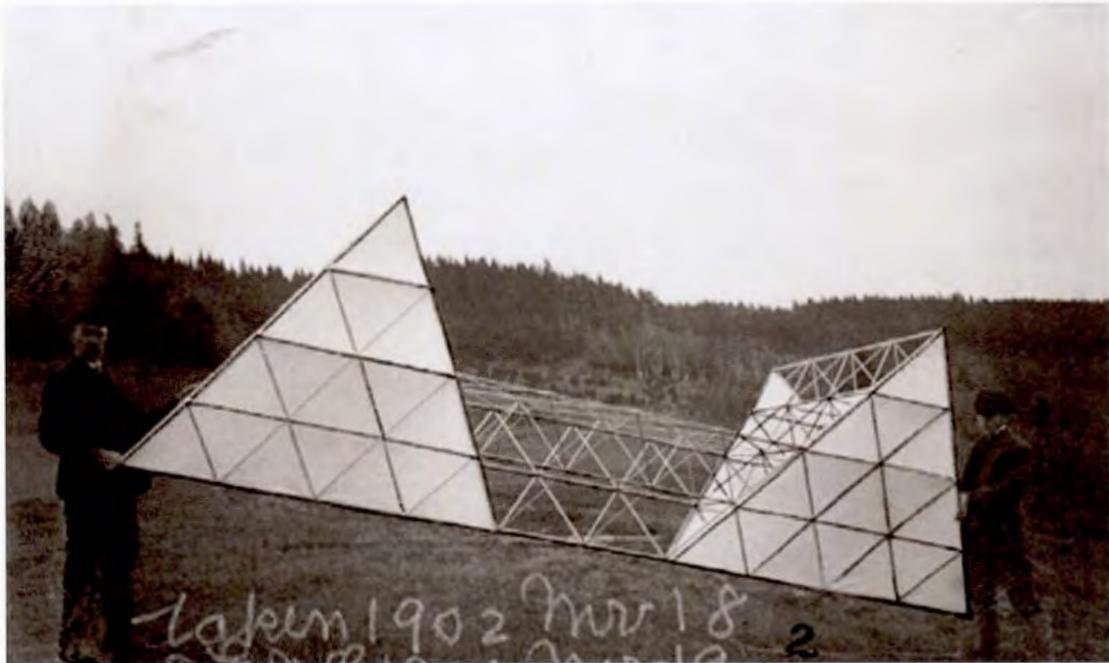


Figure 2-48 - Alexander Graham Bell (1902), [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/kite.html>

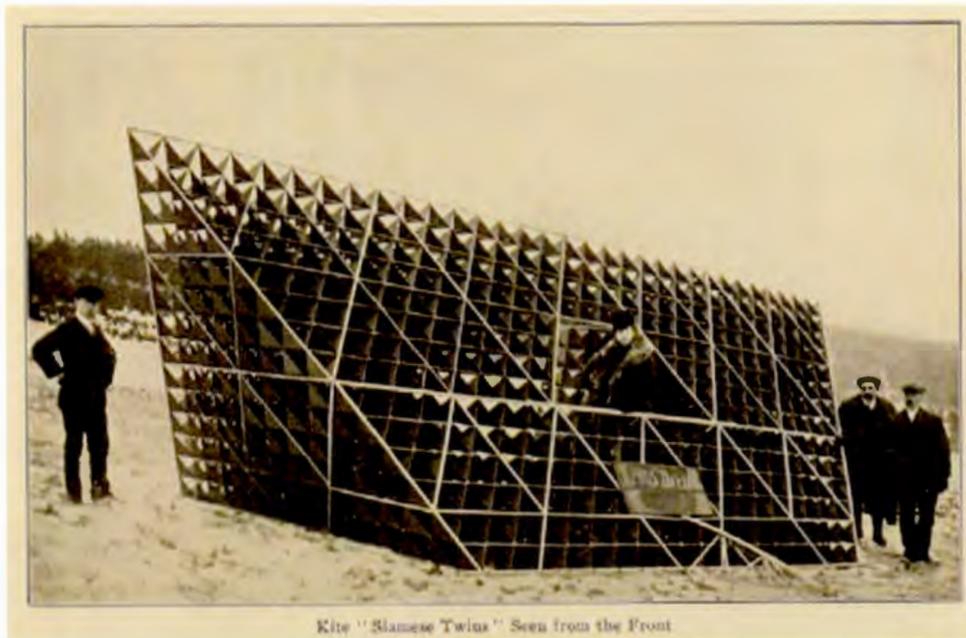


Figure 2-49 - Alexander Graham Bell (1903) *Kite "Siamese Twins" Seen from the Frost*, [Photographie] The National Geographic Magazine

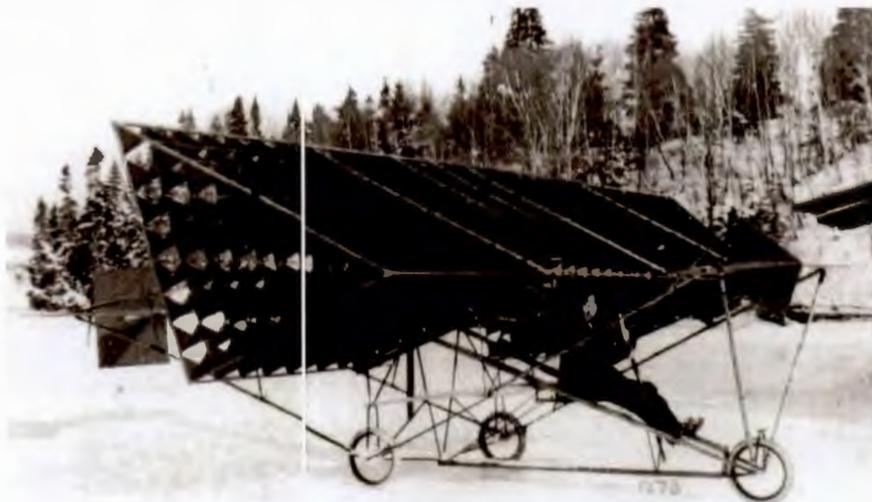


Figure 2-50 - Auteur non identifié (1912) *Cygnet III*, [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html>

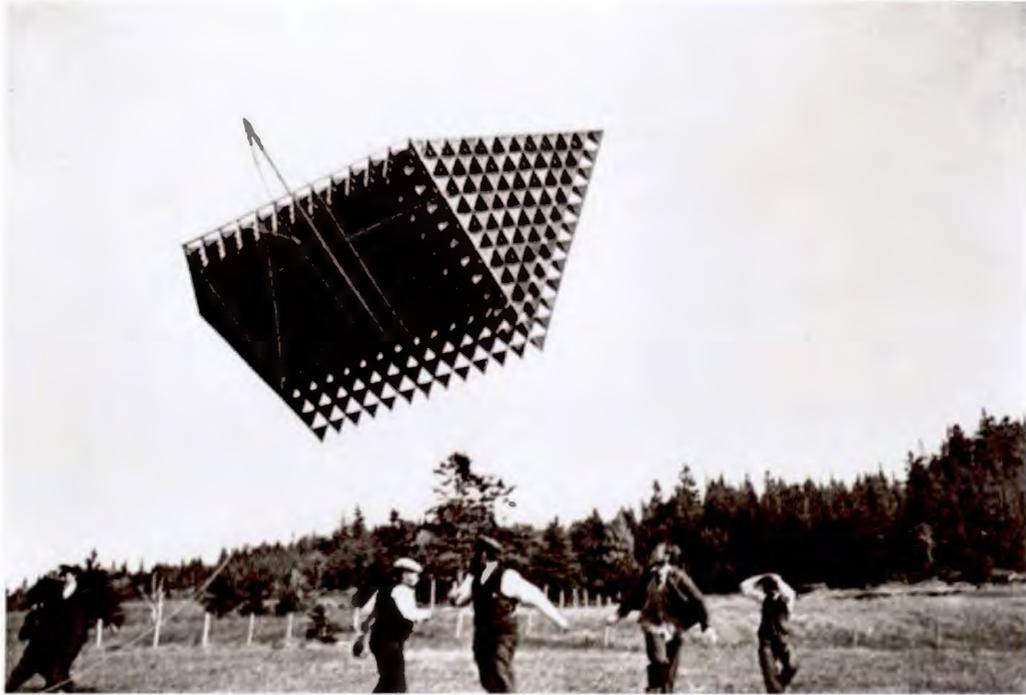


Figure 2-51 – Auteur non identifié (1904) *Frost King*. [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/kite.html>

Une des inventions les plus déterminantes sur les structures en tétraèdre fut l'aérodyne appelé *Frost King* (1905) (fig. 2-51) qui permit de soutenir à quarante pieds dans les airs, un être humain, une bonne longueur de grosse corde (loin de la légèreté du nylon) ainsi que sa charge morte en tant que structure.⁵⁵

À la fin de son article dans le *National Geographic*, Bell reconnaît la valeur des structures en tétraèdre pour d'autres applications, dont l'architecture. Comparant la force des cellules et son assemblage à la façon qu'on construit un mur de briques, il reconnaît là une innovation technique. Ce principe constructif, qui possède à la fois la qualité d'être fort et léger, lui permit de fabriquer une série d'artéfacts : une maison,

⁵⁵ Ibid. p. 231

une structure brise-vent pour ses expérimentations dans les champs, quelques bateaux et beaucoup d'aérodynes⁵⁶ :

Giant kites, too large to pass through the double doors of the storage building, had to be put together in the open field. This proving to be impracticable without some sort of shelter from the wind, a wind-break became a necessity, and I determined to build one out of tetrahedral cells. After the necessary number of tetrahedral cells had been prepared they were put together in a single day, the ridge-pole being added subsequently. When the kite-flying experiments ceased for the season the framework was taken to pieces and the tetrahedral cells employed in the construction of tetrahedral houses—covered with tent-cloth—for the shelter of sheep. The materials can be reassembled at any time desired, and the wind-break rebuilt in a few hours.⁵⁷

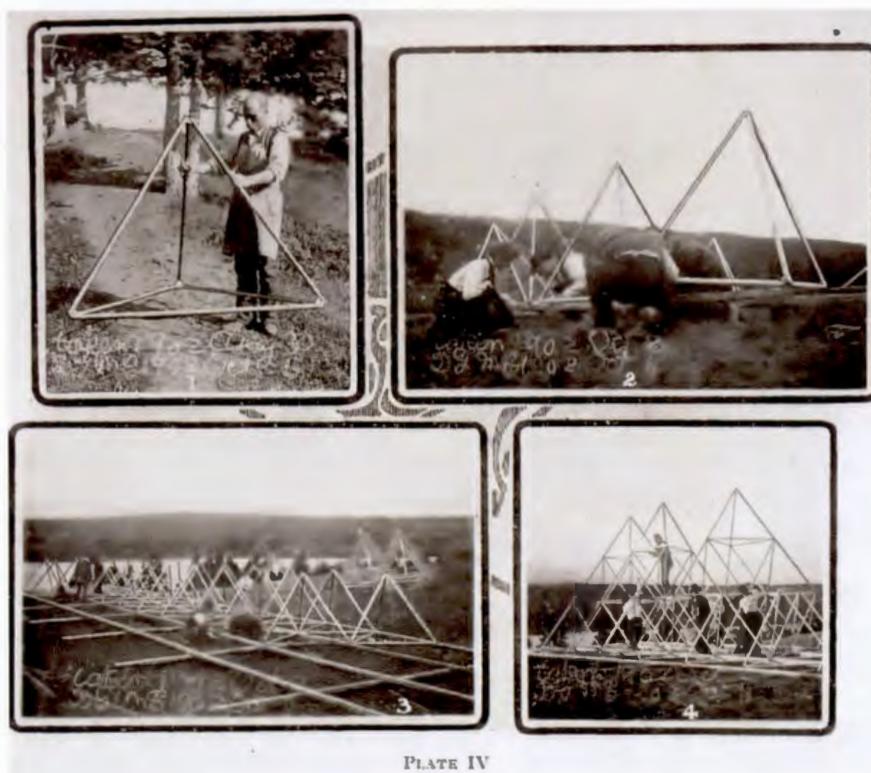


Figure 2-52 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate IV: 1. Tetrahedral cell Employed in making the framework of the wind-break. 2,3 and 4 The wind-break in process of construction.* [Photographies] The National Geographic Magazine

⁵⁶ Ibid. p. 231

⁵⁷ Ibid. p. 248

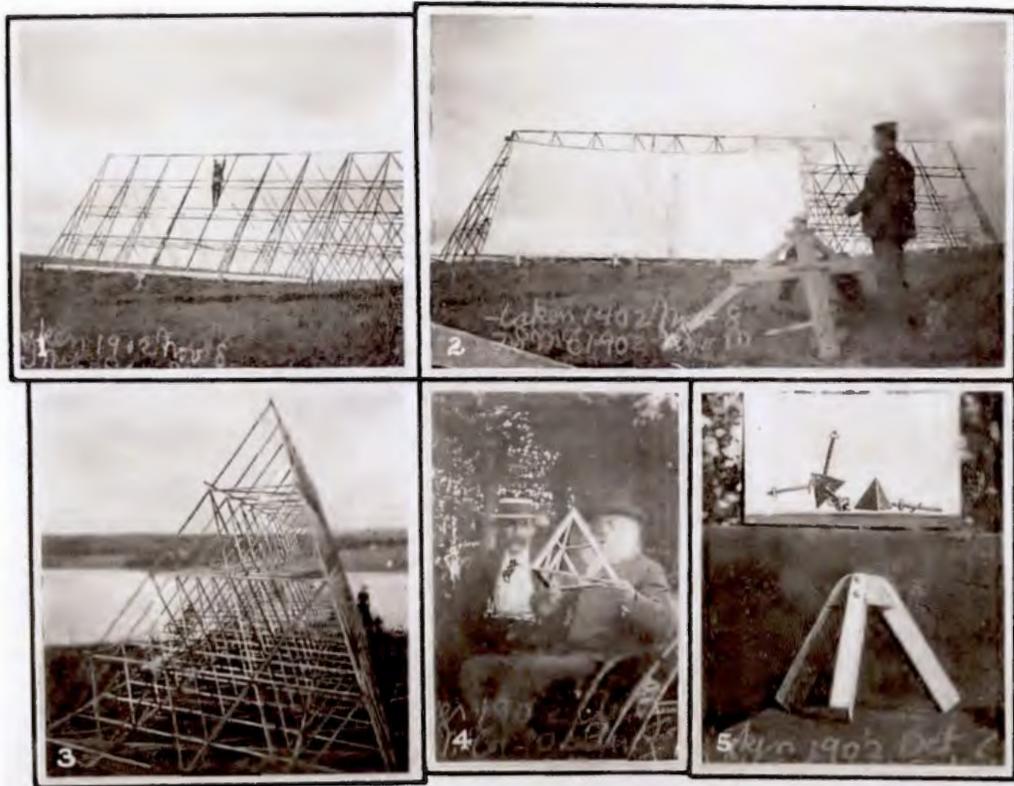


PLATE V

Figure 2-53 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate V: Wind-break completed, showing canvas rolled down. 2. Wind-break showing canvas raised 3. End view of wind-break. 4. Model of the framework for a tetrahedral house. 5. Tetrahedral nuts for fastening tetrahedral frames together.* [Photographies]The National Geographic Magazine

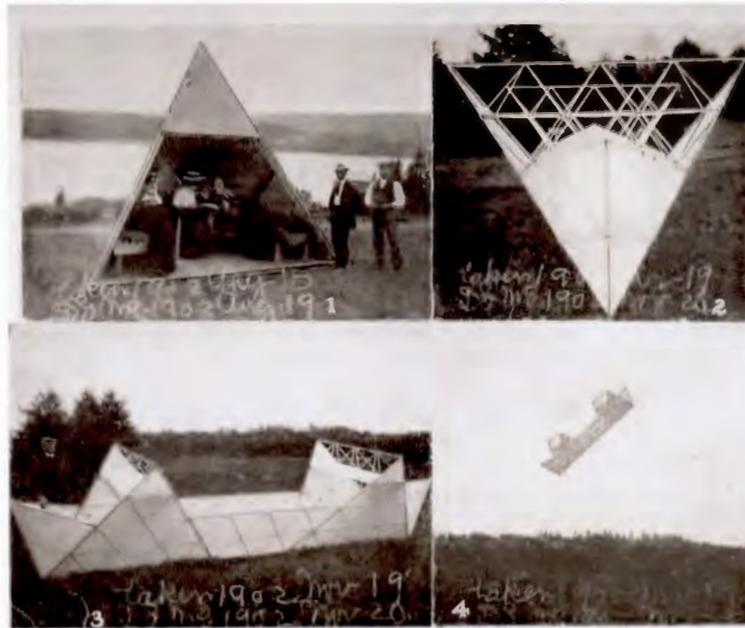


PLATE VI

Figure 2-54 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate VI*: 1. The observation-house where the kite experiments are observed and noted. The house itself is of the tetrahedral form. 2. Front view of winged boat, the framework of which is constructed of tetrahedral cells. 3. Another view of the winged boat. 4. The winged boat in the air. [Photographies] *The National Geographic Magazine*



Figure 2-55 – Alexander Graham Bell (1907) Head-on front view of four unidentified men standing on a tetrahedral beam supported on sawhorses; part of Alexander Graham Bell's tetrahedral kite experiments of 1907. [Photographie] Récupéré de <https://airandspace.si.edu/collection-objects/bell-alexander-graham-tetrahedral-kite-experiments-1907-photograph-1>



Figure 2-56 – Alexander Graham Bell (1907) *Bell's tower* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html>



Figure 2-57 - Alexander Graham Bell (1907) *Photo sans titre* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html>



Figure 2-58 - Alexander Graham Bell (1907) *Photo sans titre* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html>

Sur des photographies de Bell (Fig. 2-56), on peut voir une tour d'observation construite à l'aide d'une structure en tétraèdre. Construction étonnante pour l'époque, près de quarante ans avant l'arrivée des réflexions sur le *space frame*, cette tour d'observation construite en 1907 à Beinn Bhreagh en Nouvelle-Écosse était fabriquée à l'aide de tuyaux de fer forgé et de connecteurs en fonte⁵⁸.

Bell a mené une recherche pratique où la manipulation des structures et des matières, ainsi que de leur expérimentation par la mise en vol, ne visait pas que le savoir théorique. L'application pratique des connaissances était un jeu constant avec des avancées technologiques. Entre l'invention et le jeu des expérimentations, brouillant les limites de la recherche théorique à des fins scientifiques, Bell su reconnaître le potentiel du tétraèdre dans des applications pratiques :

⁵⁸ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 173-174

« At the turn of the century, Bell had recognized the potential of the cellular structure and in his experiments with kites, blurred the distinction between invention and play. In a similar manner, the work of architects such as Wachsmann and Fuller entailed manipulating different materials over and over, working like a scientist in a laboratory until a successful experiment was achieved. Bell's long-term research on cellular structures took this form as well; for years he would go outdoors with his assistants and fly kites. His was not a theoretical enterprise, and only through experimentation did he determine the supremacy, in strength and stability, of the tetrahedral cell structures. »⁵⁹

En bref, Alexander Graham Bell et ses assistants jouent à un « jeu scientifique ». Les motivations et les hypothèses se posent comme un vecteur à la connaissance aéronautique, mais c'est surtout une attitude de recherche pour l'innovation. En reprenant le modèle de Hargrave, leur intention était d'aboutir à une machine volante et de breveter cette invention. L'expérimentation à laquelle ils s'adonnaient était un jeu où les participants ne connaissaient pas exactement les règles. C'est en y jouant que l'usage du tétraèdre leur est apparu et qu'ils ont pu en comprendre les effets pratiques. Bell a pu développer un principe constructif qui lui permit de construire autre chose, de façon inattendue. L'objectif de son article paru dans *the National Geographic* visait à établir les qualités d'une cellule tétraédrique non seulement pour les cerfs-volants, mais comme découverte importante à tout ce qui peut bénéficier de la combinaison entre force et légèreté⁶⁰. En intégrant l'usage de la forme tétraédrique, il a su influencer une réflexion sur la performance des structures et aura un effet considérable sur les designers du 20e siècle. Ces modèles, conçus, construits et mis en vol à l'aide des habitants du village, faisaient intervenir toute une économie à New Baddek en Nouvelle-Ecosse. Documentant son travail d'expérimentation pour le diffuser au travers d'une communauté de chercheurs, il représente un exemple de rigueur scientifique.

⁵⁹ Ibid

⁶⁰ Bell, Alexander G. « The Tetrahedral Principle in Kite Structure » *National Geographic*. Juin, 1903 Vol. XIV No.6 p. 231

Suivant son intuition, mais aussi des règles et des principes de base reconnus par la communauté scientifique, il a construit des types d'aérodynes de différentes formes, exprimant chacune l'incarnation d'une hypothèse impliquant le tétraèdre. Le cerf-volant était pour lui un outil d'expérimentation, et à l'époque, la modélisation matérielle était nécessaire pour comprendre le comportement du vent. À la fois maquettes et hypothèses de machine volante, mais aussi objets autonomes, ces aérodynes et leurs usages ont indiqué à Bell comment poursuivre sa recherche.

2.4 Charles et Ray Eames, le jeu de la matière, des formes et des couleurs

Le but de toute action est d'amener au résultat sensible. Nous atteignons ainsi le tangible et le pratique comme base de toute différence de pensée, si subtile qu'elle puisse être »

– Charles S. Peirce⁶¹

Duo mythique de la culture du design du 20^e siècle, Charles Eames et Ray Eames ont marqué la période de l'après-guerre et grandement influencé le design contemporain. Le secteur de l'aviation est à ce moment bien développé et a atteint un point culminant avec la seconde guerre mondiale et le bombardement d'Hiroshima et Nagasaki. L'aviation est devenue un secteur économique puissant grâce à la croissance économique générée par les deux grandes Guerres mondiales. Les Eames ont démarré leur carrière en travaillant pour cette économie militaire, réalisant des prothèses en bois laminé et développant des profils d'ailes moulées pour des avions.⁶²

⁶¹ Peirce, Charles S.. (1879) « Comment rendre nos idées claires » Dans La logique de la science : deuxième partie. Revue philosophique de la France et de l'étranger [0035-3833] vol:7 p.39 -57

⁶² Brodovitch, Alexey (1950) Charles Eames : Portfolio a magazine for the graphic arts. No.2. George S Rosenthal (Ed.); Cincinnati Zebra Press)

En partenariat avec l'architecte Eero Saarinen, ils ont par ailleurs su explorer cette matière pour créer une chaise qui fut la première d'une série de chaises iconiques du design.



Figure 2-59 – Museum of Modern Art (1941) *Eames MoMA Chair* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/organic-chair/>

L'attitude synergique propre à cette époque d'après-guerre témoigne d'une réalité jusqu'alors jamais vue. On retrouve une industrie dopée par l'innovation et l'économie militaire qui rend les processus industriels abondants et peu coûteux. La guerre laisse un vide et une liquidation de cette production devient nécessaire. Les Eames se retrouvent donc avec des possibilités d'exploration et leur grande force a

été de savoir s'adapter à l'environnement et à la culture en mutation des années cinquante.⁶³

Designers à différentes échelles, de l'architecture à l'objet en passant par la représentation graphique, les Eames abordent une réflexion plus large. Ils seront les ambassadeurs d'une société en effervescence et leurs propositions de design incarnent une culture matérielle changeante. Cette culture présente de nouvelles possibilités dont on cerne encore mal la portée. L'abondance des ressources industrielles ainsi que la diffusion de l'information permettent à ces designers d'accéder aussi aux discours des modernistes européens, qui prennent énormément d'ampleur et étendent leur influence en Amérique.⁶⁴



Figure 2-60 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Eames House* [Photographie] Récupéré de <https://eamesfoundation.org/>

Les Eames sont à l'affût des nouvelles technologies et leur maison produite pour le programme des *case study houses* (fig. 2-60) du magazine *Arts and Architecture*⁶⁵ devint en quelque sorte un terrain de jeu et d'expérimentation des nouvelles méthodes de construction inspirées par la préfabrication et l'industrialisation. La réalisation de

⁶³ Jones PB et Eamon C, (2007) *Modern architecture through case studies 1945-1990*, Elsevier, p. 10-23

⁶⁴ Ibid

⁶⁵ *Case Study House for 1949* (1949) *Arts and architecture*. (décembre.) p.26-40

la *Case Study No.8* est une façon d'inspirer une nouvelle architecture domestique moderne pour la classe moyenne de l'après-guerre⁶⁶. Les Eames y présentent des matériaux hors du commun et des formes qui s'éloignent des matériaux standard de l'architecture au profit de matériaux industriels. À l'époque, les Eames s'intéressaient alors développement de la préfabrication pour l'architecture comme en témoignera par ailleurs leur projet non construit *Kwikset* (fig. 2-61) qui suivra en 1951.



Figure 2-61 - Auteur non identifié (1951) *Kwikset* [Photographie] Eames Office. Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-kwikset-house/>

⁶⁶ Ibid

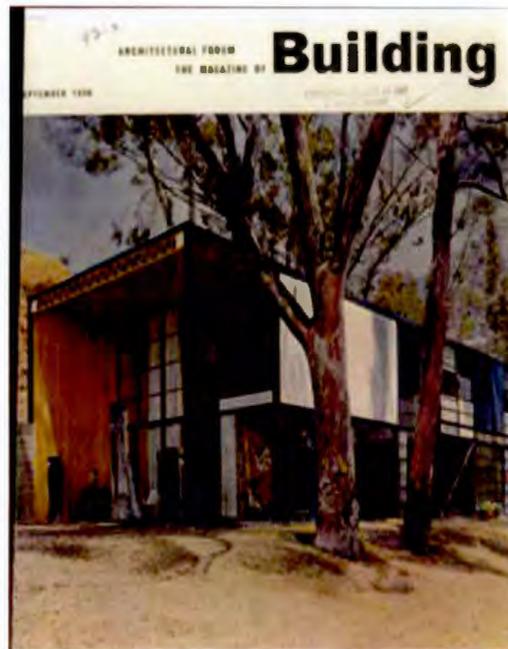


Figure 2-62 - Architectural forum (1950) [Page couverture] Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF>



Figure 2-63 - Architectural forum (1950) *Life in a Chinese Kite* [Première page de l'article] Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF>

L'article, *Life in a Chinese Kite* (1950) dans *Architectural Forum*⁶⁷, peut servir de point de départ pour établir des liens chez les Eames entre la *Case Study* et les cerfs-volants. On peut y lire que la maison est « *lift and drop* » sur le site, ou encore qu'elle est constituée de surfaces légères, opaques ou transparentes qui rappellent à la fois l'architectonique d'un cerf-volant et l'esthétique du mouvement moderne institué par De Stijl.

Sans que le cerf-volant ne soit la clef de lecture énigmatique de la maison, on y reconnaît les qualités constructives des cerfs-volants, l'usage des matériaux de l'après-guerre et l'harmonie dans la composition de la structure. L'ossature de la *Case Study* compose avec la finesse et la légèreté du métal, produit dérivé d'une industrie de profilés laminés utilisés pour la construction d'entrepôts. De plus, la légèreté des matériaux fut à l'époque un enjeu économique important dans l'optimisation du processus de construction, en lien avec le transport, les quantités de matière et les coûts d'installation. Les matériaux choisis pour la construction de la maison n'étaient pas issus d'un kit préfabriqué, mais se développaient en ce sens : l'ensemble des matériaux était composé de pièces standardisées commandées dans le catalogue d'un fournisseur. L'argumentaire architectural suit le principe de la commande de l'ensemble des pièces et de l'assemblage in situ.

Décrivant la maison comme étant spacieuse et relevant de matériaux à la fine pointe de la technologie industrielle, l'article ajoute qu'elle est légère et aérienne tel un pont suspendu, et squelettique tel un fuselage d'avion⁶⁸ : la maison peut pour cela être perçue comme un cerf-volant. L'article expose l'audacieuse construction d'un espace domestique à l'aide de profilés de métal et les différents avantages et inconvénients qui en découlent. Terminant une analyse architectonique, l'auteur explique l'intérêt

⁶⁷ *Life in a Chinese Kite* (1950) *Architectural Forum*. (Septembre). Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF> p.90

⁶⁸ *Ibid.* p.90

de Charles Eames pour l'audace et l'innovation des ingénieurs aéronautiques qui influencent beaucoup plus le designer que les façons traditionnelles de construire.⁶⁹



Figure 2-64 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture



Figure 2-65 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture

⁶⁹ Ibid.

On raconte dans l'article d'*Arts and Architecture* comment l'attente des matériaux a forcé les Eames à aller dans les prés et à y passer de longs moments à profiter du site, en profitant de ce moment d'attente pour pratiquer le tir à l'arc et faire voler des cerfs-volants.⁷⁰ Cette attente forcée les conduisit à modifier le projet pour réduire l'impact de la construction par amour pour le site. D'un bâtiment en porte à faux qui surplombait le champ, ils se sont tournés vers un encastrement dans la colline. Ils se sont questionnés sur la manière de maximiser le volume en utilisant le minimum de matériaux et en produisant le minimum d'impact sur l'environnement. Lorsqu'on regarde la maison (fig. 2-67) on peut reconnaître une forme similaire à un cerf-volant *box kite* de Lawrence Hargrave.⁷¹ On reconnaît les surfaces légères qui s'accrochent à la structure rigide.



Figure 2-66 - Jay Connor (1949) [Photographie] *Arts and Architecture*

⁷⁰ Eames Foundation (s. d.) History. Récupéré le 15 avril 2019 de <https://eamesfoundation.org/house/history/>

⁷¹ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 161



Figure 2-67 - Jay Connor (1949) *View From the northwest above the retaining wall looking toward the ocean.* [Photographie] Arts and Architecture



Figure 2-68 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture



Figure 2-69 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture

Par ailleurs, l'importance accordée au plaisir et au jeu revient souvent chez les Eames et s'est traduite dans la confection de jouets. Les emblématiques jeux *Houses of Cards*, et *The Toy* (fig. 2-70 à fig. 2-75) étaient offerts en trousse similaires à un kit de préfabrication. Le joueur pouvait assembler les pièces selon des « matériaux standardisés ». *Houses of cards* est une série de cartes conçue à l'aide d'images de la vie de tous les jours. Le joueur peut ainsi expérimenter à partir d'images et de signes de la vie courante et construire un monde imaginaire. Basé sur une approche similaire mais plus abstraite, *The Toy* présente des bâtons et des surfaces que le joueur peut assembler d'une multitude de façons. Les bâtons et les surfaces sont les deux éléments principaux d'un cerf-volant, mais aussi d'une forme de l'architecture moderne et font échos aux principes de la *Case study* des Eames. Cette relation aux

kits de matériaux préfabriqués n'est pas sans rappeler le principe de la trousse du *Gibson Girl Kite* (fig. 2-23), dont le modèle et le principe d'assemblage furent repris et diffusés dans la culture américaine durant les années 50 sous la forme d'un jouet.⁷²



Figure 2-70 - Eames Office (1952) *House of Cards* [Illustration] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/house-of-cards-2/>



Figure 2-71 – Eames Offices (1952) [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/house-of-cards-2/>

⁷² Ibid. p. 160



Figure 2-72 - Auteur non identifié (1950) *Ray Eames with an early prototype of The Toy* [Photographie]
 Récupéré de <https://www.welt.de/img/icon/mobile/169166449/4697936007-coriginal-w1200/35-Ray-Eames-with-an-early-prototype-of-The-Toy-in-the-patio-of.jpg>

LARGE • COLORFUL • EASY TO ASSEMBLE • FOR CREATING A LIGHT, BRIGHT EXPANDABLE WORLD LARGE ENOUGH TO PLAY IN AND AROUND

NO. 99 THE TOY
 RETAIL PRICE \$3.50
 ONE IN FOUR COLOR DISPLAY BOX
 BOX SIZE 30" x 3" DIAMETER
 13 TO MASTER CARTON
 WEIGHT OF MASTER CARTON - 30 LBS.

THE TOY contains four 30 inch squares and four 30 inch triangles of heavy fire resistant paper, 30 hardwood dowels, one pack of connection wires and instruction sheet.

the **TOY**

ALL PRODUCTS F. O. S. JACKSON, TENN.

F. O. S. JACKSON
 1111 JACKSON AVENUE
 JACKSON, TENN. 38201

Figure 2-73 - Eames Office (1952) [Illustration] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/>

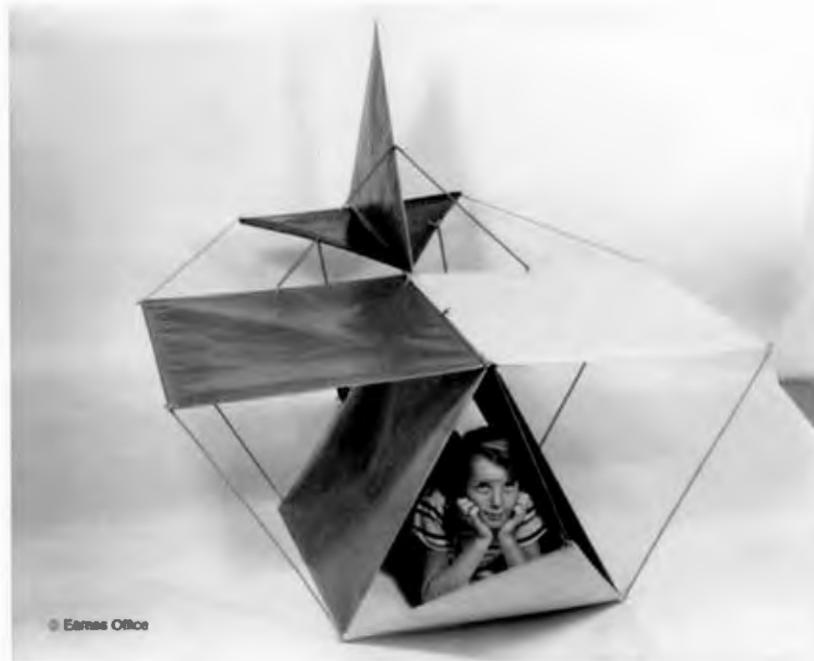


Figure 2-74 - Eames Office (1951) *The Toy* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/>

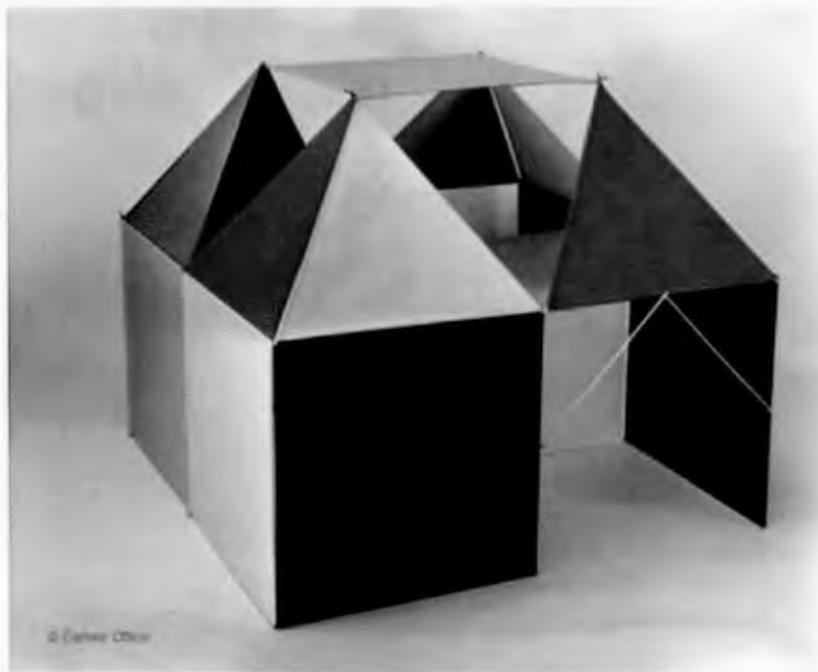


Figure 2-75 - Eames Office (1951) *The Toy* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/>

On retrouve en page couverture du magazine *Portfolio*⁷³ un collage des Eames qui représente un cerf-volant (fig. 2-77). L'article d'Alexey Brodovitch qui porte sur Charles Eames commente l'univers domestique dans lequel le couple vit. Il décrit avec détail l'univers rempli d'artéfacts de tous genres qui inondent l'espace des Eames et témoignent de leur créativité de collectionneur. On ressent l'attention particulière et l'amour pour les objets ludiques qui dépasse le fonctionnalisme des objets utilitaires. Dans les photos qui accompagnent l'article, on peut apercevoir la photographie d'un cerf-volant coloré de type *box kite*, mis de l'avant comme objet ludique, simple, mais aussi moderne. On retrouve aussi des dessins qui mettent en scène leurs meubles, avec des cerfs-volants accrochés au mur (fig. 2-79 et 2-80) évoquant la similitude du travail des Eames avec la finesse, la légèreté et l'esthétique colorée des cerfs-volants.

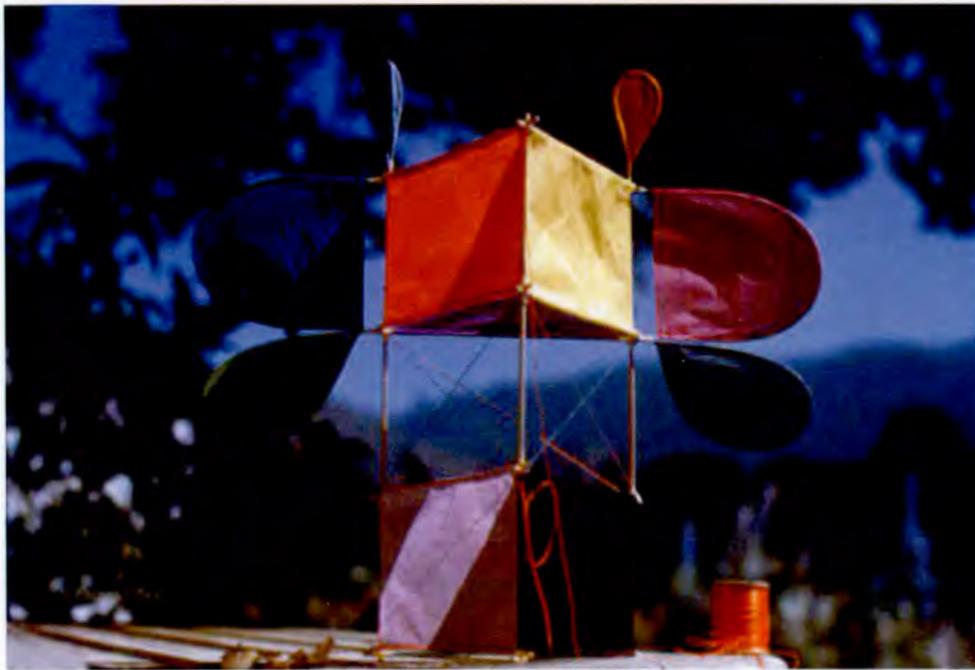


Figure 2-76 – Eames Office (1950) *Kite* [Photographie] <https://www.eamesoffice.com/the-work/charles-eames-kite-collage/>

⁷³ Brodovitch, Alexey (1950) Charles Eames : *Portfolio a magazine for the graphic arts*. No.2. George S Rosenthal (Ed.); Cincinnati Zebra Press)

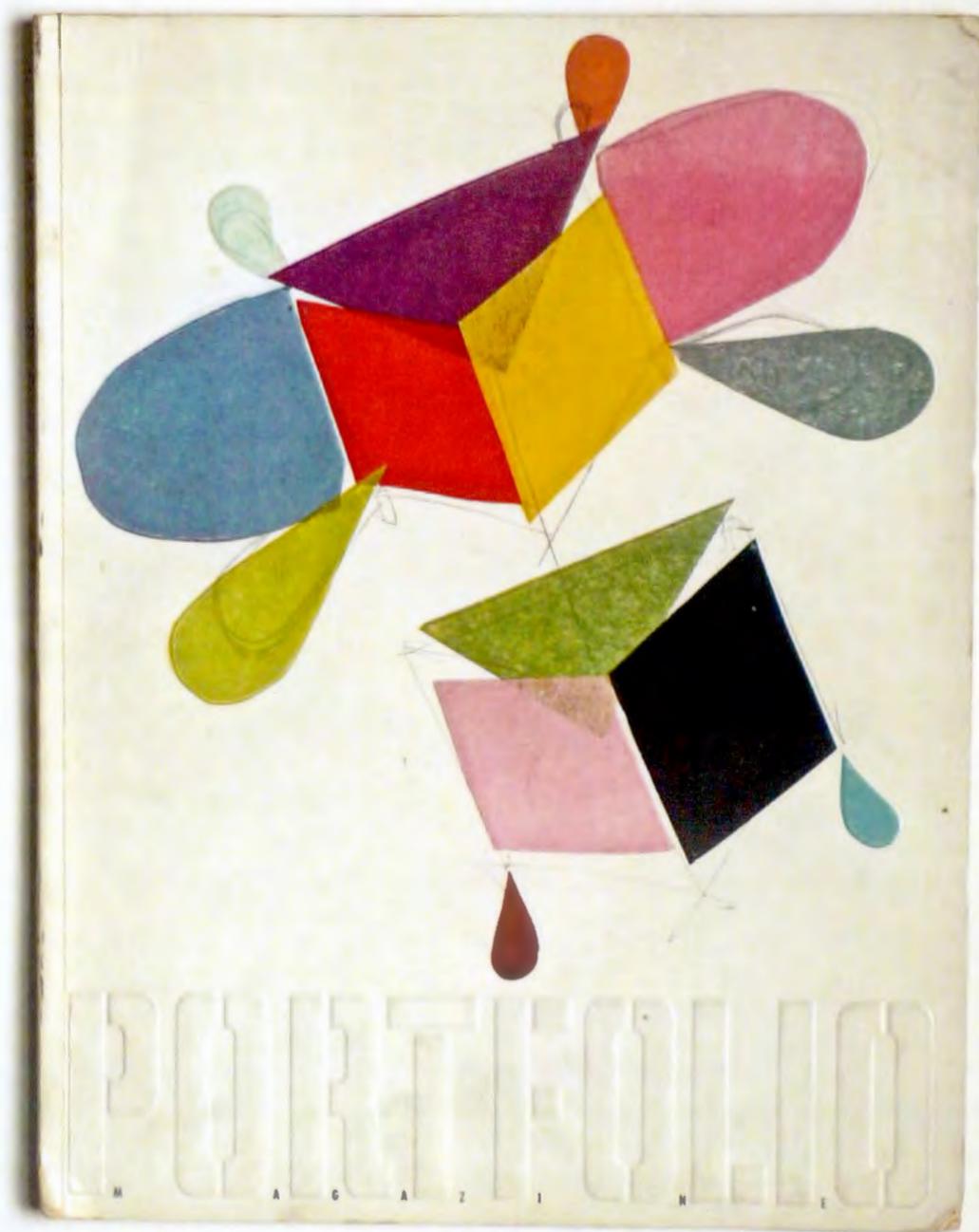


Figure 2-77 – Charles Eames (1950) *Page couverture du magazine Portfolio* [Photographie] Portfolio Magazine no.2, Zebra press. Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/474/portfolio-eames-article-page1.jpg>

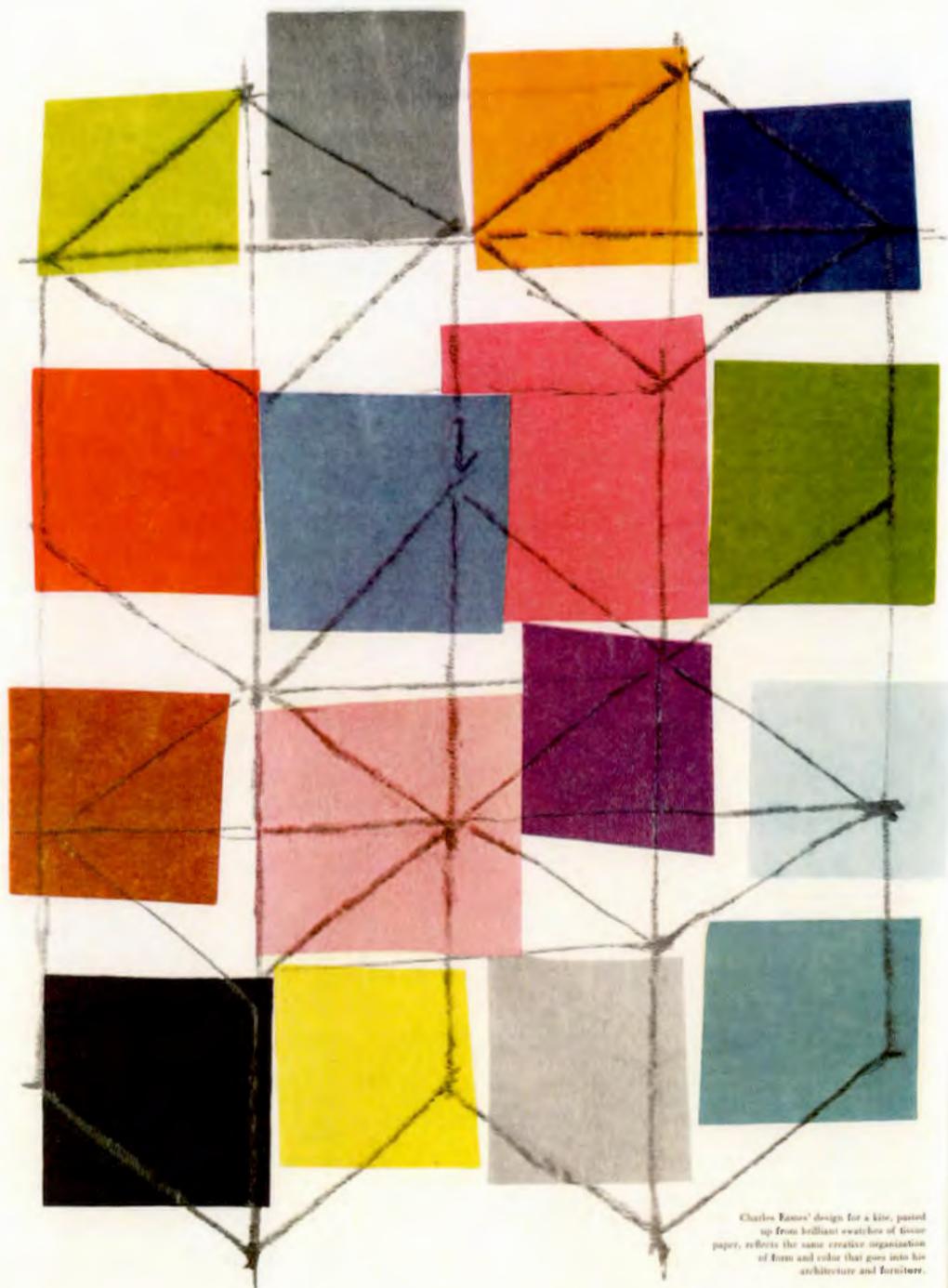


Figure 2-78 - Charles Eames (1950) *Design for a kite* [Collage] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press
Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/482/portfolio-eames-article-page9.jpg>



Figure 2-79 - Charles and Ray Eames (1950) [Illustration] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press.
Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/479/portfolio-eames-article-page6.jpg>



Figure 2-80 - Charles And Ray Eames (1950) [Photographies] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press.
Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/481/portfolio-eames-article-page8.jpg>

Les cerfs-volants ont été pour les Eames un élément parmi plusieurs qui évoque l'univers ludique. Ils ont collectionné les cerfs-volants et participé à deux expositions, la première à la Hallmark Gallery de New York en 1968 et la deuxième au Field Museum of Natural History in Chicago intitulée *The Wind in My Hands*.⁷⁴ Ils ont également produit un film de type polavision; *Kites* (1978), qui met en scène leur amour pour la fabrication de ces objets volants de multiples couleurs.

« Who would say that pleasure is not useful »⁷⁵ une phrase de Charles Eames rendue célèbre qui témoigne de cette attitude ludique qu'on retrouve dans leur travail et qui correspond en quelque sorte à une forme de méthodologie qui accorde une place importante au plaisir dans le travail. Le cas de la « solar do-nothing machine » (fig. 2-81 et 2-28) en est un bon exemple. Elle montre en réalité le pouvoir fascinant de l'énergie solaire en ne faisant rien d'autre que de se mettre en mouvement. « La machine solaire qui ne fait rien », témoigne de l'importance du jeu et du plaisir dans l'exploration. À première vue, elle renvoie à tout sauf à la nécessité d'être sérieux. En réalité, elle transmet une idée : ce n'est pas parce qu'elle ne fait rien qu'elle n'est pas utile pour autant. Elle est utilisée pour démontrer une idée qui leur plaît, les intéresse et les fascine : une machine qui ne produit rien, une machine qui bouge, qui n'est pas sans rappeler la nature de nos machines volantes, les cerfs-volants.

⁷⁴ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 161

⁷⁵ Eames, Charles,. (1972) *Design Q&A*. Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/design-q-a/>

Pendant l'exposition « qu'est ce que le design? » au musée des Arts décoratifs, au palais du louvre en 1972.



Figure 2-81 – Eames Office (1957) *Solar Do-Nothing Machine* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/solar-do-nothing-machine-2/>



Figure 2-82 - Eames Office (1957) *Solar Do-Nothing Machine* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/solar-do-nothing-machine-2/>

L'approche des Eames est un jeu qui permet la rencontre entre un esprit analytique et un esprit ludique, entre les avancées technologiques et une certaine forme d'émancipation de la société en ébullition. Le projet de la maison permet une redéfinition des usages des matériaux, une utilisation qui déroge des règles habituelles pour en arriver à définir les nouveaux codes de l'architecture domestique. Les cerfs-volants apparaissent dans leur univers pour évoquer leur préoccupations esthétiques et ludiques, et d'une façon plus abstraite, comme une réflexion sur la légèreté, la préfabrication, la mobilité et la liberté. « Take your pleasure seriously » nous rappelle Charles Eames. Cette directive représente bien l'attitude des années 1950 à 1970, l'euphorie de l'après-guerre, au moment où le développement personnel et individuel était valorisé dans une société en pleine émancipation.

Si on regarde leur jouet *The Toy*, on peut voir ces idées transparaître dans l'objet : il semble neutre, mais il encourage le joueur à explorer une infinité d'assemblages. Les bâtons et les connecteurs permettaient de fabriquer des structures fortes et légères, auxquelles on ajoutait des surfaces en polymère. Il incite le joueur à fabriquer et planifier des formes sans devoir faire intervenir le dessin. C'est une expérimentation directe, matérielle et sans intermédiaire. Le résultat est libre de codification prescrite et est indéterminé, pouvant conduire à une création nouvelle, inespérée et innovante.⁷⁶ Ces créations peuvent être de l'ordre de l'objet, de l'architecture ou de l'installation. *The Toy* est un kit de matériaux standardisé qui laisse le joueur inventer de nouveaux usages. Il lui permet de redéfinir les règles au travers de l'exploration.

Les Eames ont intégré une forme de jeu à la recherche et à l'innovation, une écoute du plaisir et de l'intuition, une forme de pédagogie constante dans l'expérience du design. Leur atelier est un laboratoire⁷⁷ et leur but était avant tout de traiter de la

⁷⁶ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 174

⁷⁷ *Ibid.* p. 174

question de l'expérience humaine. Leur intérêt pour les jouets témoigne bien de cette expérience, d'une façon pédagogique. Les Eames étaient en partie inspirés par John Dewey et avaient lu *Art and Experience*.⁷⁸ Dewey considérait l'activité du jeu comme une prise de conscience des impulsions et des actions par l'expérimentation :

« Play involves an ordering of materials. In playing with blocks, the child builds a house or a tower. He becomes conscious of the meanings of his impulses and acts by means of the difference made by them in objective materials. Past experience more and more give meaning to what is done. The tower or fort that is to be constructed not only regulates the selection and arrangements of acts performed but is expressive of values of experience. Play as an event is still immediate. But its content consists of a mediation of present materials by ideas drawn from past experience »⁷⁹

Dans cette mesure, le jeu auquel les Eames jouent est un jeu qui intègre l'expérience esthétique et la découverte. Un jeu d'apprentissage où on assemble les choses par intuition et qu'on observe les effets et les différences produites. Un jeu où on expérimente des règles à l'aide d'hypothèses qui en permettent la redéfinition.

2.5 Le Black Mountain College, Richard Buckminster Fuller, Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson : le jeu technologique

En 1933, John Andrew Rice fonde le Black Mountain College. Auparavant enseignant à Rollins University, il quitte le milieu académique avec trois collègues et fonde son école dans les montagnes de la Caroline du Nord. Les formations qu'on y dispense traitent de plusieurs sujets avec une organisation centrée autour de l'art et de l'expérience. Rice fut fortement influencé par la vision de l'enseignement de John Dewey, invité à l'école à plusieurs reprises.⁸⁰ Considérée comme « life-oriented »,

⁷⁸ Ibid. p. 190

⁷⁹ John Dewey cité par Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. Dissertation Abstracts International vol.67 no.4. p. 190

⁸⁰ Reynolds, Katherine C. *Progressive Ideals and Experimental Higher Education: The Example of John Dewey and Black Mountain College*. Published by: Purdue University Press Education and Culture, Vol. 14, No. 1 (Spring, 1997), pp. 1-9 p.5

l'approche privilégiée à Black Mountain College priorisait l'expérience de l'apprenant. En rupture avec l'enseignement traditionnel et en continuité avec la pédagogie du Bauhaus, l'école recrute Josef Albers, premier « master » de l'école allemande qui débarque en Amérique en 1933 et qui deviendra un des piliers structurants des enseignements.

Une des approches de l'enseignement offert à Black Mountain College consiste à rendre l'étudiant responsable de sa propre éducation. Tout en se concentrant sur les arts, l'étudiant pouvait choisir la direction de ses études, demeurant libre des contraintes académiques oppressantes imposées par les universités traditionnelles. Ainsi, on n'y retrouve plus d'échelles de notation et la qualification se fait par des intervenants extérieurs au groupe sous forme de critiques.⁸¹

Rice soutiendra: « Research is the report of what one has found out rather than of what one knows." ⁸² Il dira ailleurs :

« Nearly every man is a bit of an artist, at least potentially a person of imagination, which can be developed; and, so far as I know at this moment, there is but one way to train and develop him - the way discovered, not by me but by Black Mountain College as a whole. Here our central and consistent effort now is to teach method, not content; to emphasize process, not results; to invite the student to the realization that the way of handling facts and himself amid the facts is more important than facts themselves »⁸³

Cette mise au point montre l'importance accordée à l'étudiant et à sa capacité de mettre à l'épreuve les connaissances acquises. Cette approche soutenue par Albers fait écho aux thèses de John Dewey, où le travail pratique conduit l'étudiant à se développer en tant qu'individu engagé dans la société. La vision de Rice se verra teintée par l'aspect social des travaux de Dewey. Il soutiendra que l'étude des arts permet à l'étudiant d'acquérir des outils de participation, de discipline et

⁸¹ Ibid.

⁸² Ibid.

⁸³ Ibid. p.6

d'observation. Chez Dewey en effet, l'aspect pratique est intimement lié à la notion de participation démocratique : la pratique des arts et des travaux manuels permet aux étudiants de forger un intérêt et de se sentir impliqué dans les conséquences et les différences faites par les initiatives qu'ils entreprennent.⁸⁴ Rice et Albers pousseront la réflexion plus loin et soutiendront que ces capacités seront bénéfiques à tout étudiant considéré comme citoyen en devenir. Elles permettent ainsi à l'étudiant de développer des capacités critiques et de devenir de meilleurs citoyens qui pratiqueront une variété d'emplois liés de près ou de loin avec les arts.⁸⁵

Cette approche pédagogique privilégie l'expérimentation au travers de l'apprentissage pratique. En fait, elle place l'expérience au centre de l'éducation, non pas comme approche spécifique aux apprentissages pratiques, mais comme une attitude en regard de la vie en générale :

« All education is experimental, whether we call it that or not. We simply can't help that and we are experimenting with very precious and valuable material in the lives of these young people. We may think or try to convince ourselves that there is not experimental element in the situation, but practically everything we do, every course we lay out, every class we meet, is in its effects an experiment for good or for bad... »⁸⁶

Ces façons d'aborder la pédagogie étaient aussi partagées par les professeurs de l'*Institute of Design de Chicago* fondée par László Moholy-Nagy, un autre éminent professeur du Bauhaus allemand. À la fin des années 1940, Richard Buckminster Fuller y enseigne lui aussi. Il sera ensuite invité à donner un cours d'été au Black Mountain College en 1948 et après en 1949 pour un cours d'été intitulé « Autonomous Dwelling Facility with a Geodesic Structure ».

Considéré comme un des designers les plus importants de sa génération, Fuller a un parcours atypique qui lui permet de saisir l'ampleur des effets de la modernité. Durant

⁸⁴ Ibid. p.6

⁸⁵ Ibid. p.6

⁸⁶ Ibid. p.8

la Première Guerre mondiale, il servit dans la marine et put prendre conscience de la production maritime et aéronautique. Il fut témoin de l'important investissement économique que l'armée injectait dans la recherche et l'expérimentation.⁸⁷ Il fut par ailleurs conseiller technique pour le magazine *Fortune* et ingénieur pour le *Board of Economic Warfare*. La compréhension de cette industrie, de la recherche et de l'innovation l'a incité à trouver des façons d'utiliser l'énergie résultant de ces développements techniques et de cette économie.

La *Dymaxion House* (1930, redessinée en 1945) fut un des résultats de cette bonne connaissance de l'industrie militaire. Une des caractéristiques importantes de cette maison est son rapport à l'innovation, à l'expérimentation et à la recherche. À l'aide de la compagnie *Beech Aircraft Company* installée à Wichita au Kansas, Fuller redéfinit l'habitat et le considère comme un objet d'étude scientifique. Il tente d'y appliquer les connaissances acquise en temps de guerre. L'efficacité technologique, la résistante, la légèreté ainsi que la facilité de transport de matériaux, étaient des caractéristiques qui entraient dans la conception des navires et des avions.⁸⁸

Développant ce système à l'aide de matériaux d'aluminium issus de l'aviation, Fuller voulut produire une maison hyper-performante, avec une précision et une robustesse capable de résister aux tensions environnementales, telle que les tornades, les ouragans ou les tremblements de terre. Au même titre qu'un avion, elle devrait pouvoir s'adapter à certaines agression affectant le design de la maison telles que la force des vents, la perte de chaleur et les changements de pression.⁸⁹

⁸⁷ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 163

⁸⁸ Ibid.

⁸⁹ Ibid.



Figure 2-83 – Auteur non identifié (1946) *Wichita House* [Photographie] Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>

Explorant le principe de préfabrication, la production de prototypes de Fuller se situe dans une période où le contrôle technologique laissait entrevoir l'espoir pour la maison du futur. Cette période fut un moment important dans sa carrière, mais aussi pour l'histoire de la recherche en architecture. Voyant l'insuccès que rencontre la commercialisation de ses maisons dont la *Wichita House* (fig. 2-83), Fuller commence à travailler avec la géodésie et intègre l'Institute of design à Chicago au printemps 1948. Il se retrouve également enseignant au Black Mountain College à l'été de la même année. Fuller espère y construire un dôme à l'aide des étudiants. Ils expérimentent la construction d'un prototype à l'aide de feuilles de métal. Il fait la rencontre de Kenneth Snelson, qui finira par développer le principe de *floating compression* que Fuller nommera *tensegrity* pour *tensile* et *structural integrity*.⁹⁰

⁹⁰ Heartney, Eleanor, Kenneth Snelson : Forces made Visible / essay by Eleamor Heartney. Hard press Editions 2009 p.20



Figure 2-84 – Auteur non identifié (1949) *Kenneth Snelson, Black Mountain College*. [Photographie] BMC Project.org récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-85 – Hazel Larson Archer (1948) *Fuller in his office at Black Mountain College*, [Photographie] Buckminster Fuller Institute. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-86 – Beaumont Newhall. (1948) *The Dome Model with Si Sillman (bending), Buckminster Fuller, Elaine de Kooning, Roger Lovelace, and Josef Albers* [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-87 - Beaumont Newhall (1948) *The "Supine Dome" under construction* [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-88 - Beaumont Newhall (1948) The "Supine Dome" under construction [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-89 - Masato Nakagawa (1949) Fuller and class testing strength of dome, [Photographie] Black Mountain College Project. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-90 - Masato Nakagawa (1949)
Buckminster Fuller's students at the 1949 Summer Institute, Black Mountain College, demonstrate the lightness of the "Necklace Dome. [Photographie] Black Mountain College Project. Récupéré de <http://digital.ncdcr.gov/cdm/singleitem/collection/p249901coll44/id/1141>



Figure 2-91 – Auteur non identifié (1949) *Necklace Dome with outer plastic skin* [Photographie] Your Private Sky. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>

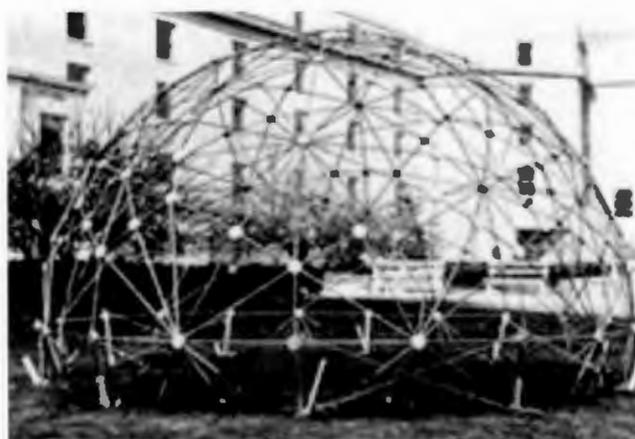


Figure 2-92 – Auteur non identifié (1950) *Necklace Geodesic Structure (14 ft., 50 lbs.)*, on exhibit in the Pentagon Garden [Photographie] Buckminster Fuller : Ideas and Integreties. Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>

En 1949, le montréalais Jeffrey Lindsay étudiait au *New Bauhaus, Institute of Design*. Il fait partie d'un groupe d'étudiants recrutés par Fuller (fig. 2-89) pour reprendre l'expérience du dôme géodésique. Ils y montent un dôme dont les photos contribuèrent à populariser Fuller et ses idées de dôme géodésique. La carrière de concepteur de dômes ne faisait alors que commencer pour Jeffrey Lindsay. Il devint membre de la *Fuller Research Foundation* qui comptait dans ses rangs d'autres étudiants, notamment Kenneth Snelson, mais aussi des designers importants tels que George Nelson et Charles Eames.⁹¹ Lindsay participa à plusieurs expérimentations sous le compte de la *Fuller Research Foundation Canadian Division*. Lindsay reviendra à Montréal et tentera de commercialiser le concept, allant jusqu'à faire des dômes conçus pour les voyages arctiques (*weatherBreak*), une grange à la ferme Hackney de Senneville, jusqu'à un chalet de ski à Morin Height.⁹² Lindsay n'obtiendra pas facilement la reconnaissance pour son travail sur les dômes géodésiques malgré qu'il fut un acteur important dans le développement de ceux-ci. Il

⁹¹ Crosse, John. (2011) Southern California Architectural History. Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>

⁹² McAtee, Cammie., Carbone, Carlo. et Legault, Réjean. (2017) Montréal et le rêve géodésique : Jeffrey Lindsay et la Fuller Research Foundation Canadian Division. Dalhousie Architectural Press.

travaillera avec Arthur Erikson (fig. 2-94), notamment sur l'étude de *space frame* et deviendra professeur à la UCLA.



Figure 2-93 – Auteur non identifié (1950) *Geodesic dome, Montreal, December 1950*, Fuller Research Foundation, Canadian Division, Jeffrey Lindsay, Director [Photographie] Your Private Sky. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>



Figure 2-94 – Steven Ballegeer (2009) *Simon Fraser University, Burnaby*. [Photographie] Récupéré de <https://flic.kr/p/6VqXx1>



Figure 2-95 – Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) Shell truss configuration, a perfect space frame system. Complete separation of tension and compression functions with no more than three members meeting at a point. [Photographie] Arts and Architecture

Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson eurent l'occasion de s'intéresser à la fabrication de cerfs-volants. Près de la culture de design, Snelson devient artiste et sculpteur, tandis que Lindsay devient architecte. L'intérêt des deux individus pour la fabrication de cerfs-volants se transmet dans leurs professions respectives. Il va sans dire que l'étude de la tensegrité et des dômes géodésiques se rapproche de la conception des aérodynes dans la mesure où la recherche aborde les principes de structure, de légèreté et de résistance.

Snelson s'intéresse aux structures de cerfs-volants à l'été de 1959 ce qui l'amène à développer le principe de tensegrité.⁹³ Au cours de sa carrière, il fera plusieurs cadres et structures de cerfs-volants. Ces sculptures sont des études sur les principes de la

⁹³ Snelson, Kenneth. (2012) The art of tensegrity . International Journal of Space Structures Vol. 27 No. 2&3 2012

tenségrité et présentent des qualités structurelles liées au cerf-volant. Le jeu entre art et ingénierie dans ces cerfs-volants peut être compris comme un vecteur d'inspiration. Les représentations photographiques de Snelson (fig 2-96 à 2-102) montrent des structures sans voile qui accentuent l'effet sculptural. Elles permettent de montrer une idée de la structure et une compréhension du principe de tenségrité, qui se retrouve à la limite entre technologie, art et science (nous y reviendrons au chapitre 3).



Figure 2-96 – Auteur non identifié (1960) *Spring St. Loft* [Photographie] Kenneth Snelson

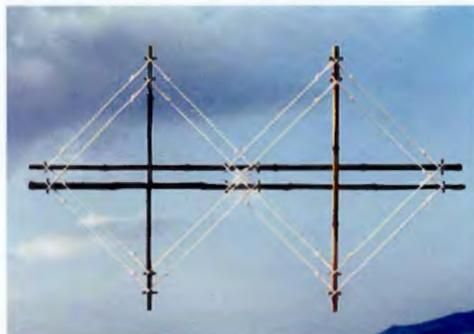


Figure 2-97 - Kenneth Snelson (1971) *Double track* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

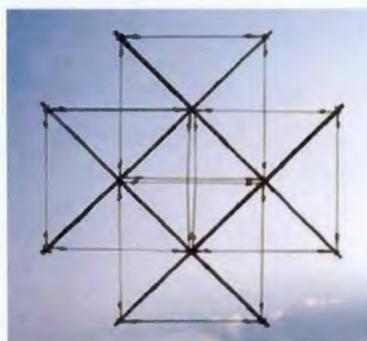


Figure 2-98 - Kenneth Snelson (1971) *Crossweave Cross* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

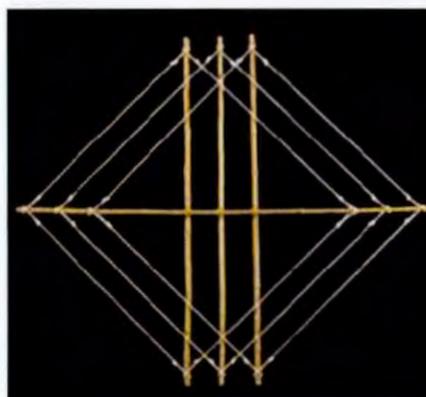


Figure 2-99 - Kenneth Snelson (1971) *Three of Diamonds* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

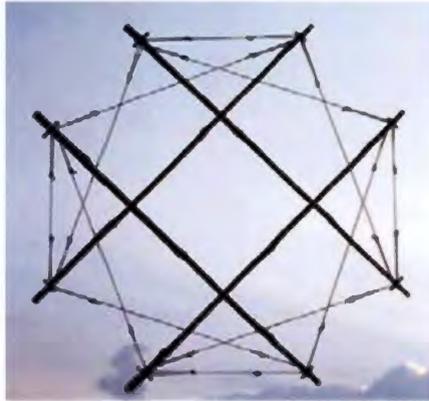


Figure 2-100 - Kenneth Snelson (1971) *Diagonal Double Cross* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

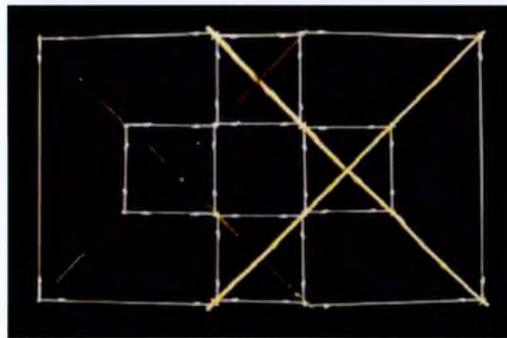


Figure 2-101 - Kenneth Snelson (1971) *Black and White Frame* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

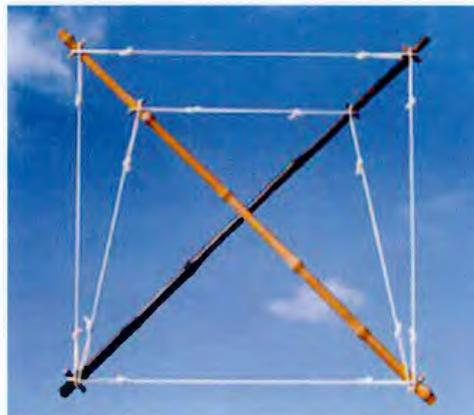


Figure 2-102 - Kenneth Snelson (1971) *Inner Wedge* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/>

Les expériences de Lindsay sur les cerfs-volants, nous rappellent les travaux de Bell et des Eames. On retrouve dans le magazine *Life* de mai 1957, une photo colorée d'un cerf-volant qui ressemble aux structures tétraédriques de Bell. Il s'agit d'un article, *Art fly High at UCLA*, qui met en valeur la formation artistique de l'Université de Californie à Los Angeles. Cependant, les connaisseurs initiés à la culture du dôme géodésique reconnaîtront rapidement qu'il est composé d'une répétition d'éléments géodésiques plus complexes que le tétraèdre de Bell.



Figure 2-103 - J. R. Eyerman (1957) *Odd Kite*, *Art fly high at UCLA* [Photographie] Life Magazine

Dans l'édition du mois de juillet 1957 du magazine *Arts and Architecture*, Lindsay décrit le contenu d'un atelier avec des étudiants en design industriel⁹⁴. L'article s'intitule *Space Frame and Structural Physics* et on y retrouve le même cerf-volant (fig. 2-106) que celui dans l'article du magazine *Life* (fig. 2-103). Une description de l'objet est accompagnée d'une série de photos qui mettent en scène différentes étapes du travail en atelier, avec notamment d'autres expériences matérielles qui servent aux étudiants à développer des compétences et une familiarisation avec les concepts de structure.



Figure 2-104 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) 55' shell truss beam, on edge, weighs only 55 lbs. Under load, it revealed some fundamental characteristics of beams which have contributed to more efficient structural design. [Photographie] *Arts and Architecture*

⁹⁴ Lindsay, Jeffrey. (1957) Space frame and structural physics. *Arts and Architecture*. 17-19, juillet 1957. <http://www.artsandarchitecture.com/>



Figure 2-105 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) *The shell truss tower, horizontal, showing configuration and structural integrity.* [Photographie] Arts and Architecture



Figure 2-106 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) *The kite, for which there was no precedent, is an excellent example of applied structural physics. It is exceptionally stable and efficient in flight.* [Photographie] Arts and Architecture

On y explique premièrement que le concept de *Space Frame* est encore méconnu et qu'il commence à peine à se développer avant d'expliquer la nature des expériences. Le premier projet est une tour conçue avec l'idée du *Shell Truss*, un principe structural où la tension et la compression sont contenues à l'intérieur de chaque cellule qui compose la tour. C'est aussi avec ce principe qu'il construira le cerf-volant (fig. 2-106).

The following two sessions were used to construct a new type of kite. It has a Framework comprised of two type of aluminium struts and is covered with paper, measure 10' on the edge weighs 3 lbs. Or 1 oz. Per sq. ft. There was no precedent for the design. Conceived intuitively, efo tried almost disastrously to fly it point foremost, but prejudice gave way to further observation and it easily took to the air edge foremost. A succesful kite is an unusually good example of applied principle.⁹⁵

Cette dernière phrase n'est pas sans rappeler la citation de Charles Eames sur l'expérimentation du cerf-volant : « the marvelous part about a kite problem is that this is one aera in wich one can definitely judge its success or failure – that it will fly or it will not fly. I wish more problems could be so beautifully defined ». Lindsay connaissait les Eames et connaissait aussi leur intérêt pour les cerfs-volants.

Un autre cas notoire qui lie Lindsay au cerf-volant est celui que l'on retrouve dans la rubrique Pomona Neighbors dans le journal *The Pomona Progress Bulletin*⁹⁶(fig. 108). On y retrouve les photos d'un cerf-volant et une description qui stipule qu'il fut conçu par Lindsay, alors professeur à la UCLA, et construit avec des étudiants de *Pomona College* selon le principe *dymaxion* développé par Buckminster Fuller.

⁹⁵ Lindsay, Jeffrey. (1957) Space frame and structural physics. *Arts and Architecture*. 17-19, juillet 1957. <http://www.artsandarchitecture.com/>

⁹⁶ The Pomona Progress bulletin, Pomona's Neighbors, Wednesday Evening, february 26, 1958



Figure 2-107 - Auteur non identifié (entre 1950 et 1970) *Festival de cerf-volant* [Photographie] Jeffrey Lindsay Fonds (File 5.03, Boîte 5) Archives and Special Collections University of Calgary



Figure 2-108 - Auteur non identifié (26 Février 1958) *Pomona's Neighbors Progress Bulletin* : *Dymaxion kites* [Coupure de journal] Jeffrey Lindsay Fonds (File 19.39, Boîte 19) Archives and Special Collections University of Calgary

L'intérêt de Lindsay envers les cerfs-volants est soutenu par la recherche de principes structurants. Si dans le cadre des ateliers offerts à ses étudiants, les cerfs-volants lui permettent de démontrer l'efficacité du principe, c'est aussi que l'objet aérodyné

répond aux mêmes objectifs que ceux du cerf-volant : la légèreté, la force et l'ampleur de la surface. La recherche sur la structure et la tenségrité prend un chemin semblable à celle de Bell sur les structures tétraédriques à New Baddeck. Bell, Lindsay et Snelson utilisent le cerf-volant pour des fins de recherches et comme objet d'exploration. Si, d'un coté, Bell l'utilise pour comprendre les règles et les principes en aéronautique et qu'il en vient à découvrir de nouveaux principes de structure, les étudiants de Fuller s'en servent d'abord principalement comme outil de recherche sur les structures. Quant à lui, Snelson se place près de l'art et du jeu esthétique, tandis que Lindsay joue directement avec l'application des principes structurants liés à l'architecture. Son but est de mettre en pratique les principes au profit d'une technologie qui sert quelque chose. Le cerf-volant est encore ici un véhicule de la connaissance au travers de son utilisation et de sa fabrication.

2.6 Synthèse : définition des objectifs méthodologiques

Ces études de cas permettent de distinguer trois façons d'approcher le design, trois jeux de langage qui guident les actions des chercheurs étudiés : dans le cas d'Alexander G. Bell, ce sont les règles du jeu scientifique qui priment, celle qui font avancer la connaissance ; Charles et Ray Eames, s'adonnent eux au jeu esthétique, celui qui guide l'exploration et l'intuition vers une forme d'idéal ; pour Richard Buckminster Fuller et ses étudiants, Kenneth Snelson et Jeffrey Lindsay, c'est la technologie, l'étude des règles d'usage et la découverte des principes structural et leur mise en application qui vise une amélioration de notre environnement bâtie.

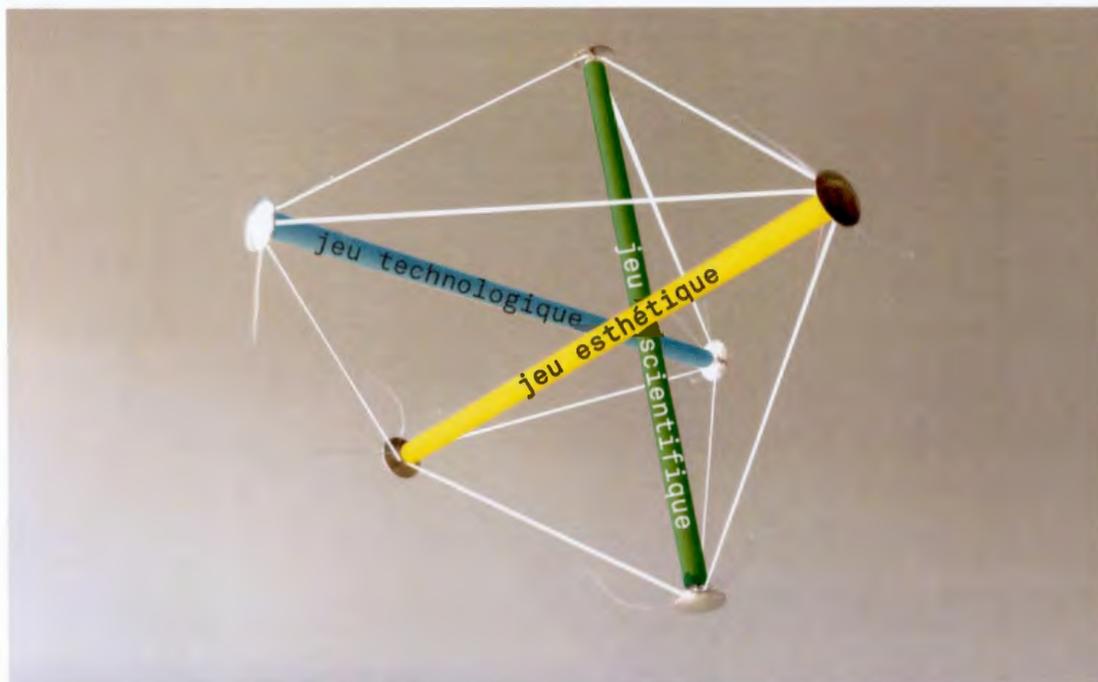


Figure 2-109 - Schéma d'interdépendance

Il faut toutefois noter l'interdépendance de ces trois approches : chacune d'elles s'influencent de manière continue et leur observation se fait comme un basculement perpétuel d'un même prisme. Cette expérience de basculement dans le projet de recherche peut être représentée par la cellule en tensegrité (fig. 2-109) qui au chapitre 3 aura une place importante et dont nous expliquerons davantage le fonctionnement.

Dans cette structure, les bâtons sont distincts l'un de l'autre, ils ne se touchent pas, ils ne sont reliés que par des câbles fixés aux extrémités. Imaginons que les jeux dont nous parlons sont comme ces bâtons : ils ont des qualités, une forme et une manière de se comporter individuellement qui nous aident à les concevoir et à les distinguer pratiquement. De l'autre côté, se retrouvent les câbles qui sont les relations qui unissent ces formes stables. À l'inverse des bâtons, les câbles sont plus abstraits : ils représentent une relation de tension entre deux points. Ils prennent cette état en tension en résistant à la pression des bâtons. Ce sont cependant ces relations qui tiennent les bâtons en un système interdépendant : chaque bâton (ou jeu) flotte, tiré

par les deux autres. En regardant le schéma, on remarque que chaque extrémité d'un bâton, par exemple le bâton jaune représentant le jeu esthétique est relié aux autres par trois cables, ici deux au jeu technologique (bleu) et un au jeu scientifique (vert). Cette interdépendance des bâtons, autrement dit des jeux en tension produit une structure en équilibre à l'image d'un projet de création réalisé.

Dans *Art et expérience* de John Dewey, on retrouve un passage qui soutient bien l'interdépendance de ces jeux qui assurent au projet la contribution de la sensibilité de la raison et des compétences pratiques :

Il n'est pas possible de faire la part, dans une expérience vitale, de la pratique, de l'émotion et de l'intellect et de faire ressortir les propriétés d'une des ces composantes aux dépens des caractéristiques des autres. La phase émotionnelle relie les différentes parties et en fait un tout ; le terme « intellect » signifie simplement que l'expérience a un sens ; le terme « pratique » indique que l'organisme dialogue avec des évènements et des objets qui l'entourent.

L'investigation philosophique ou scientifique la plus élaborée de même que l'entreprise industrielle ou politique la plus ambitieuse possèdent une dimension esthétique quand leurs différents ingrédients constituent une expérience complète. Dans ces deux cas, les diverses parties sont liées les unes aux autres et ne se contentent pas de se suivre. Et, grâce à ce lien qui est éprouvé, les parties progressent alors vers l'achèvement et la clôture et non vers une fin seulement temporelle. Ce sentiment d'achèvement, de plus, n'attend pas pour se manifester que l'entreprise soit entièrement terminée. Il est anticipé tout du long et savouré à maintes reprises avec une intensité particulière.⁹⁷

Bell était un scientifique et il voulait comprendre le comportement d'aérodynes dans le vent. Les raisons et les motivations qui le poussent à réaliser des recherches sont reliées à la conquête du ciel. Le cheminement de l'hypothèse et de l'expérimentation l'amène à établir de nouvelles règles d'usages et de nouveaux objets à l'aide du principe du tétraèdre. Il est motivé par un intérêt scientifique qui le mène vers la recherche de connaissance, mais soutiendra dans son article qu'il considère qu'une

⁹⁷ Dewey, John. (2005) *L'art comme expérience* (version originale en 1934), Farrago, page 81.

des avancées importantes de ses recherches est particulièrement l'application technologique du tétraèdre.

De la même façon, en considérant le jeu esthétique des Eames qui s'entouraient entre autre d'artéfacts ludiques, on comprend qu'ils s'intéressaient au jeu d'expérimentation technologique pour reconfigurer les règles d'usage de l'habitation et de l'industrie des matériaux. Fuller et ses étudiants cherchaient pour leur part à appliquer des principes géodésiques et de tensegrité à l'art et l'architecture. Ils cherchaient à développer de nouveaux principes structurels pour l'habitat et l'environnement humain. C'est en expérimentant avec ses étudiants sur certaines possibilités géométriques qu'ils sont arrivés à des solutions. C'est d'abord l'usage qui les a motivé à s'intéresser à la science de la géométrie.

Ces trois jeux traduisent des attitudes interdépendantes qui vont porter le projet de cerf-volant de ce mémoire dans l'enquête développée au prochain chapitre sur l'hypothèse, l'expérimentation et les usages. En terme d'objectif pour le projet, le jeu de l'expérience esthétique est ce qui nous guide intuitivement et coordonne nos usages et notre expérimentation. C'est dans cette dimension que nos actions prennent sens. C'est là où nous tranchons intuitivement, ce à quoi nous faisons confiance dans l'usage, et qui nous amène à imaginer les possibilités. C'est ce qui dirige nos hypothèses intuitivement et possède une relation intime avec celles-ci. Lorsque la technologie et le savoir nous permettent de comprendre et cerner les possibilités d'usages, c'est l'expérience esthétique qui agit comme moteur du choix. « Take your pleasure seriously », équivaut à l'impératif de « faire confiance à son intuition ». Faire confiance à ce qui nous plaît, ce qu'on juge digne d'exister.

Le jeu de l'expérience scientifique est l'attitude qui par la raison, coordonne notre curiosité et notre rapport au monde. La connaissance des règles et des principes est une ressource qui permet de saisir et de comprendre le monde dans lequel nous nous trouvons. Ces connaissances nous aident à comprendre et à établir un pouvoir sur

notre environnement. Un pouvoir qui toutefois s'exerce par nos intentions esthétiques, et s'incarne par l'usage qu'on en fait.

Le jeu de l'expérience technologique, c'est la mise à l'épreuve dans l'usage. Celle qui met en œuvre nos connaissances dans ce qui nous apparaît bien. Où on utilise les ressources cognitives, pour les raisons qui nous apparaissent justes.

Ces jeux sont donc distingués ici, mais comme nous explique Dewey, il sont indissociable dans l'expérience. Nous le verrons au chapitre suivant, le projet de cerf-volant montre que leurs frontières sont floues, et que le passage d'un à l'autre se fait naturellement dans l'action.

CHAPITRE III

LA PETITE HISTOIRE DE LA FABRICATION D'UN CERF-VOLANT : SORTIR DEHORS POUR QUE ÇA VOLE

Quelqu'un pourrait imaginer une machine volante sans entrer dans les détails. Il pourrait se représenter son aspect extérieur comme très semblable à celui d'un véritable aéroplane et dépendre ses performances. Et il n'est pas évident qu'un tel produit de l'imagination doive être sans valeur. Il se peut qu'il stimule les autres dans une autre sorte de travail. - Tandis que ceux-ci se préparent, pour ainsi dire de loin, à construire un aéroplane capable de voler effectivement, le premier, lui, s'occupe de rêver à l'aspect que cet aéroplane doit avoir et à ce qu'il doit être capable d'accomplir. Rien n'est encore dit par là sur la valeur respective de ces deux types d'activité. Celle du rêveur peut être sans valeur, - mais celle des autres également.

- Ludwig Wittgenstein⁹⁸

2.7 Être à l'écoute, fabriquer un prototype, préciser les objectifs

La recherche en design est une écoute, une attention à l'apparition d'un signe. On pense au hasard, mais c'est aussi l'intuition qui nous porte à reconnaître la pertinence d'aller dans une direction ou une autre. C'est ainsi par l'effet d'une image de cerf-volant que le projet a commencé en septembre 2017, une vieille photo noir et blanc où deux personnes tiennent un objet blanc, au milieu d'un champs. La lecture des formes, des volumes, d'une structure, d'une légèreté à invité un regard esthétique, un jugement par une intuition favorable. Le cerf-volant s'est dès lors imposé comme un

⁹⁸ Wittgenstein, Ludwig. (2002) Remarques mêlées, GF Flammarion

objet de design. Cette photo montre le philosophe Ludwig Wittgenstein et son collègue William Eccles dans les contrées de Glossop, en Angleterre.⁹⁹

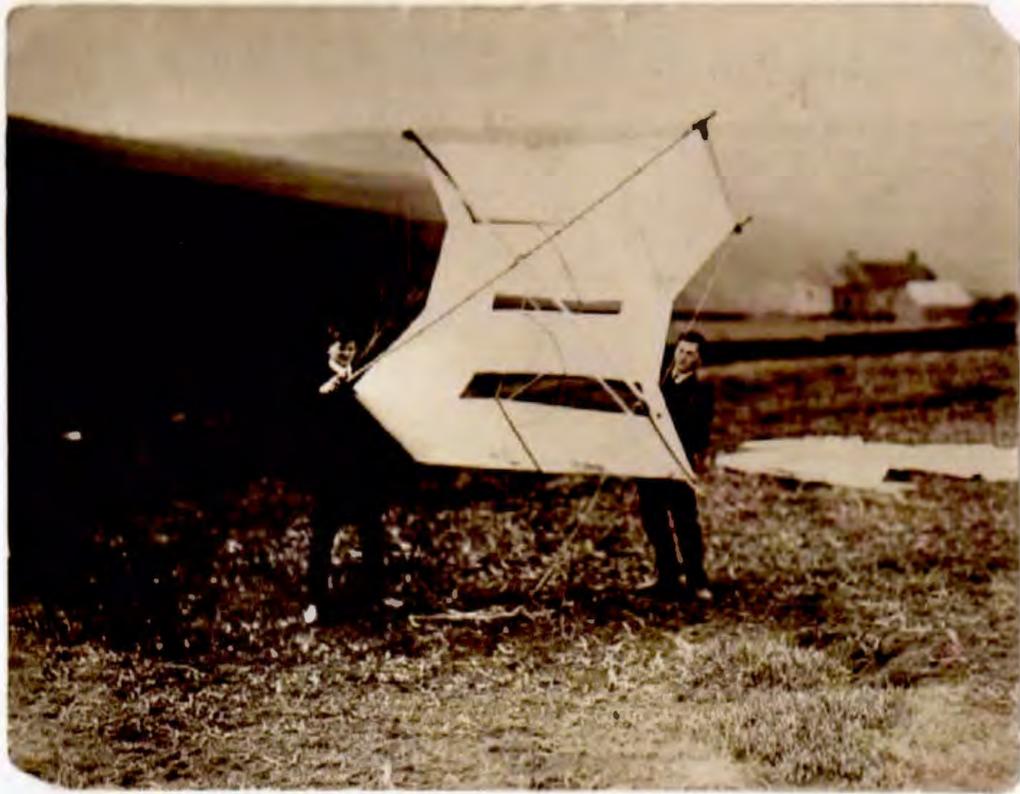


Figure 2-110 – Auteur non identifié (1908) *Ludwig Wittgenstein and William Eccles at the kite-flying station in Glossop* [Photographie] Récupéré de <https://rudygodinez.tumblr.com/post/69374629284/ludwig-wittgenstein-and-william-eccles-at-the-kite-flyin>

À cette époque, les frères Wright avaient déjà établi la possibilité de faire voler un être humain, et les recherches abondaient en ce sens. Wittgenstein étudiait l'ingénierie dans l'espoir de construire et piloter sa propre machine volante. Son arrivée à l'université de Manchester en 1908 fut une rencontre avec la dure réalité de la recherche. Une des ses tâches d'assistant de recherche pour Sir Arthur Schuster

⁹⁹ G. Sterrett, Susan. (2005) *Wittgenstein flies a kite : A story of models of Wings and Model of the World*. London: Penguin Books (Pi Press)

était de faire des cerfs-volants et de les tester.¹⁰⁰ Les recherches sur l'aéronautique de l'époque étaient assez simples encore et les connaissances pouvait être testées par des aérodynes.

Je dois fabriquer des cerfs-volants pour le laboratoire – qui avant les commandait à l'extérieur – et m'assurer par des essais que leur conception est optimale ; le laboratoire commande les matériaux pour tout cela selon mes demandes. D'abord, j'ai dû prendre part aux observations, pour déterminer les critères auxquels mes cerfs-volants devront satisfaire. Mais on m'a annoncé avant-hier que je pouvais commencer à faire mes propres expériences... Hier j'ai donc commencé à construire mon premier cerf-volant et j'espère l'avoir fini avant le milieu de la semaine prochaine.¹⁰¹

Construisant et testant des cerfs-volants à Glossop, Wittgenstein passait le plus clair de son temps à marcher et courir dans les champs pour aller chercher les cerfs-volants qu'il venait de lancer. Si le but était de tester la force du vent, il nécessitait beaucoup de travail manuel et d'effort physique. Montant à des hauteurs impressionnantes, le cerf-volant pouvait s'envoler et se retrouver très loin, ce qui impliquait une bonne course pour aller chercher le prototype. La pratique du cerf-volant ne peut pas être séparée d'un certain effort physique. Les expériences menées par Wittgenstein n'ont pas produit d'importantes innovations dans le domaine des cerfs-volant. A cause de l'importance du philosophe dans l'histoire de la philosophie au 20e siècle, la photographie qui sert d'impulsion à ce projet marque l'imaginaire, telle une image figée dans le temps, elle est l'impulsion de départ nécessaire à notre projet de design.

En voyant ce type d'image, une foule d'idées et de possibilités apparaissent. L'image évoque poésie et ludisme, tout en montrant un objet scientifique avec ses qualités matérielles et formelles. L'ensemble des jeux propres au projet de design pouvait y être abordés. Mais comment faire un tel objet? Quelle forme aurait-il ? Quels seront

¹⁰⁰ McGuinness, Brian. (1991) Wittgenstein: Les année de jeunesses. 1889-1921. Editions le seuil. Paris

¹⁰¹ McGuinness, Brian. (1991) Wittgenstein: Les année de jeunesses. 1889-1921. Editions le seuil. Paris

les efforts à investir, physiques et mentaux? Quelle sont les ressources qui devront être mises à contributions ?

Le premier réflexe a été de faire une reconstitution à échelle réelle de l'objet produit par Wittgenstein. Cela consiste à tenter de refaire le chemin nécessaire à sa conception. Il fallait recueillir le plus d'informations possibles et peu de choses pouvaient être trouvées sur l'objet lui-même mis à part cette photographie. Cependant, d'autres créateurs se sont inspirés de cette image et ont fabriqué des répliques, beaucoup plus pour la reconnaissance du travail et du personnage qu'était le philosophe que pour la recherche et l'innovation des cerfs-volants.



Figure 2-111 - Lothar Meyer (Date inconnue) *Réplique du cerf-volant de Wittgenstein de 1,60m haut.*
Récupéré de http://www.drachenwiki.de/index.php/Wittgenstein_Drachen

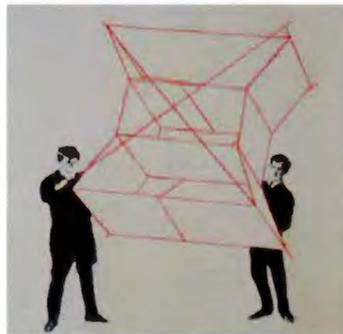


Figure 2-112 – Phyllida Bluemel (2016) *The Tang of Height* [Illustration] Récupéré de <http://phyllidabluelmel.co.uk/>



Figure 2-113 – Auteur non identifié (2011) *Kite*, based on Ludwig Wittgenstein with William Eccles at the Kite-Flying Station in Glossop, 1910 [Photographie] Récupéré de http://sreshtaritpremnath.com/storeys-end/gallery_view

Mon projet s'est alors donné pour objectif de commencer par reproduire le cerf-volant de Wittgenstein, à partir des dessins et des maquettes faits par d'autres afin d'avoir un premier objet à tester. Ce modèle de cerf-volant possède plusieurs qualités. C'est en lisant dans des manuels de fabrication de cerfs-volants que les principes de base ont été définis. Certaines règles sont immuables quant aux formes.

Premièrement, le vol d'un cerf-volant s'effectue par la pression de l'air sur une surface. Le contact de la surface crée une pression entre le sol et l'objet, créant un vecteur de force à l'opposé de la gravité, faisant remonter l'aérodyne. On comprendra plus tard, avec le principe de l'aile d'avion, qu'en fait, c'est aussi la production d'une dépression vers le haut qui aspire la surface.

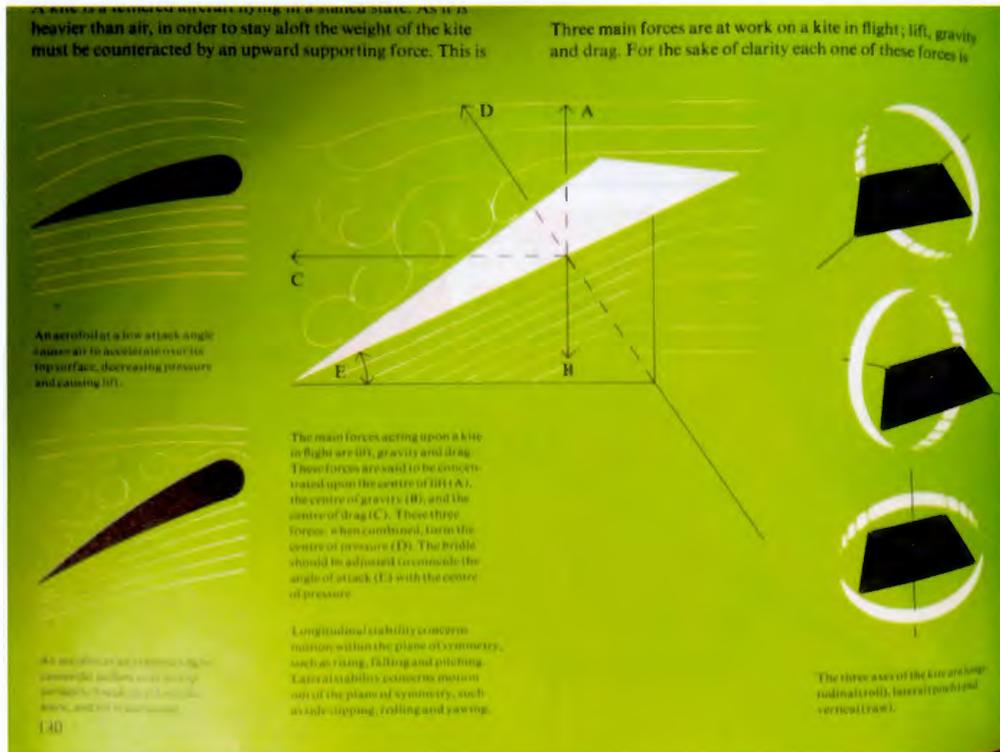


Figure 2-114 – David Pelham (1976) *Flying : Lift and Stability* [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books

Le vecteur de force en tension de la corde au sol retient contre le déplacement d'air, ce qui entraîne l'objet et lui permet de s'élever contre la gravité. Dans le cas du cerf-volant de Wittgenstein, il s'agit d'un aérodyne multicellulaire (comme les cerfs-volants de Bell) qui permet, avec une même structure, d'augmenter le nombre de surfaces par rapport au poids. En diminuant ainsi le ratio poids et surface l'aérodyne augmente sa flottabilité.

De plus, la grosseur de l'objet permet une meilleure stabilité dans la haute altitude, l'échelle le rend imposant et stable dans le vent. La forme en X semble elle aussi lui procurer une certaine stabilité, faisant dévier le vent de façon égale des deux cotés. Cependant, la résolution de la photographie empêche une lecture claire de la structure et de son assemblage. Une hypothèse de matériaux fut toutefois élaborée. Une toile de

Nylon *Rip stop*, utilisée pour les parachutes allait procurer une surface légère assez résistante. Devant le prix élevé des tiges de carbone et compte tenu de leur complexité de production, une structure en goujon lamellé-collé de 8 pieds fut choisie.



Figure 2-115 – (Septembre 2017) Maquette de cerf-volant réalisée dans le cadre de la reconstitution.

Le premier essai fut un échec cuisant (fig 3-7), en particulier parce que le cerf-volant fut construit et assemblé à l'intérieur dans un environnement sans vent, puis sorti à l'extérieur où le vent se mit à pousser contre les surfaces. La structure n'a pas tenu longtemps et s'est fracassée avant même d'atteindre le site de vol. Il fut toutefois possible de tirer plusieurs leçons de cet échec. Notamment, la structure n'était pas optimale pour soutenir la pression du vent sur les voiles. L'orientation des bâtons créait un moment de force dans les extrémités. La bride attachée au milieu a provoqué un cisaillement à la structure.



Figure 2-116 - (Hiver 2018) Résultat de l'expérimentation de la reconstitution du cerf-volant de Wittgesntein.

Il fallait alors libérer la structure de la pression du vent, la rendre solide à la déformation causée par la pression sur les surfaces et probablement redéfinir les points d'attache de la bride. Autre point fondamental, il me fallait aussi être beaucoup mieux préparé. L'envolée d'un aérodyne de cette taille comporte des risques et peut être dangereuse. Sur ce genre de machine, il n'y a pas de boutons d'arrêt de sécurité : lorsque l'objet s'envole, il peut surprendre avec vigueur et atterrir avec fracas. Il fallait penser en terme de préfabrication, et assembler, ou déployer les morceaux et les surfaces au moment opportun.

2.8 Faire des recherches et connaître l'histoire des cerfs-volants

À partir de là, il me fallait acquérir des connaissances sur les cerfs-volants, comprendre les règles d'assemblage et considérer la force des vents. De la recherche d'ouvrages sur les cerfs-volants, le nom de Laurence Hargrave s'est vite imposé.

Personnage important, (comme nous l'avons vu au chapitre 2) il invente le *box kite* en 1893¹⁰² et attire l'intérêt des chercheurs pour les cerfs-volants multicellulaires, notamment Alexander Graham Bell. Son principe structurel en tétraèdre fascine par sa simplicité et sa rigidité. Une nouvelle hypothèse de projet émerge alors de mes recherches: multiplier les cellules pouvait rigidifier la structure, augmenter la surface de friction, et augmenter la stabilité de vol.

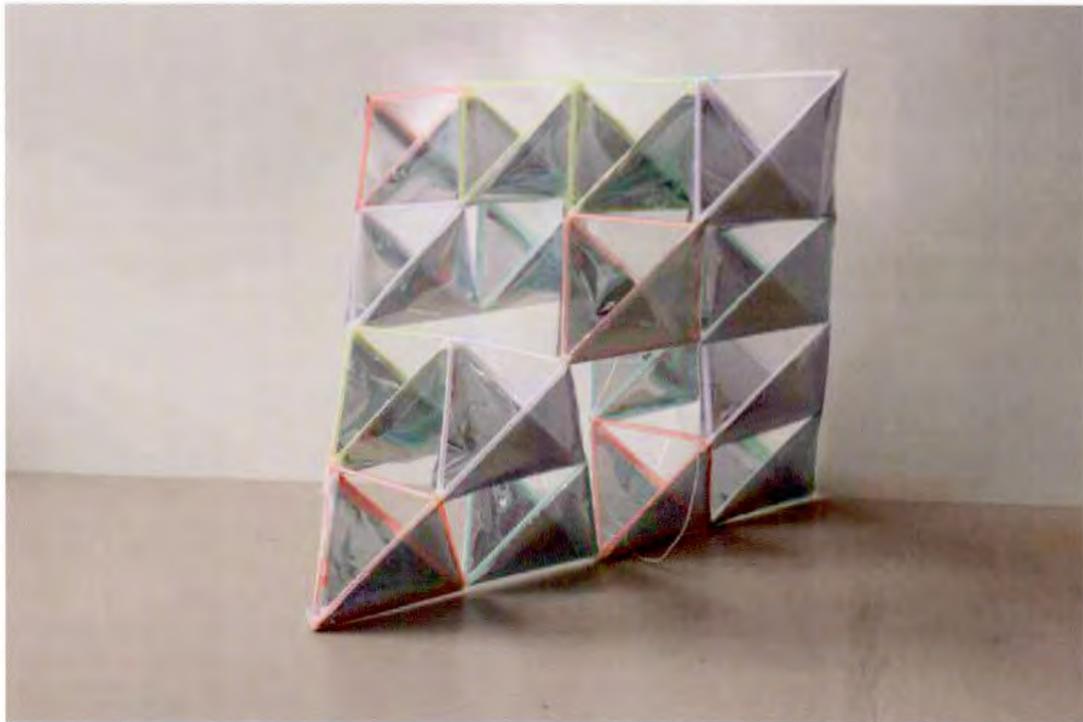


Figure 2-117 - (Printemps 2018) *Maquette d'exploration du tétraèdre de Bell.*

¹⁰² Pelham, David. (1976) *The Penguin Book of Kites*. Londres : Penguin books. p. 38



Figure 2-118 – Jean-Michel Courville (Printemps 2018) Expérimentation du modèle en tétraèdre.

L'expérimentation des structures cellulaires et des principes de vol a encouragé un approfondissement de la notion de module. La recherche en ce sens a porté sur une déconstruction des modules et à tester des possibilités. Le principe de tétraèdre a non seulement servi Bell pour ses expériences scientifiques sur les cerfs-volants, mais l'a amené à établir des principes de structure architecturale. Tel que vu que chapitre 2, ces innovations sur le tétraèdre ont aussi influencé des acteurs importants de l'innovation en architecture tel que Konrad Wachsmann, qui réalisa le hangar pour la US Air Force à l'aide de ce principe (fig. 3-10). Wachsmann fut un acteur important

pour avoir développé la notion de *Space Frame*.¹⁰³ Konrad Wachsmann dans son livre *The Turning Point in Building*, reconnaît l'importance des travaux de Bell pour les structures légères :

« Continuing his studies of the tetrahedral construction used in his air frames, in which weight was of decisive importance, he developed space systems in the form of combinations of compression members, tie wires and stressed surfaces. All these were investigations which have become important in building research only recently. »¹⁰⁴



Figure 2-119 – Konrad Waschman (1951) *USAF space frame Konrad Wachsmann*, [Photographie] Récupéré de http://bartbratke.com/portfolio_page/challenging-the-space-frame-as-self-structuring-systems/.jpg

L'hypothèse tirée des recherches sur la structure reste imprécise, mais elle est utile pour développer le projet. Le projet a continué à avancer au travers les lectures, mais de manière vague et imprécise. Mes recherches m'ont toutefois permis de reconnaître

¹⁰³ Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. *Dissertation Abstracts International* vol.67 no.4. p. 168

¹⁰⁴ *Ibid* p.168

l'importance des travaux d'autres designers s'étant intéressés aux cerfs-volants tel que Jeffrey Lindsay et Charles et Ray Eames. Lindsay, s'intéresse à l'objet comme un outil qui lui sert d'exploration pour comprendre et tester des notions de structure. Il s'inscrit dans un courant plus large initié par Buckminster Fuller, qui étudie les dômes géodésiques et de la tenségrité comme technologie.



1. Geodesic Pipe Frame (3" o.d. x .063" 6061T6 aluminum alloy) installed over tank. Weight: 1800 lbs. "Shell Truss" panels ready for installation can be seen in the foreground. Components entirely aluminum alloy and stainless steel.
2. Site Fabrication of "Shell Truss" panels. Compression: 1½" o.d. x .040" 6061T6 aluminum tubes. Tension: ½" x .033" Type 301 F.H. stainless steel strap. Joints: 356T6 aluminum alloy castings. Sheeting: .025" 6061T6 aluminum alloy. Fasteners: Stainless steel by Harper Company and Rivets blind rivets.
3. Overturning "Shell Truss" Panel. Weight: 300 lbs. Components entirely aluminum alloy and stainless steel.
4. Locating "Shell Truss" Panels (300 lbs.) to pipe frame (1,800 lbs.). Components entirely aluminum alloy and stainless steel.
5. Zenith Star of the Sarasota Dome.
6. Aerial View of "Shell Truss" Space Frames. DOME: 113' diameter x 37' high, covering 10,000 sq. ft. with 12,000 sq. ft. of space frame. Weight: 13,000 lbs. or 1.1 lbs. per sq. ft. Volume: 333,000 cu. ft. PYRAMID: 24' x 24' x 18' high, covering 500 sq. ft. with 800 sq. ft. of space frame. Weight: 800 lbs. or 1.3 lbs. per sq. ft. Volume: 2,000 cu. ft. Components entirely aluminum alloy and stainless steel.



BY JEFFREY LINDSAY

Figure 2-120 - Jeffrey Lindsay (Avril 1958) *Shell Truss Space Frame* [Photographies] Art and architecture

En découvrant les travaux d'Alexander Graham Bell, j'ai saisi l'intérêt de la recherche sur les principes de structures et des machines volantes. Il y a là un jeu scientifique : une attitude de chercheur de principes. Comment faire voler un cerf-volant ? Chez Buckminster Fuller (et par extension, Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson) c'est un jeu technologique : une attitude qui vise l'application des connaissances. Comment construire et fabriquer structurellement l'objet ? Tandis que pour les Eames c'est un jeu esthétique : la simplicité du cerf-volant renvoie à une attitude intuitive et ludique qui guide le projet. C'est l'usage de ces connaissances qui leur attribue leur sens.



Figure 2-121 – Charles Eames, Ray Eames (Date inconnue) The Work of Charles and Ray Eames, Library of Congress Récupéré de <http://loc.gov/pictures/resource/ppmsca.05709/>

Ces trois attitudes sont des jeux avec des objectifs et des contraintes. Ils expriment

une façon d’appréhender le projet de cerf-volant comme un projet de recherche en design reliant trois aspects – la connaissance et la recherche scientifique, la technologie et la mise en application matérielle, le jeu et le plaisir – que j’ai voulu mettre à profit dans le cadre de mon projet.

2.9 Faire l’expérience des systèmes en tensegrité à l’aide de maquettes

C’est en intégrant ces trois jeux que le projet a pris la direction de la tensegrité. Suite aux problèmes de solidité rencontrés lors des premiers essais et aux lectures sur les principes technologiques et sur les structures appliquées aux cerfs-volants, l’idée de la tensegrité telle que vue au chapitre 2 s’est développée comme une hypothèse de travail. Il est possible d’imaginer que les systèmes en tensegrité soient propices à la structure d’un cerf-volant, étant donnés leur légèreté, leur dimension spatiale et leur équilibre structurel. Cette expérimentation a su me procurer un certain plaisir et une satisfaction : celui d’inscrire mon geste dans l’histoire de la construction de structures à la fois solides et harmonieuses.

Il fut entrepris d’explorer le principe en fabricant des incarnations possibles à l’aide de maquettes. On attribue la paternité du concept *Tensegrity* à Kenneth Snelson malgré qu’il ait été popularisé par Buckminster Fuller dans les années 1960. On peut le décrire comme une façon d’assembler une structure en maximisant les vecteurs de forces en compression et en tension. C’est avec l’intention de développer des structures de cerfs-volants, que Snelson en vient à développer des principes et des connaissances sur ces systèmes qu’il fera breveter en 1960.¹⁰⁵

¹⁰⁵ Snelson, Kenneth. (2012) The art of tensegrity. International Journal of Space Structures Vol. 27 No. 2&3

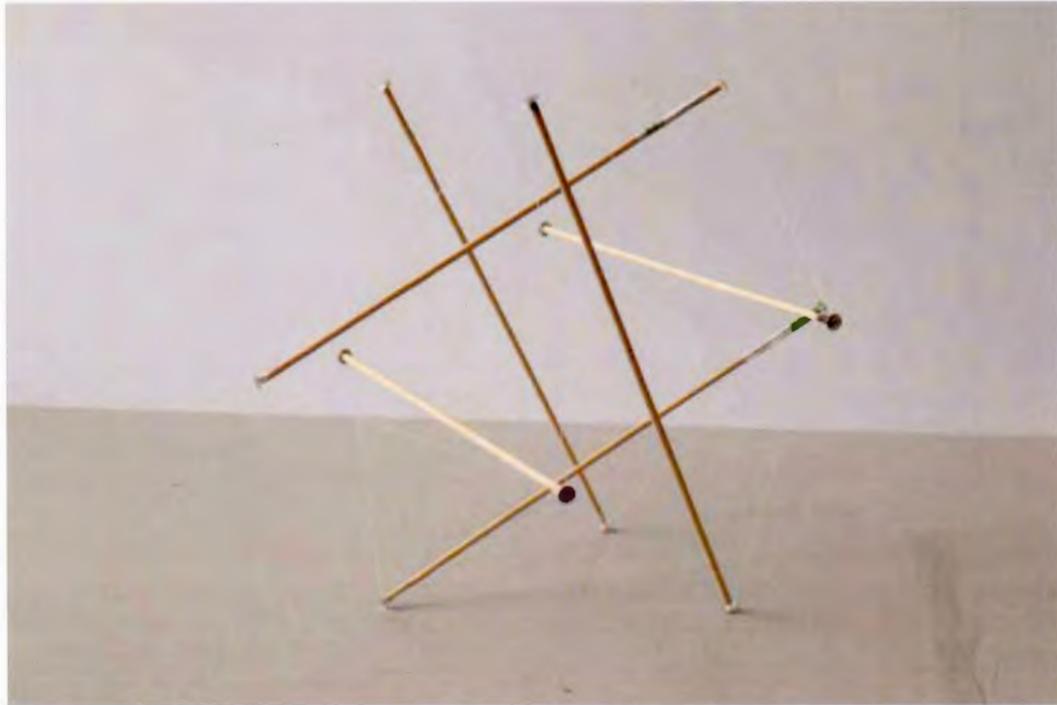


Figure 2-122 - (Septembre 2018) Maquette de structure en tensegrité en forme d'icosaèdre.

On peut donner la définition suivante à ce principe : une structure composée d'éléments en compression, reliés entre eux par des câbles en tension, et ne se touchant que par cette relation. Autrement dit, les « bâtons » ne se touchent qu'au travers des câbles. La structure garde sa forme par la pression externe qu'exercent les bâtons, en équilibre avec la tension vers l'intérieur que fournissent les câbles. L'image souvent donnée pour comprendre le principe est celle-ci : la tension est comme la peau d'un ballon, tandis que les bâtons représentent l'air pris à l'intérieur.¹⁰⁶ Ce principe retiendra l'attention de Fuller, et on peut d'ailleurs retrouver dans ses brevets des principes de tensegrité¹⁰⁷.

La première forme approchée pour le projet de cerf-volant, fut celle de l'icosaèdre. L'icosaèdre est une forme extrêmement stable, dû au fait que la longueur des câbles

¹⁰⁶ Ibid

¹⁰⁷ Nous l'avons vu (fig. 2-109), ce principe a su guider la synthèse faite au chapitre précédent.

en tension et des bâtons sont égales entre eux. Cette stabilité laissait entrevoir que les impacts au sol d'un cerf-volant seraient diffusés au sein de la structure. De plus, elle semble disposée à garder sa forme face à la déflexion causée par le vent.

Dès qu'on modifie des composantes par rapport à la forme originale, on réduit la force de l'icosaèdre. Une série de tests fut effectuée en tentant d'allonger des tiges et d'étirer la structure. L'idée était de permettre d'accrocher des surfaces aux câbles en tension, mais il apparaît rapidement un problème au niveau des surfaces. L'icosaèdre est une structure stable dont le prisme se comporte sensiblement comme une sphère. Ce faisant, le fait d'apposer plusieurs surfaces droites sur le volume doit nécessairement se retrouver au sein de la forme reliant les tiges (fig. 3-14) ou bien à l'extrémité de l'une et de l'autres (fig. 3-15). La possibilité de mettre les surfaces à l'intérieur fut écartée. Les tiges qui dépassent de la surface deviennent un poids superflu. Les tiges qui forment la structure ne soutiennent pas efficacement les surfaces.

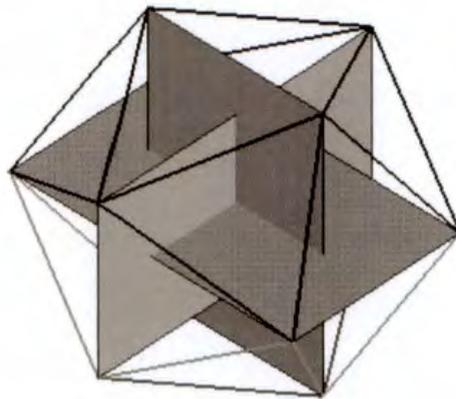


Figure 2-123 - Schéma d'intégration des surfaces à l'intérieur de la forme.

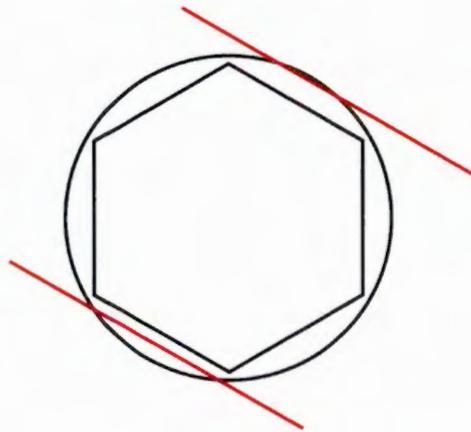


Figure 2-124 - Schéma d'apposition des surfaces sur l'icosaèdre.

La mise en place de surfaces parallèles ne peut se faire qu'aux pôles et les surfaces en parallèle s'opposent nécessairement en étant tangentes au cercle. Toute autre surface décline la friction du vent de façon inefficace.

Un autre défi à relever est celui de la légèreté : en variant les longueurs de tiges pour arriver à des surfaces plus horizontales, on augmente aussi le coefficient de poids.

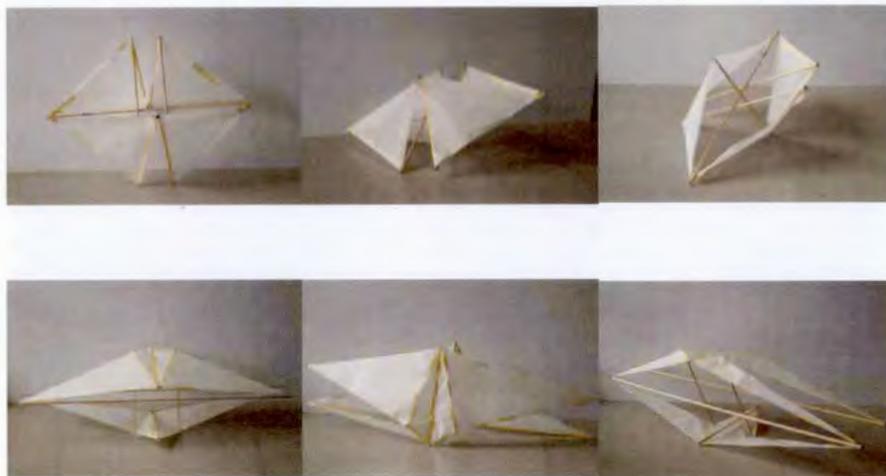


Figure 2-125 - (Octobre 2018) Maquettes résultant de l'exploration sur les formes de l'icosaèdre.

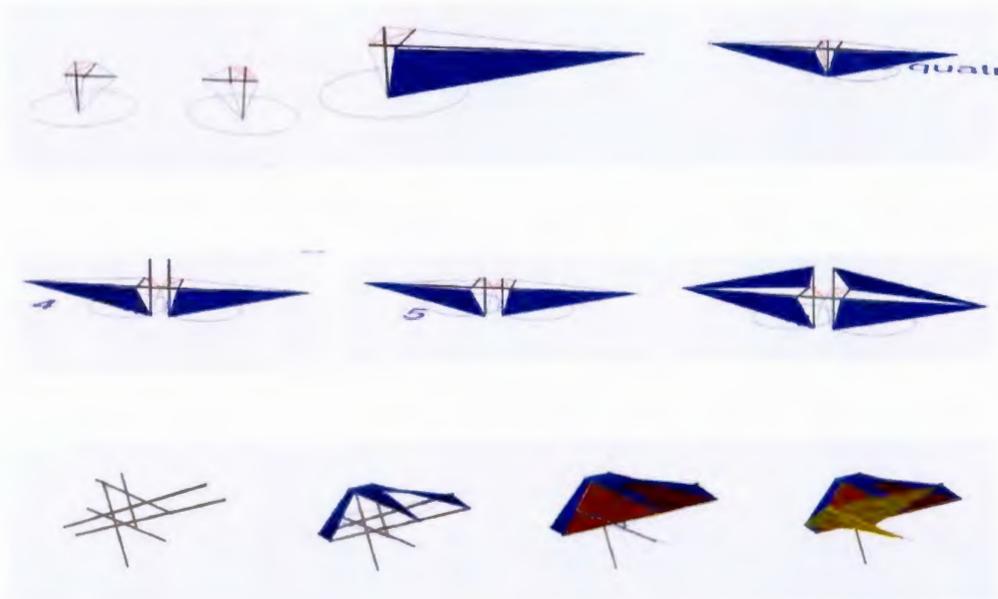


Figure 2-126 - (Octobre 2018) Dessin de modélisation 3D des modifications possible de l'icosaèdre.



Figure 2-127 - Jean-Michel Courville (Octobre 2018) *Test de vol.*



Figure 2-128 – Jean-Michel Courville (Octobre 2018) *Test de vol.*

Assumant ces contraintes, il a fallu pousser la recherche davantage et une série de maquettes fut produite pour comprendre les règles qui s'appliquent à la disposition des surfaces possibles sur le prisme de l'icosahédre. Au lieu de forcer une application de la tensegrité, la recherche s'est tournée vers la connaissance du phénomène, en cherchant à définir les règles de jeu actives en relation avec la tensegrité. C'est un basculement du jeu technologique vers le jeu scientifique.

Les maquettes produites pour cette série (fig. 129-131-133-135-136) s'inspirent des brevets de Snelson et ses idées entourant la *Tensegrity tower*¹⁰⁸. Il est possible d'augmenter la complexité des formes en ajoutant des tiges et des câbles. Ces additions se font de deux manières : soit à l'intérieur d'une cellule de tensegrité, soit par addition de cellules.

¹⁰⁸ Pars, Marcelo. (s. d.) Tensegrity. Récupéré de <http://www.tensegriteit.nl/>

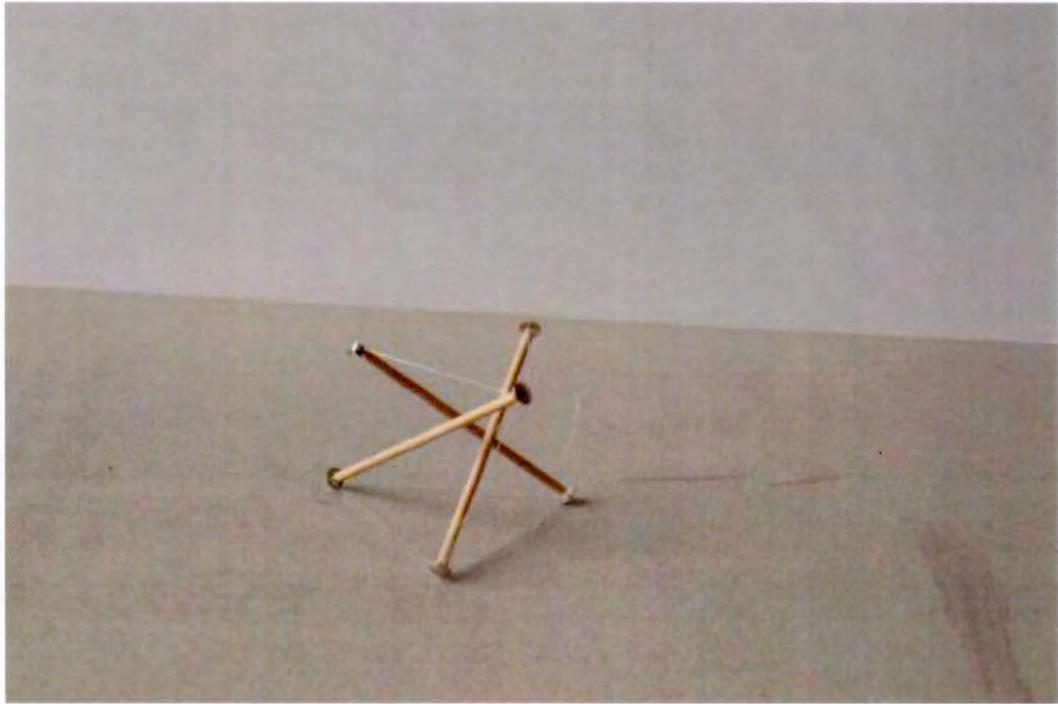


Figure 2-129 - (Octobre 2018) *Cellule à trois tiges*.

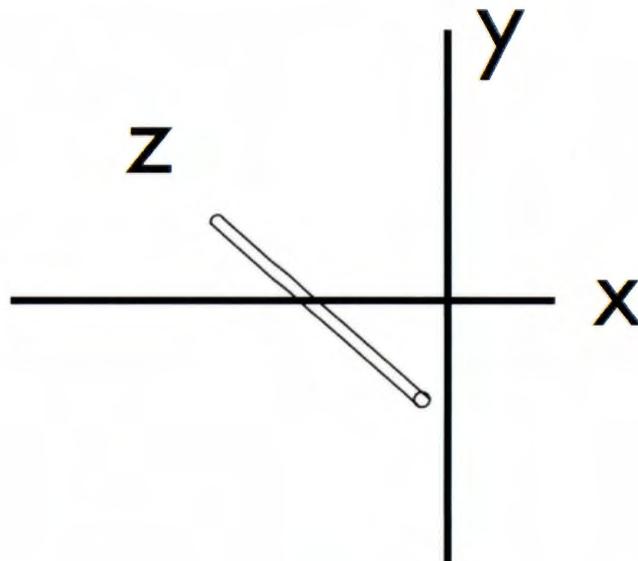


Figure 2-130 - Schéma explicatif d'une cellule à trois tiges

La cellule en tensegrité la plus simple qui peut être construite possède trois tiges. Elle forme ainsi un volume de pression à l'aide d'une série de câbles reliant chaque bout de tige à trois endroits différents. La cellule permet ainsi de gérer trois dimensions, le minimum pour l'établissement d'un volume en équilibre dans l'espace. Dans la cellule elle-même, si N égale le nombre de tige, et que N tend vers l'infini, alors la forme de la cellule se rapproche de la courbature d'un cercle.



Figure 2-131 - (Octobre 2018) *Cellule à treize tiges*.

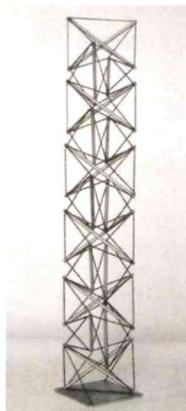


Figure 2-132 -Kenneth Snelson (1950) *Bead Chain X-Column*. Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/towers/>

Dans les tours en tensegrité de Snelson, l'addition de cellules, une par-dessus l'autre, est en fait un encastrement, tandis que l'icosaèdre, la cellule à trois tiges est mise en équilibre par son double inversé ; sa forme négative. La forme négative «ferme» l'élément.

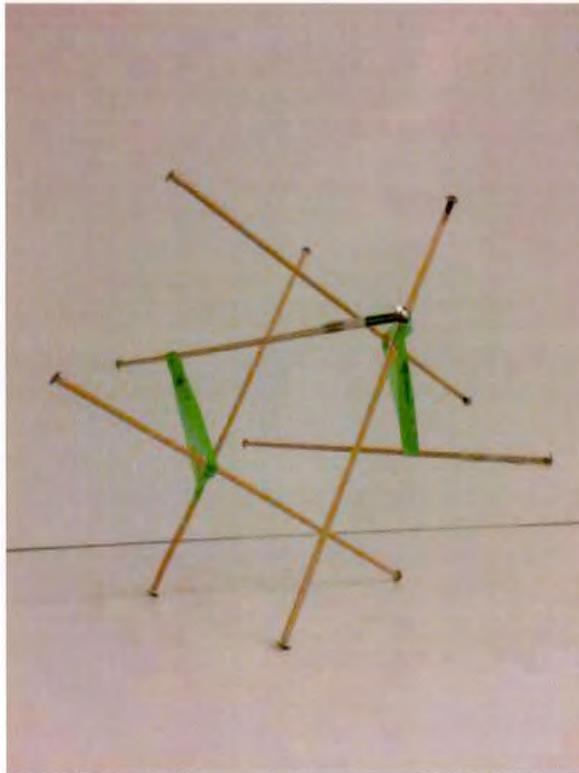


Figure 2-133 - (Octobre 2018) Forme en tensegrité d'icosaèdre avec indicateur des cellules.

Ce principe est fondamental dans l'idée d'une sphère en tensegrité, et se rapproche de l'idée d'un dôme géodésique. Dans ces cas, la cellule fait partie d'une chaîne, qui se déploie sur ses coté. C'est ce que Fuller réalise dans la *Tensegrity Ball* (fig. 3-25).

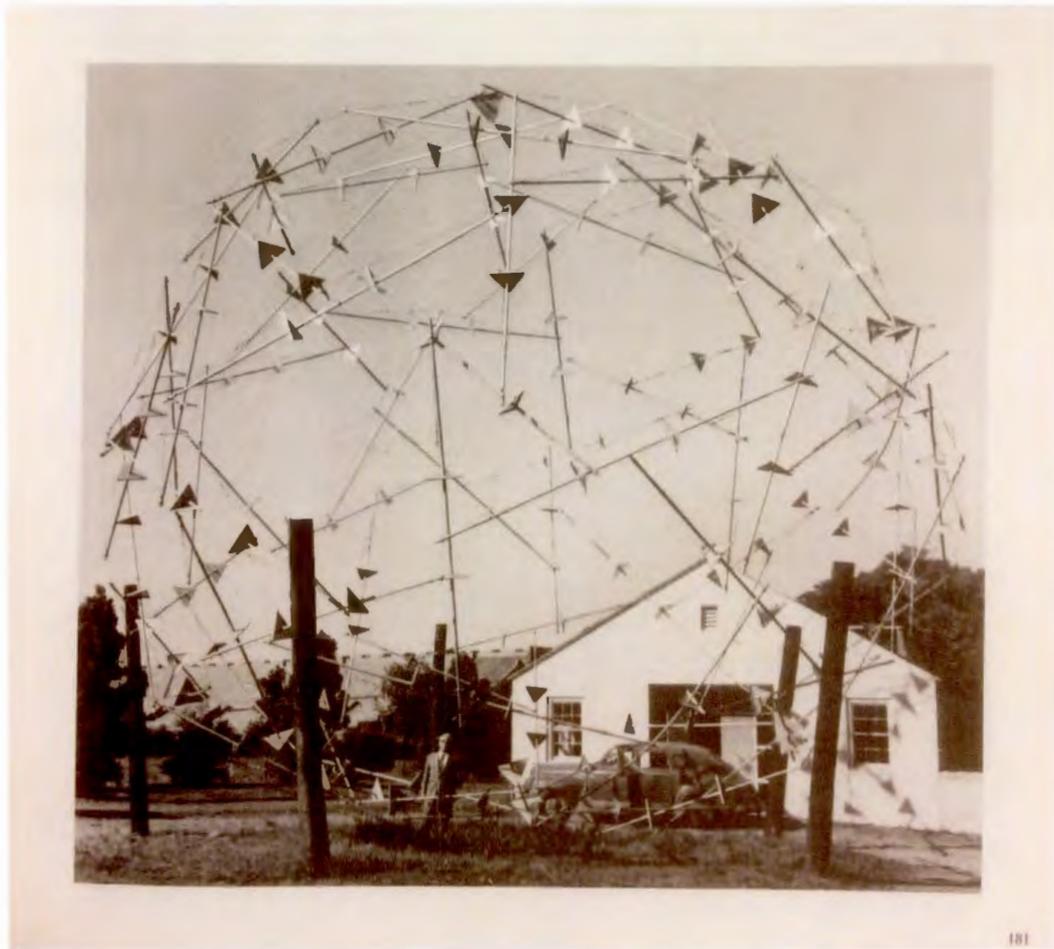


Figure 2-134 – Auteur non identifié (1953) *Discontinuous Compression Sphere*, *School of Architecture, Princeton*[Photographie] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition

Il est possible de « fermer » la chaîne plus rapidement en utilisant son équivalent négatif qui l'équilibre. La tensegrité peut être comparée à une arche et les cellules aux extrémités sont l'équivalent des sommiers. Le négatif étant la forme inverse de la cellule, elle peut s'y encastrier, car elle possède le même nombre de points d'attaches. Le module peut être répété, jusqu'à l'autre extrémité, et fermé par son négatif. L'icosahédre est formé de deux cellules à trois batons, en parfait équilibre (fig. 3-24), et on peut augmenter le nombre de baton des cellules pour différentes formes (fig. 3-26 et 3-27).

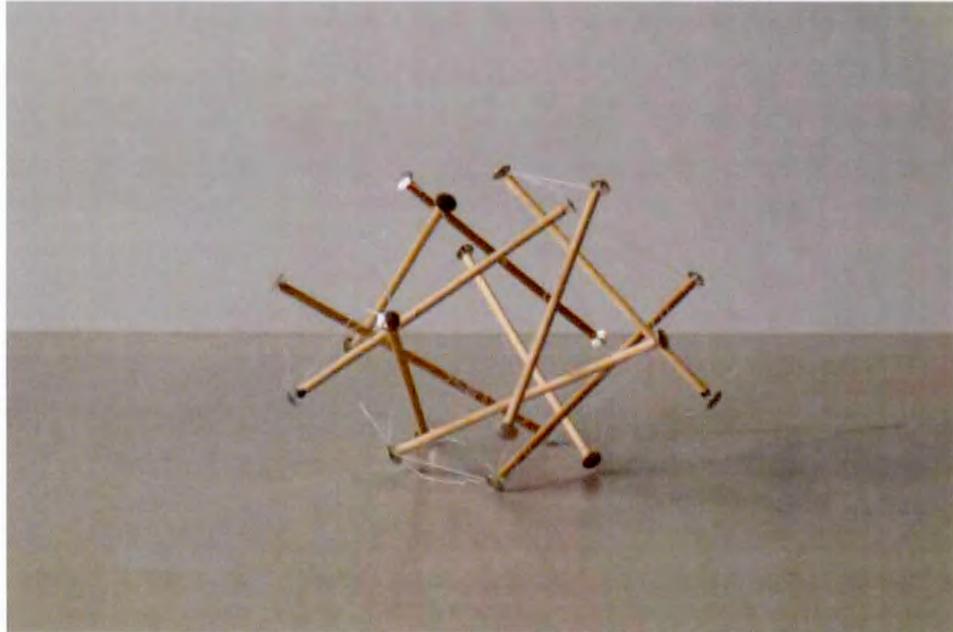


Figure 2-135 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, explorant le principe de «forme négative» qui clos le système.

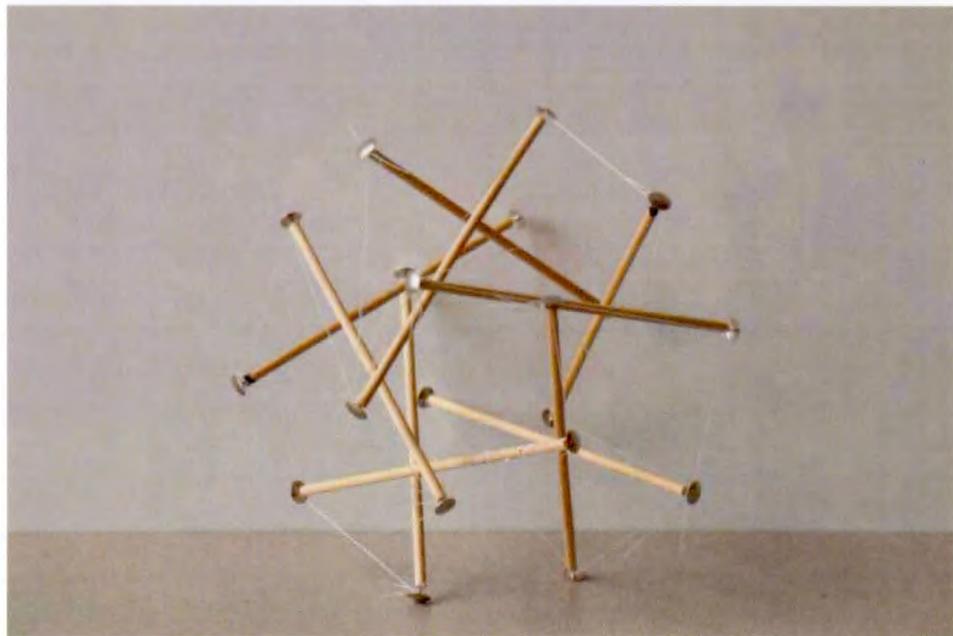


Figure 2-136 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, utilisant le principe de «forme négative» qui clos le système.

Snelson remarque cet effet qu'il appelle le *Helical phenomenon*. Ce principe décrit comment les bâtons «tombent» en équilibre sur eux-mêmes dans une cellule, comme dans un tissu tressé. Cet effet de tissage, Snelson va jusqu'à l'appeler «the mother of the tensegrity»¹⁰⁹ (fig. 3-28).

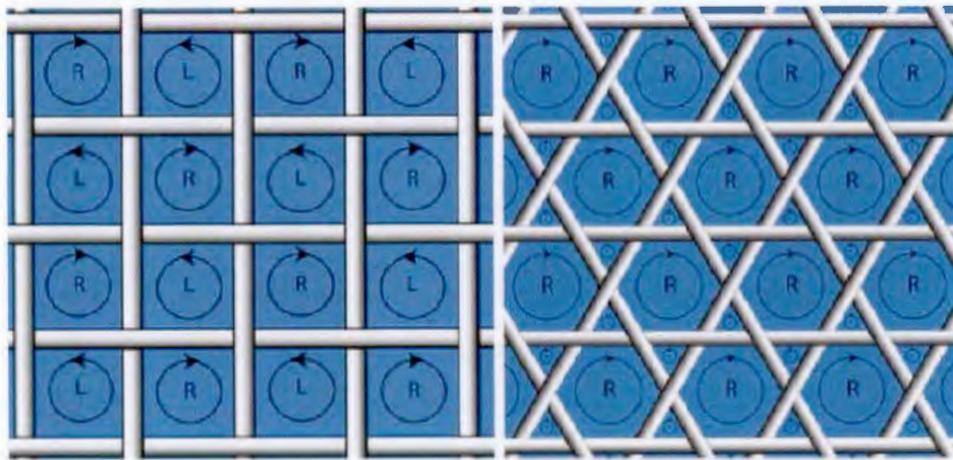


Figure 2-137 – Kenneth Snelson (2012) *Square and Hexwave* [Illustration] Kenneth Snelson. International Journal of Space Structures.

2.10 Raffiner la structure à l'aide de brevet, du vent et des tests

À partir de ce passage dans le jeu scientifique, on peut imaginer un cerf-volant constitué de multiples cellules, organisées entre elles. Les brevets de Snelson publiés

¹⁰⁹ Snelson, Kenneth. (2012) The art of tensegrity . International Journal of Space Structures Vol. 27 No. 2&3

en 1960 et les travaux de Robert Burkhardt sur le concept de *truss topology*¹¹⁰ portent à imaginer un assemblage planaire. Dans ces assemblages, chaque cellule partage un bâton avec une autre cellule (fig 141-142).

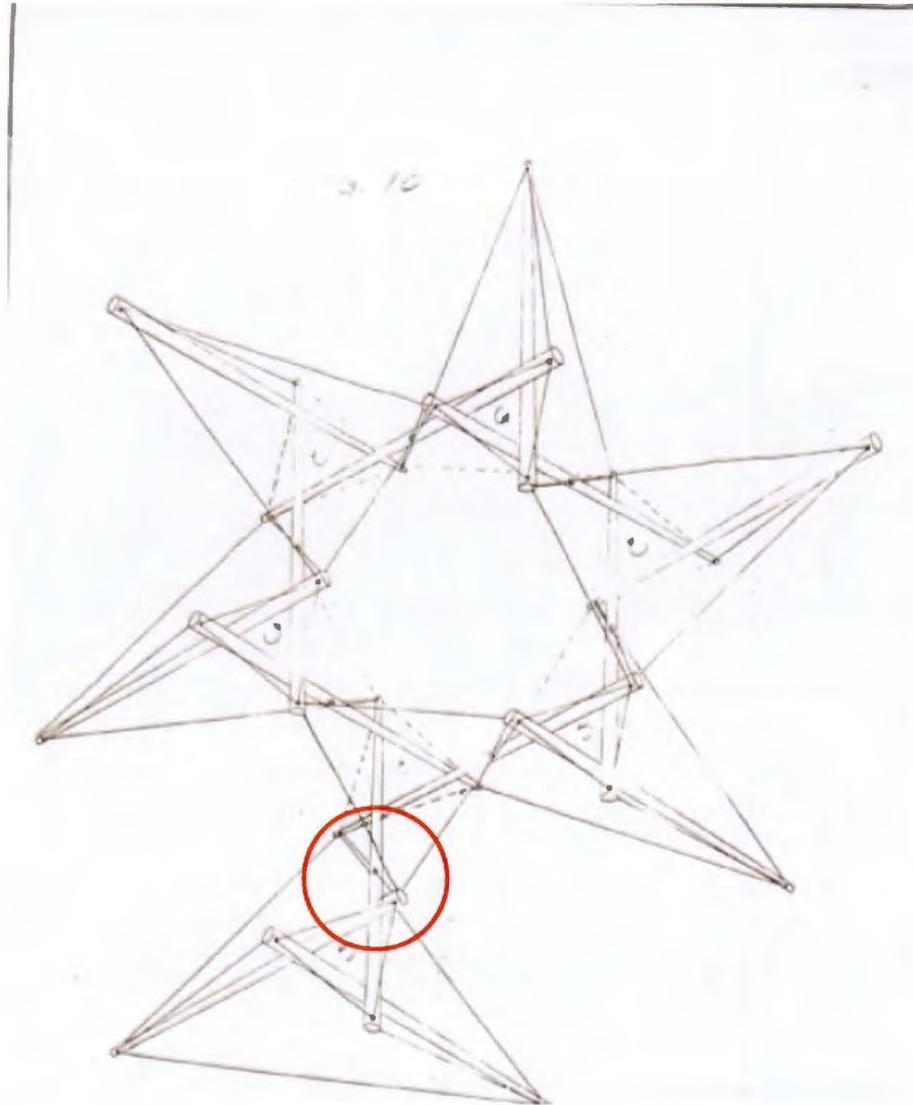


Figure 2-138 – Kenneth Snelson (1962) *Patent Drawing abandoned* [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de <http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html>

¹¹⁰Burkhardt, Robert (2007) A Technology for Designing tensegrity Dome and Spheres. Récupéré de <http://bobwb.tripod.com/prospect/prospect.htm#sec:trusstech>

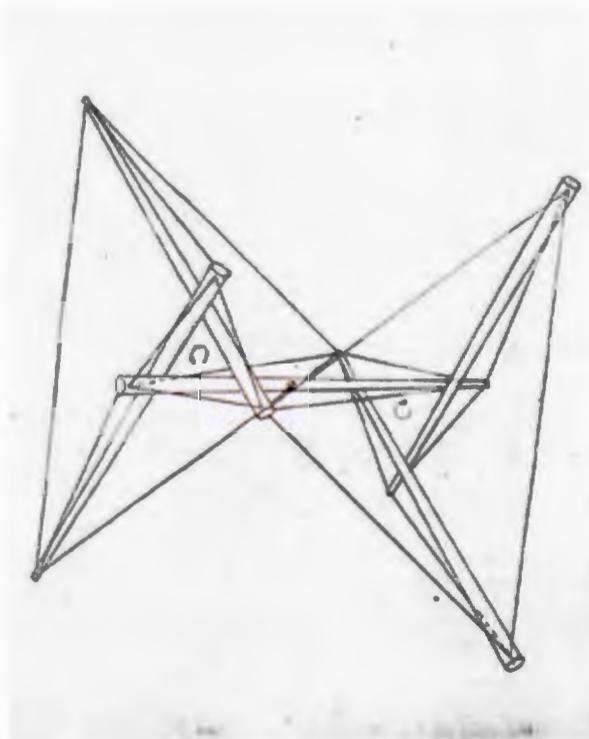


Figure 2-139 - Kenneth Snelson (1962) *Patent Drawing abandoned* [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de <http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html>

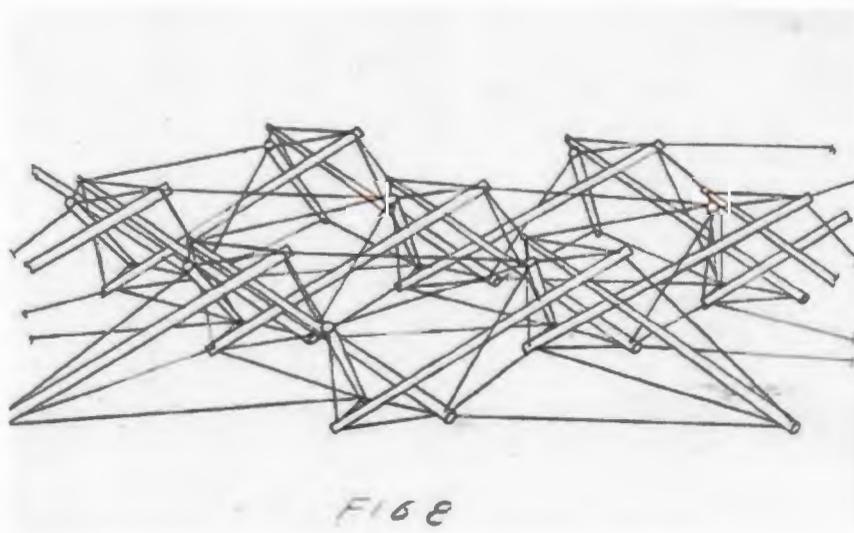


Figure 2-140 - Kenneth Snelson (1962) *Patent Drawing abandoned* [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de <http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html>

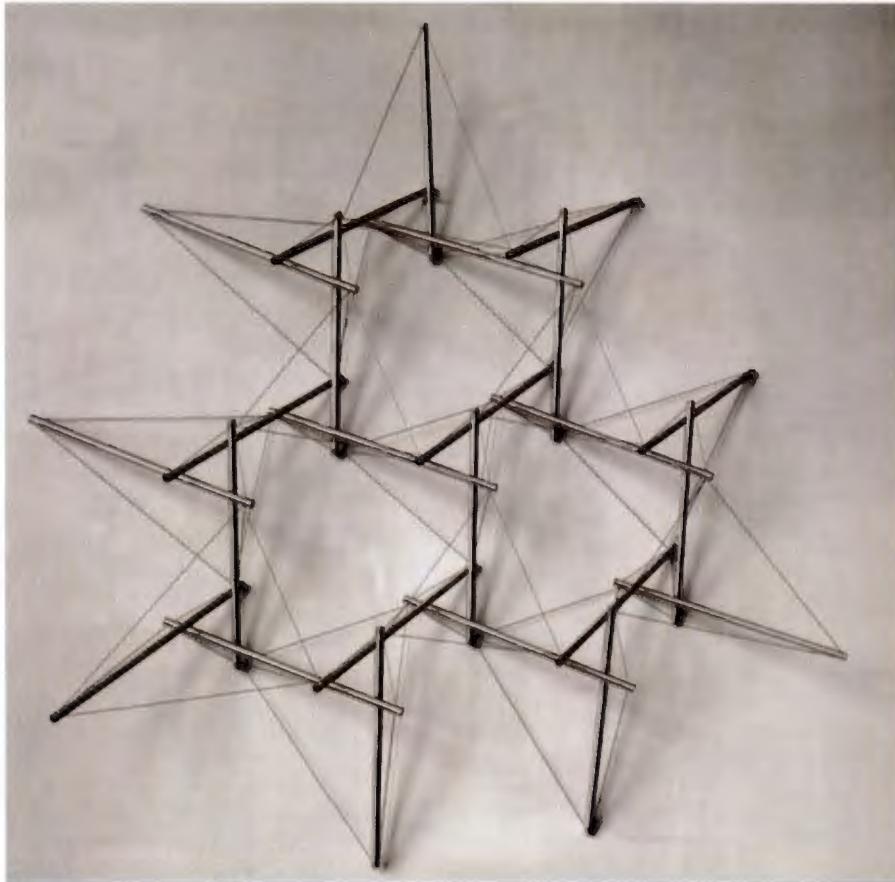


Figure 2-141 - Robert Buckhardt (1961) *Triangle Planar Piece Model* [Photographie] Récupéré de <http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html>

Les ressemblances avec les *Spaces frames* de Wachsmann et les *Shell-Truss* de Lindsay, portent à imaginer un cerf-volant tiré de ce type d'assemblage, avec plusieurs cellules qui formerait une « gaufre » triangulé¹¹¹. Apparaît ici le jeu de l'application technologique. Comment faire un cerf-volant à l'aide d'une hypothèse de tensegrité planaire ? La production d'une maquette à grande échelle comportait des difficultés plus importantes que les précédentes maquettes de principes. La mise

¹¹¹ Konrad Waschmann a par ailleurs enseigné au *Illinois Institute of Technology* de 1949 à 1964, ce qui coïncide à l'arrivée de Jeffrey Lindsay au même établissement en 1949 en tant qu'étudiant de Buckminster Fuller. Il est fort probable qu'ils se connaissaient et qu'ils partagent des objectifs similaires au niveau des structures légères. On peut reconnaître des similitudes formelles au niveau des répétitions de module et d'éléments standardisés léger.

en place des tiges et l'accrochage des câbles tendeurs est une épreuve en soi. Les formes en tensegrité sont des systèmes en équilibre et la simple intervention à un endroit modifie la tension et l'équilibre de tout le système. Tant que le système n'est pas « fermé », il n'est pas en équilibre. Dans cette mesure, il fonctionne comme une arche. Il faut pratiquement monter la structure au complet en pensant à une clef de voûte facile à attacher. Par la suite il est possible d'ajuster la tension dans chaque câble.

Lors de l'expérimentation de vol de la réplique du cerf-volant de Wittgenstein, la mauvaise préparation à l'expérimentation d'un tel cerf-volant fut une des causes de l'échec. Il fallait mieux préparer le contexte d'expérimentation, c'est-à-dire être capable de monter le cerf-volant sur place en prenant en considération que le vent serait probablement fort. Cela impliquait aussi d'avoir une équipe de vol: une personne pour tenir le câble du cerf-volant, une personne pour tenir le cerf-volant dans le champs à la distance désirée et une personne pour documenter le travail.

Une nouvelle hypothèse de cette structure était la suivante: trois cellule à trois bâtons, se connectant pour former une poutre en structure plane (fig. 3-33). Des surfaces en *Tyvek*, un tissu de polyéthylène pare-air léger et solide, serait installé au bout des tiges de manière à former trois triangles servant aussi de câbles tendeurs.

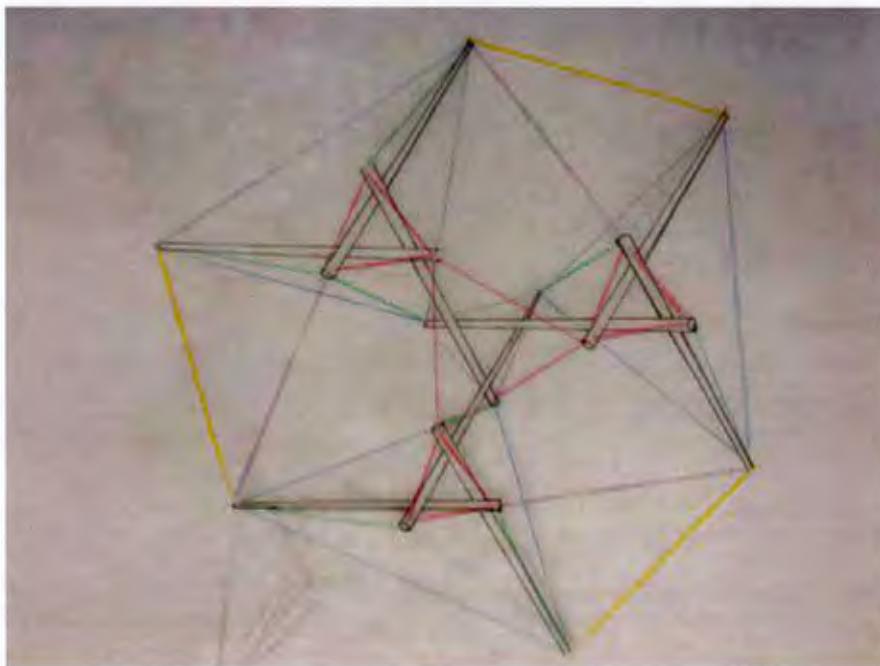


Figure 2-142 - (Novembre 2018) Dessin d'analyse pour la conception d'un cerf-volant calqué sur le brevet abandonné de Snelson (voir fig 2-29).



Figure 2-143 - (Novembre 2018) Construction des trois cellules pour le cerf-volant.



Figure 2-144 - (Novembre 2018) *Assemblages des trois modules.*



Figure 2-145 – Jean-Michel Courville (Novembre 2018) *Test de solidité et de légèreté.*



Figure 2-146 - (Novembre 2018) *Installation des toiles en Tyvek.*



Figure 2-147 - (Novembre 2018) *Installation des toiles en Tyvek.*

Un problème de friction entre un tendeur et une tige irritait Snelson qui abandonna le projet de brevet (fig. 3-29).¹¹² Un des câbles devait passer à l'endroit où se trouvait une tige, résultant d'une friction, ou d'une imperfection du système en tensegrité souhaité par Snelson. Au départ, dans la mise en oeuvre du cerf-volant, cet aspect avait été écarté et il fallut y trouver une solution pour remédier à ce déséquilibre. Des cordes supplémentaires ont été tendues pour remplacer les vecteurs de force qui passaient par cet endroit, résultant en une forme légèrement concave et formant la section d'un dôme en tensegrité. À partir de cette forme, il était peu probable que la structure prenne son envol. Les trois cellules se comportaient comme trois bâtons d'une cellule, et reprenaient le principe hélicoïdal de la tensegrité. Ils tombaient sur eux-même, et formaient une orientation tordue comme les pales d'une hélice tournant autour d'un axe. N'étant pas symétrique, le cerf-volant planaire ne pouvait pas supporter la pression du vent et le dévier de façon à s'élever. Il répondait au vent avec ses triangles comme une hélice d'éolienne, faisant fuir la pression du vent en pivotant sur lui-même. Retenu par la corde, il «marchait» en roulant sur le sol et se déplaçait en virevoltant sur lui-même.

¹¹² Burkhardt, Robert (2007) A Technology for Designing tensegrity Dome and Spheres. Récupéré de <http://bobwb.tripod.com/prospect/prospect.htm#sec:trusstech>



Figure 2-148 - (Novembre 2018) *Documentation de l'expérimentation du cerf-volant.*



Figure 2-149 - (Janvier 2019) *Photo du cerf-volant en poutre planaire.*

2.11 Faire d'autres hypothèses, exposer les résultats et en discuter

La torsion hélicoïdale du cerf-volant planaire faisait en sorte qu'au lieu d'avoir une poussée égale sur le long de sa structure, il était déséquilibré. Toujours poussé à tourner autour de l'axe de torsion, il ne pouvait pas s'élever également face à la gravité. Cet équilibre dans les cerfs-volants est ce qui permet une stabilité de vol, caractéristique accentuée dans les formes en tétraèdre d'Alexander Graham Bell. Le cerf-volant planaire ne pouvait pas, dans sa forme actuelle, résulter d'un usage adéquat de cerf-volant.

Il fallait revenir sur des hypothèses de formes symétriques. Des collages, des dessins, mais surtout des maquettes ont été produites pour arriver à des modèles qui présentaient des formes symétriques. Le problème de ces maquettes était souvent la production de surfaces trop petites pour le ratio de poids. Plus les maquettes s'additionnaient, plus les différentes hypothèses sur la production de surface interne à un module symétrique s'approchaient de l'icosaèdre. Le poids restait un problème et le vol n'était pas plus performant.

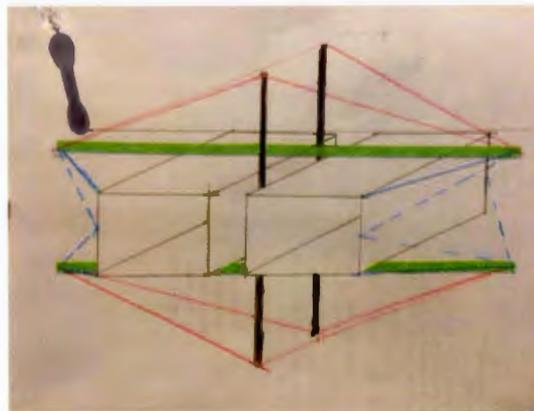


Figure 2-150 - (Fevrier 2019) *Sketch d'inspiration d'un box kite en tensegrité.*

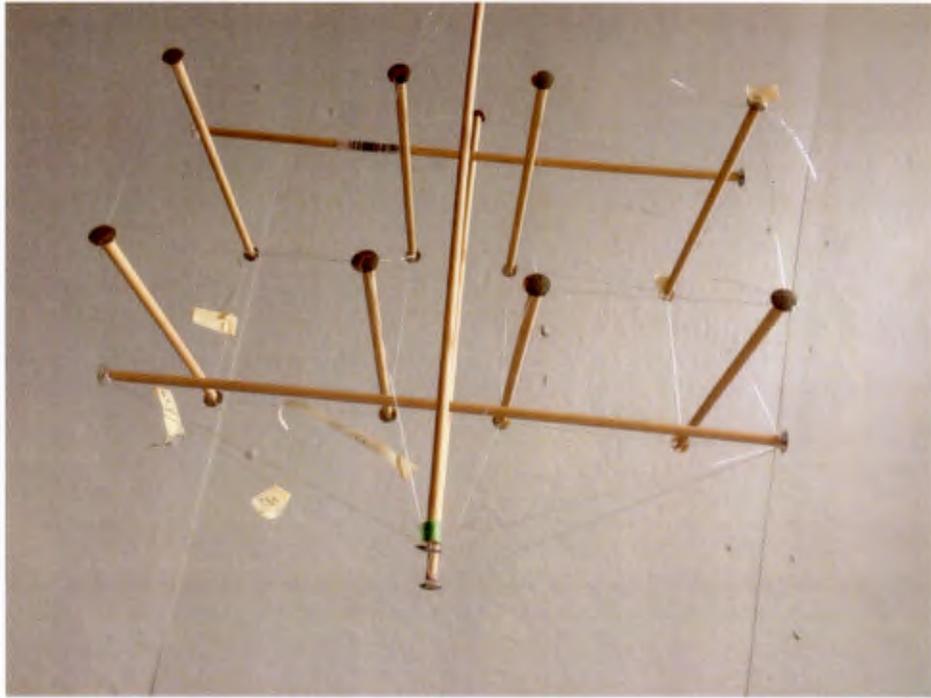


Figure 2-151 - (Fevrier 2019) *Maquette d'une hypothèse de box kite.*

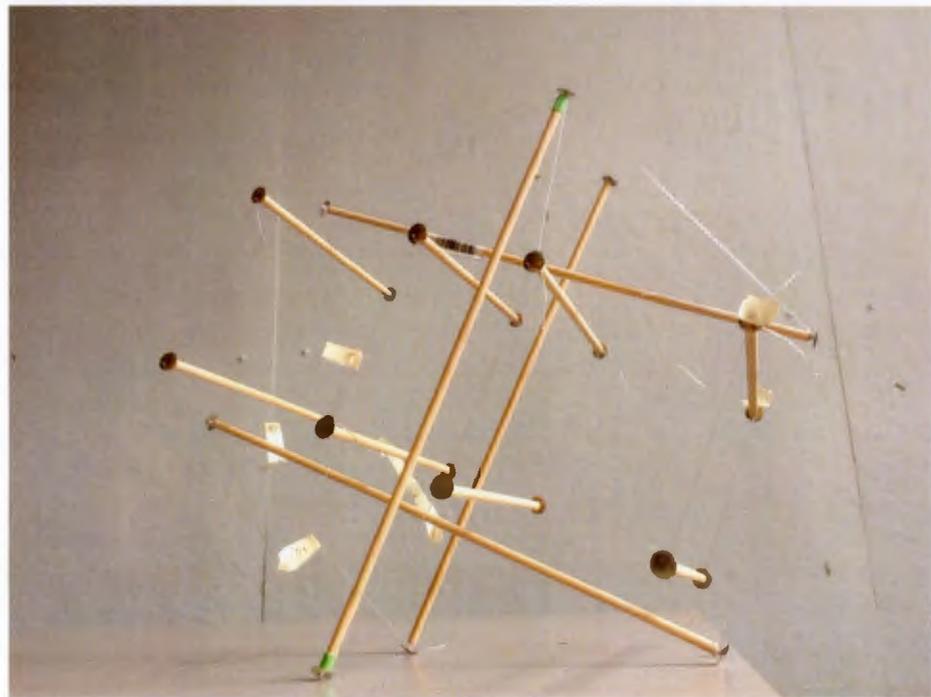


Figure 2-152 - (Fevrier 2019) *Maquette d'une hypothèse de box kite.*

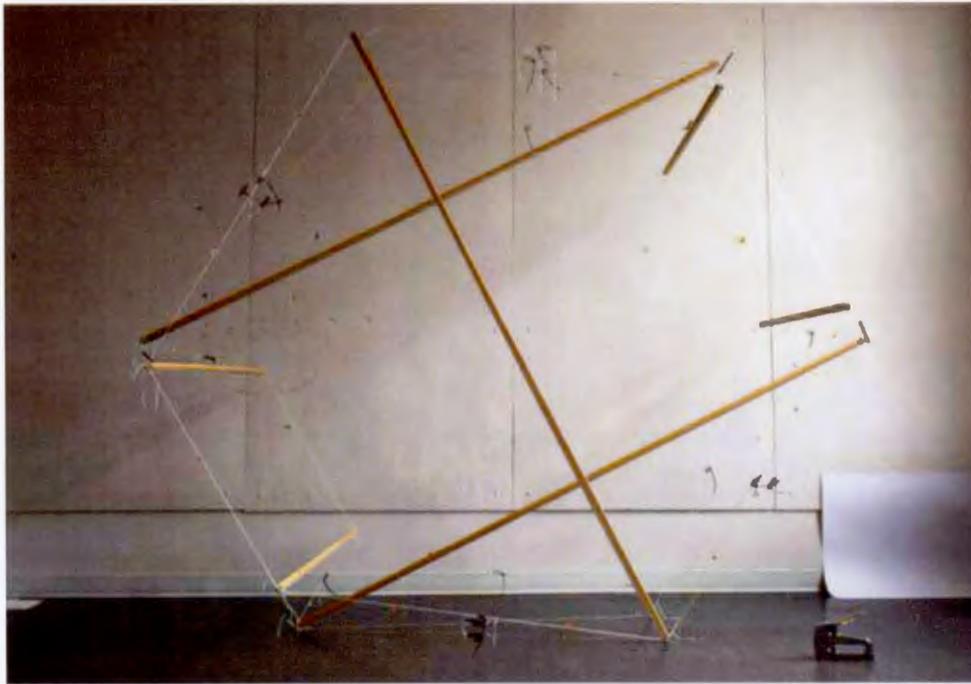


Figure 2-153 - (Fevrier 2019) *Maquette grande échelle d'une hypothèse de box kite.*



Figure 2-154 - (Fevrier 2019) *Variation d'hypothèses sur le box kite.*

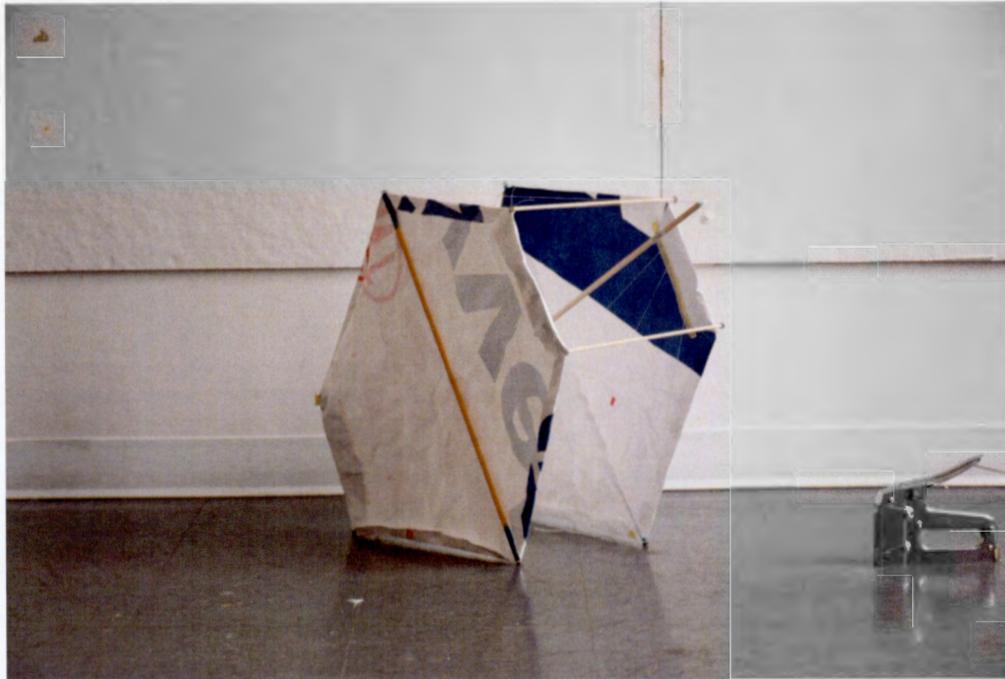


Figure 2-155 - (Fevrier 2019) *Variation d'hypothèses sur le box kite.*

En revisitant les brevets de Buckminster Fuller, et notamment sur le dôme en tensegrité effectué à l'université Princeton en 1953 (fig. 3-25), il a été possible de comprendre que la cerf-volant planeaire était structurellement plus proche de ce type de structure que d'une surface planeaire. La solution proposée pour résoudre l'attache en friction tordait la structure de manière à se tenir sur le module suivant. En continuant d'ajouter des modules à l'infini sur la structure du cerf-volant planeaire, il en aurait résulté une structure qui cherche à se tenir sur quelque chose d'autre en permanence. Il en serait résulté une structure fermée sur elle-même comme une sphère.

Buckminster Fuller s'intéressait à la tensegrité pour ses qualités structurelles, et non en tant que système précieux à idolâtrer. Là où ses projets s'intéressait aux principes purs de la tensegrité, Fuller n'avait pas peur de les utiliser dans des formes rigides qui brisent les « lois » de la tensegrité. Il s'approprie les principes, mais ne s'oblige pas à utiliser des câbles.

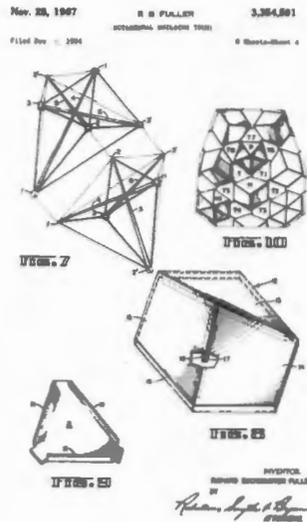


Figure 2-158 - Richard Buckminster Fuller (1967) *Octahedral truss* [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition

C'est à partir de ses réflexions sur la cellule en tensegrité qu'il en vient à construire l'*Octet Truss* (fig. 3-50 et 3-51), une structure qui rappelle la structure en tétraèdre de Alexander G. Bell. Il produit des brevets la mettant en acte dans des structures spatiales et planaires, mais aussi dans des assemblages permettant la construction de dômes. Cette attitude de subordination de la connaissance aux besoins est typique de l'attitude de Fuller. Malgré qu'il soit un chercheur scientifique, Fuller considère les connaissances avant tout pour leur application technologique.

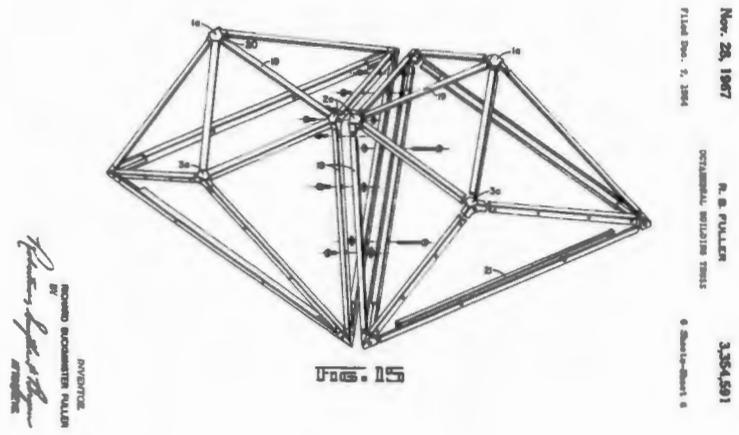


Figure 2-159 - Richard Buckminster Fuller (1967) *Octahedral truss* [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition

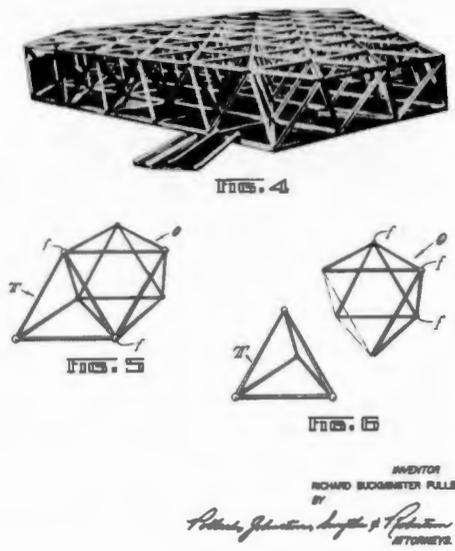


Figure 2-160 - Richard Buckminster Fuller (1967) *Octahedral truss* [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition

Comme ce fut le cas avec la photographie du cerf-volant de Wittgenstein qui a servi de déclencheur au projet, la vision d'un de ces assemblages fut une inspiration, ou plutôt une reconnaissance de règles intéressantes. En rigidifiant la structure, il en arrivait à mettre en œuvre une forme structurellement forte, mais qui pouvait aussi s'assembler de façon symétrique, en opposant la forme contre elle-même. Pour le projet, cela voulait dire qu'il fallait reconsidérer l'importance et le sens de l'utilisation des principes de la tensegrité. C'est donc en travaillant l'idée d'une forme symétrique avec les principes du *Octet Truss* (fig. 3-50 et 3-51) que les premières formes symétriques et prometteuses sont apparues. Il fut possible d'imaginer deux cellules et de les fixer ensemble.

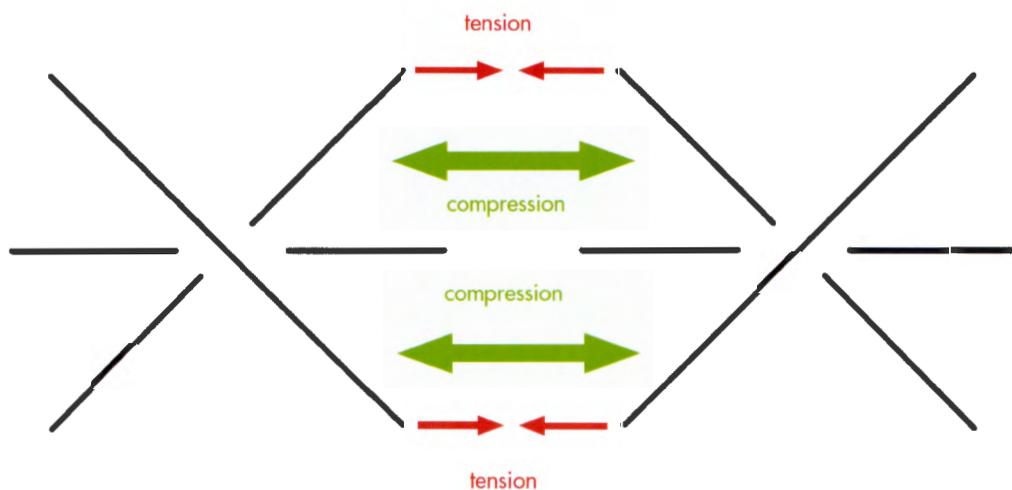


Figure 2-161 - (Mars 2019) Représentation de jonction de forme en tensegrité à l'horizontale.

Les cellules furent jointes comme les éléments d'une chaîne. En installant une cellule de format réduit qui offrait tension et compression, les cellules d'ailes ont pu rester symétriques et en équilibre.

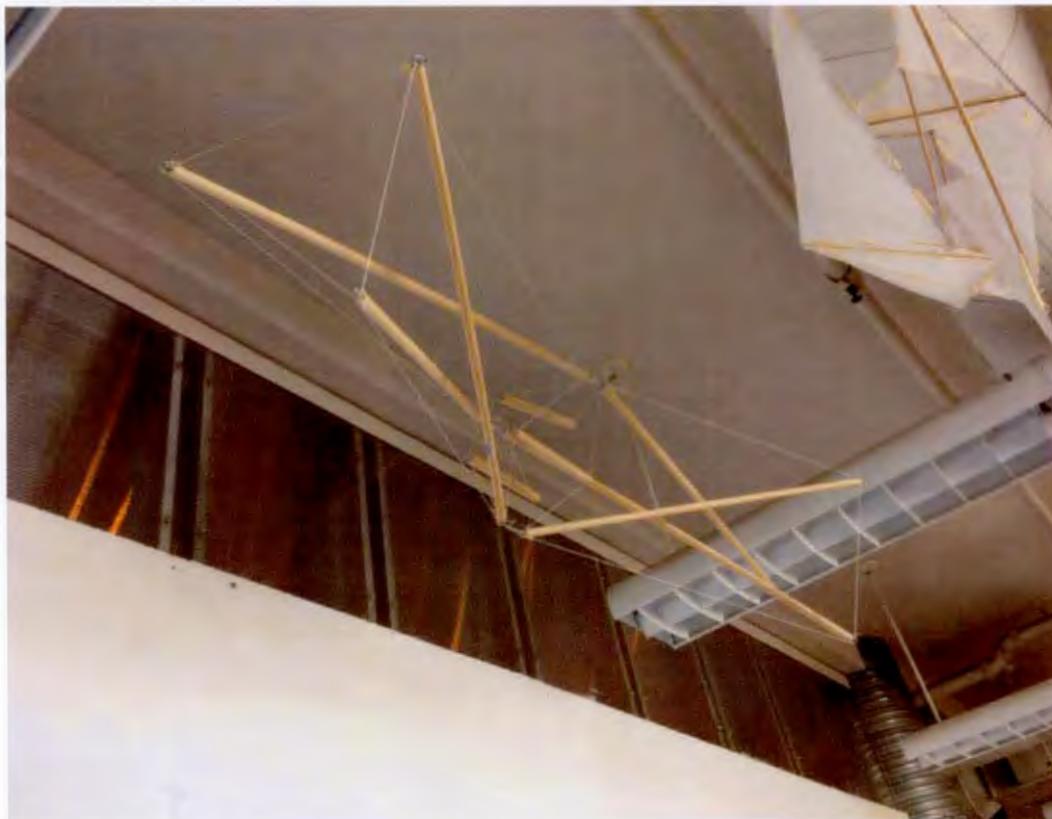


Figure 2-162 - (Avril 2019) *Maquette de l'agencement des cellules à l'horizontale.*

En avril 2019, lors de l'exposition de fin d'année de l'École de design de l'UQAM, une série de modèles fut exposée au public pour générer des discussions et des critiques, dont celles menées sur la symétrie. La mise en exposition des structures a permis d'expliquer et de communiquer leurs formes et leurs structures. Accrochés au mur, comme les Eames le faisaient dans leur mise en scène (fig. 2-79 et 2-80), les cerfs-volants exprimaient leur légèreté. Cette communication d'idées a fait basculer le projet dans le jeu esthétique. Le regard porté et orienté vers la forme ailée a orienté les décisions menant à la production du prochain prototype à construire. La mise en espace pour le public fut une forme d'expérimentation. L'usage était celui de l'appréciation sensible et de la communication. C'est une mise à l'épreuve du cerf-volant, qui informe et établit une assurance pour la continuité du projet. Séduit par la

forme et la lecture des ailes, le public s'intéressait à sa structure. La forme globale des ailes diffère des formes géométriques et modernes du *box kite*. On y reconnaît plutôt un avion, une forme élégante et légère. L'esthétique de l'objet encourage le vol, fascine, et semble pouvoir porter le vent. On lit l'usage, et on comprend qu'il s'agit d'un cerf-volant.

2.12 Corriger et faire voler

Il fallait revoir les objectifs pour le test ultime : la réussite d'un vol. La maquette exposée avait des qualités formelles et soutenait une hypothèse avec assurance. Cependant elle n'était qu'une réflexion sur les principes d'agencement symétrique. Elle n'était pas conçue pour être testée en extérieur, dans le vent. D'autres modèles furent construits reprenant la logique d'assemblage, mais en accentuant les grandeurs d'ailes.

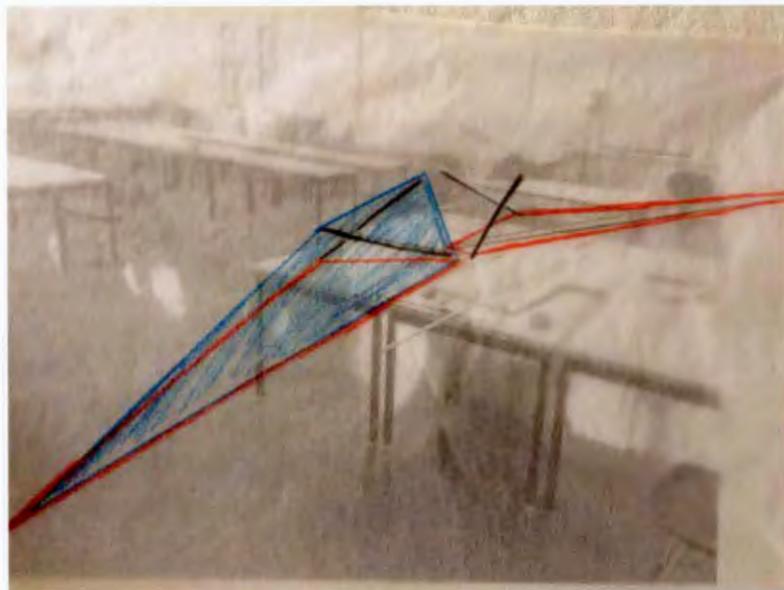


Figure 2-163 - (Avril 2019) Sketch d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces, avec l'augmentation des bâtons.

En faisant des essais sur la longueur des ailes, une hypothèse déployée fut celle d'allonger certaines tiges, ce qui provoqua une instabilité de la cellule en tensegrité. Un moment de force produisait une déformation dans les cellules et entraînait une tension supplémentaire pour les câbles.



Figure 2-164 - (Avril 2019) *Maquette réalisée pour tester l'allongement des bâtons.*

Pour maximiser la voilure dans une structure en tensegrité, il fallait utiliser des tiges de longueurs égales. La forme de la cellule à trois tiges mise en valeur par Fuller sous forme rigide dans la *Octet Truss* (fig. 3-51, 3-50, 3-51) est la plus équilibrée et résistante. Toute déformation de celle-ci affaiblit sa structure. Il fallait donc atteindre l'optimisation de la surface de voile, sans perdre en qualité structurelle.

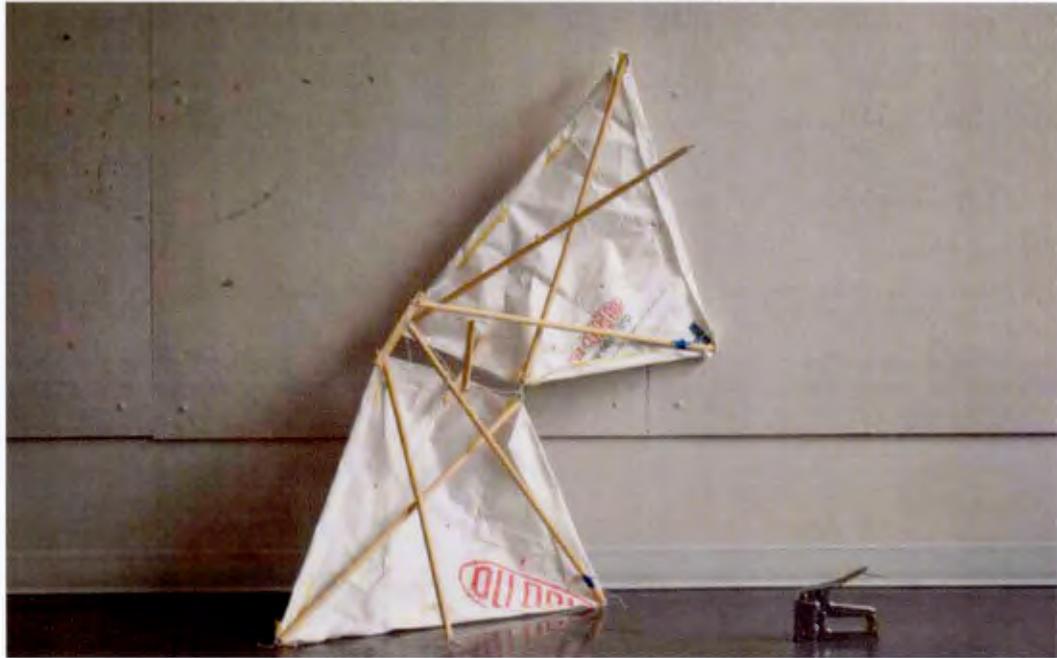


Figure 2-165 - (Avril 2019) Modèle «moth»: Maquette d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces.



Figure 2-166 - (Mai 2019) *Maquette d'optimisation des surfaces.*

Un fois la forme du module évasée, il fallait aussi concevoir une voile qui permettait de voler de façon adéquate. En observant les brevets de Domina Jalbert et Francis Rogallo, (fig. 2-36 et 2-39) des règles ont pu être extraites sur des formes d'ailes performantes.

Inspiré par la réflexion sur l'expérimentation des structures en tension de Frei Otto, il fut décidé d'accrocher les toiles aux câbles en tension sur le côté. Créant ainsi une forme d'aile ressemblant au pavillon de musique de Otto (fig. 3-59). Cette nouvelle forme produit un couloir d'air au même titre que les voiles flexibles du principe de Rogallo, mais possède l'avantage de garder en forme par la tension aux extrémités de la voile. À ce titre, la voilure du cerf-volant aurait l'effet d'une aile d'avion performante en plus de sa grande surface, sans risquer d'être déformée par sa flexibilité.

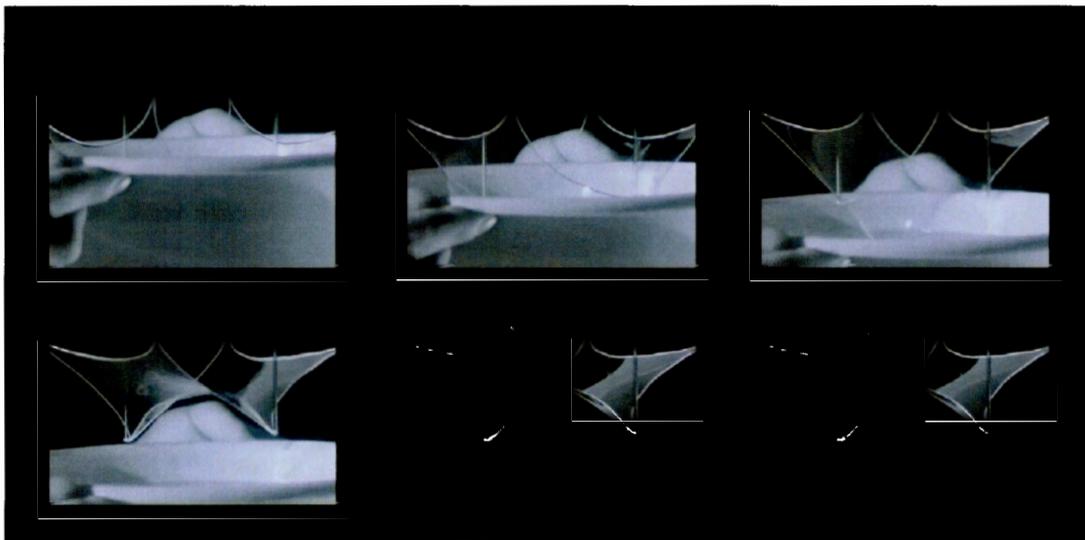


Figure 2-167 – Frei Otto (1987) *Modeling with soap Film*. [Court Métrage] The institute for Lightweight Structures. University of Stuttgart. Récupéré de <https://www.youtube.com/watch?v=-1W7o25NmeA>



Figure 2-168 – Atelier Frei Otto Warmbronn (1955) *Pavillon de musique à l'exposition fédérale des jardins à Kassel, Allemagne* [Photographie] Récupéré de <https://www.lemoniteur.fr/photo/architectures-de-frei-otto-laureat-du-prix-pritzker-2015.570879/pavillon-de-musique-a-l-exposition-federale-des-jardins-a-kassel-allemande-1955.2>

La jonction entre les cellules comportait toutefois une problématique. Avec des tiges de 8 pieds de long (fig. 3-64 et 3-65), les cellules des cerfs-volants demandaient une tension dans les câbles assez importante pour les tenir dans une forme d'aile de type évasée et encore plus dans l'élément central entre les cellules. Le fait d'ajouter une cellule entre les deux maillons de chaînes paraissait simple dans la maquette, mais la réalisation du prototype à échelle réelle a généré un moment de force dans la structure (fig. 3-60 et 3-61). Il fut choisi d'attacher les bâtons situés à l'arrière pour leur permettre de tenir en compression face au vent (fig. 3-62 et 3-63), au même titre que le Parafoil de Domina Jalbert qui se gonfle sous l'effet du vent, pour ensuite servir de structure à la voile. À l'avant, des câbles tendus entre les bâtons servent aussi de bride et empêchent le cerf-volant de plier vers l'arrière sous la pression du vent.

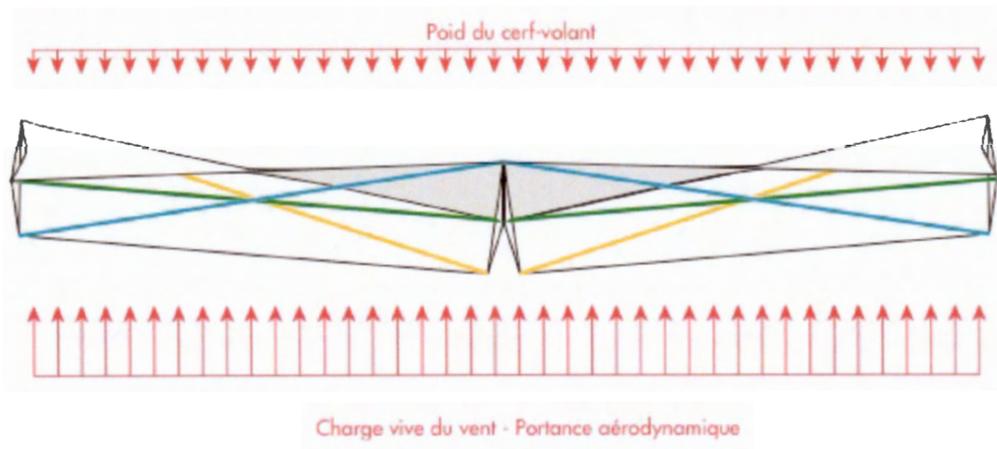


Figure 2-169 – Forces impliqués dans la nouvelle hypothèse du cerf-volant.

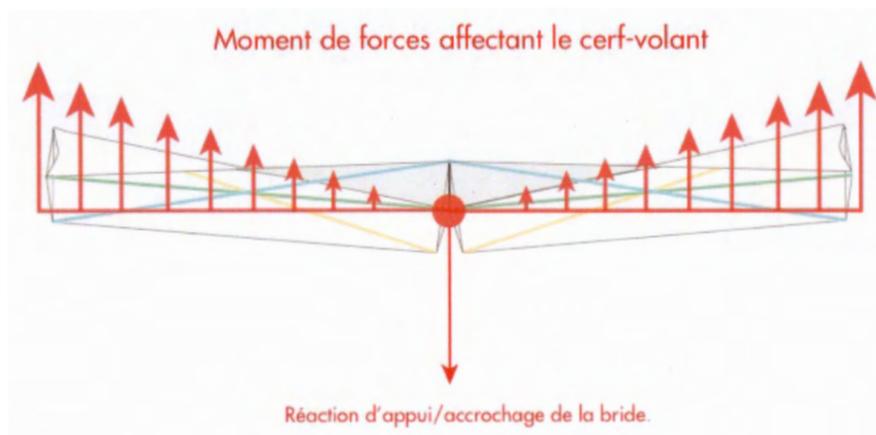


Figure 2-170 – Moment de force induit par les charges de vents.

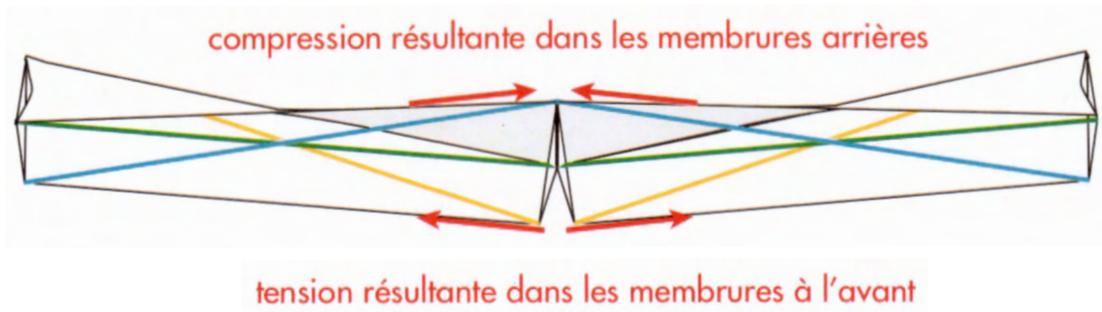


Figure 2-171 Forces induites aux membrures des cellules.

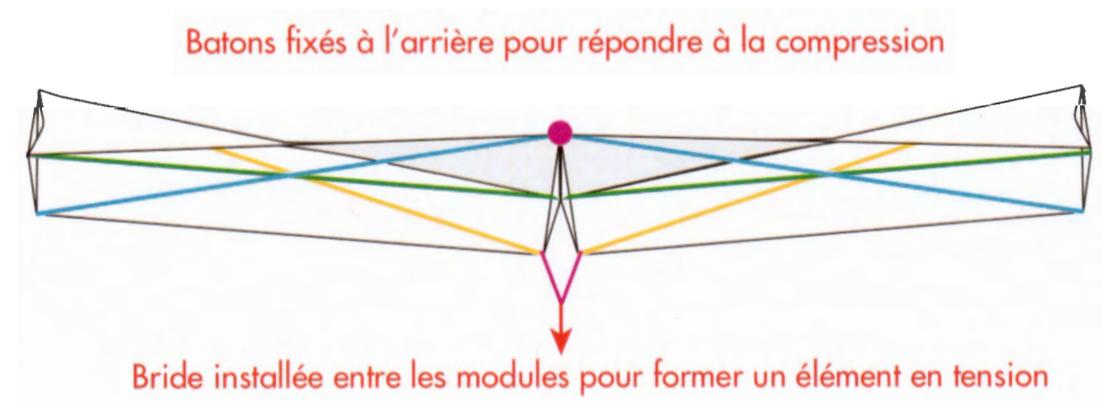


Figure 2-172 Solution proposée pour utiliser la charge vive du vent pour la mise en vol.

Utilisant ainsi une charge vive du vent, les formes pouvaient être tenues ensemble par cette structure en hauban. La poutre créée pouvait ainsi être démontée et assemblée facilement sur le site. Ainsi la structure du cerf-volant allait avoir deux points de contact sur trois qui seraient en compression, soutenant la pression positive du vent, et un câble de tension pour soutenir le moment de force créé entre les autres points avant.

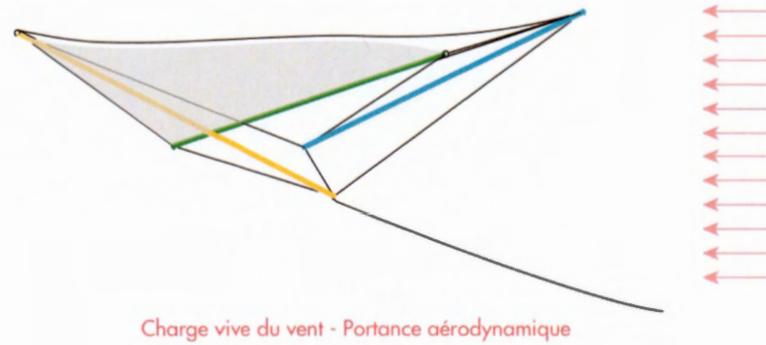


Figure 2-173 *Vue en élévation sur la droite de l'hypothèse proposée*

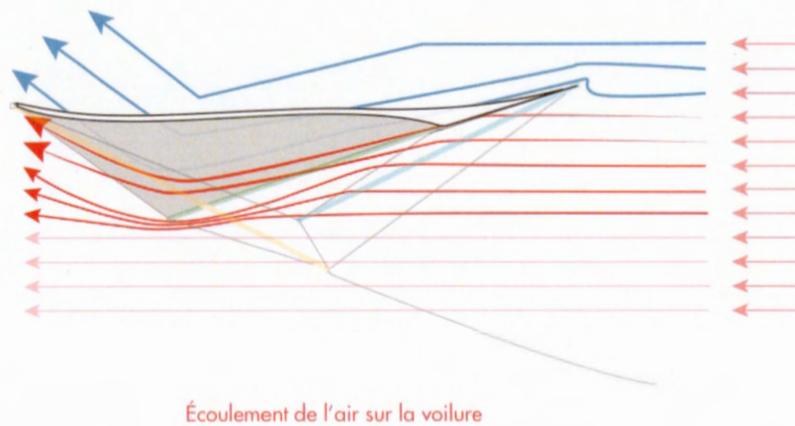


Figure 2-174 *Schéma d'écoulement de l'air sur la voile.*

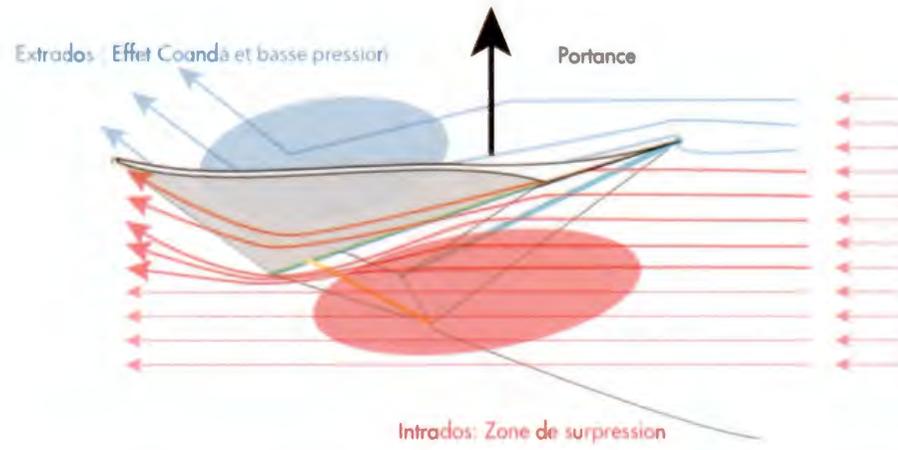


Figure 2-175 Schéma de portance.

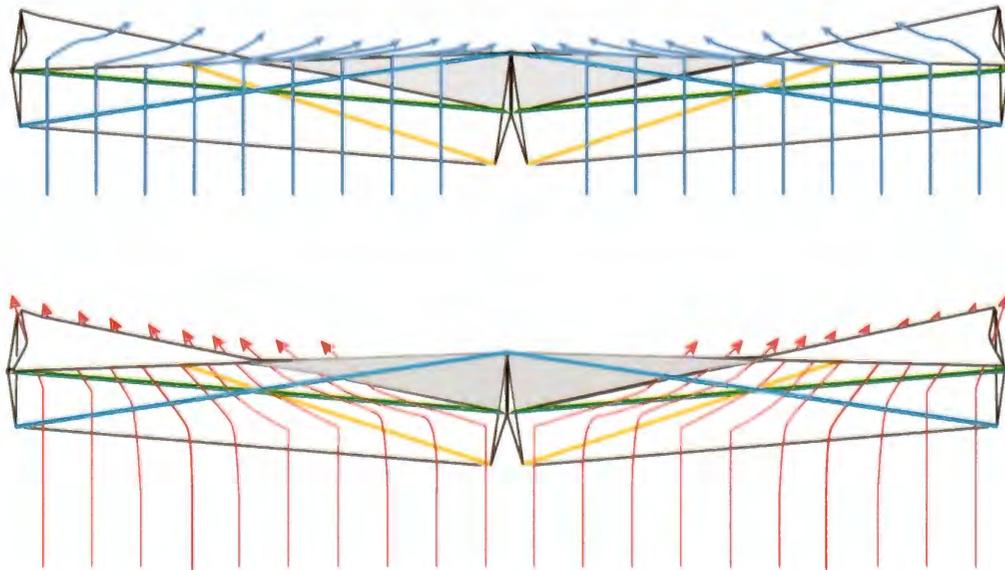


Figure 2-176 Schéma d'écoulement de l'air de distribution de portance et de trainée induite.

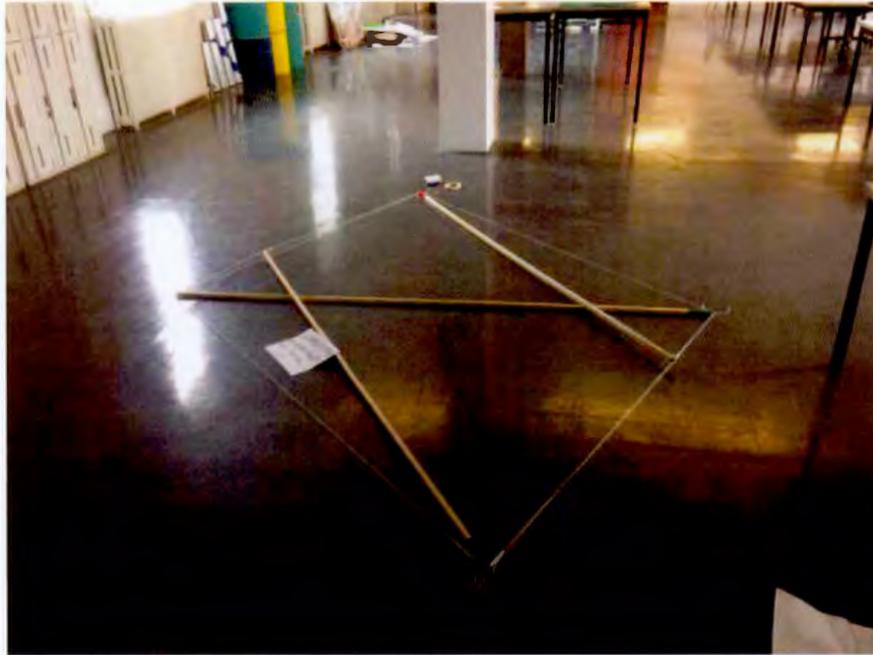


Figure 2-177 - (Mai 2019) *Cadre d'une cellule à plat, sans rigidité et démonté.*



Figure 2-178 - (Mai 2019) *Expérience de montage des cellules.*



Figure 2-179 - (Mai 2019) *Installation des voiles sur les cellules.*



Figure 2-180 - (Mai 2019) *Assemblage des ailes.*



Figure 2-181 - (Mai 2019) *Montage du cerf-volant en milieu contrôlé.*



Figure 2-182 - (Mai 2019) *Arrière du cerf-volant.*



Figure 2-183 - (Mai 2019) *Dessus du cerf-volant.*

Une série de vols fructueux fut enfin effectué dans les champs majestueux de Saint-Mathias-sur-Richelieu, jusqu'à ce que les câbles en nylon atteignent un moment de force maximal. En s'étirant, les cordes ont rétréci et les nœuds se sont relâchés, causant un affaissement de tension dans la forme, réduisant la force de la triangulation et s'aplatissant comme une crêpe.



Figure 2-184 – Jacob Éthier (Mai 2019) *Montage sur le terrain.*



Figure 2-185 - Jacob Éthier (Mai 2019) *Sécurisation des assemblages.*



Figure 2-186 – Jacob Éthier (Mai 2019) *Séquence d'envol.*

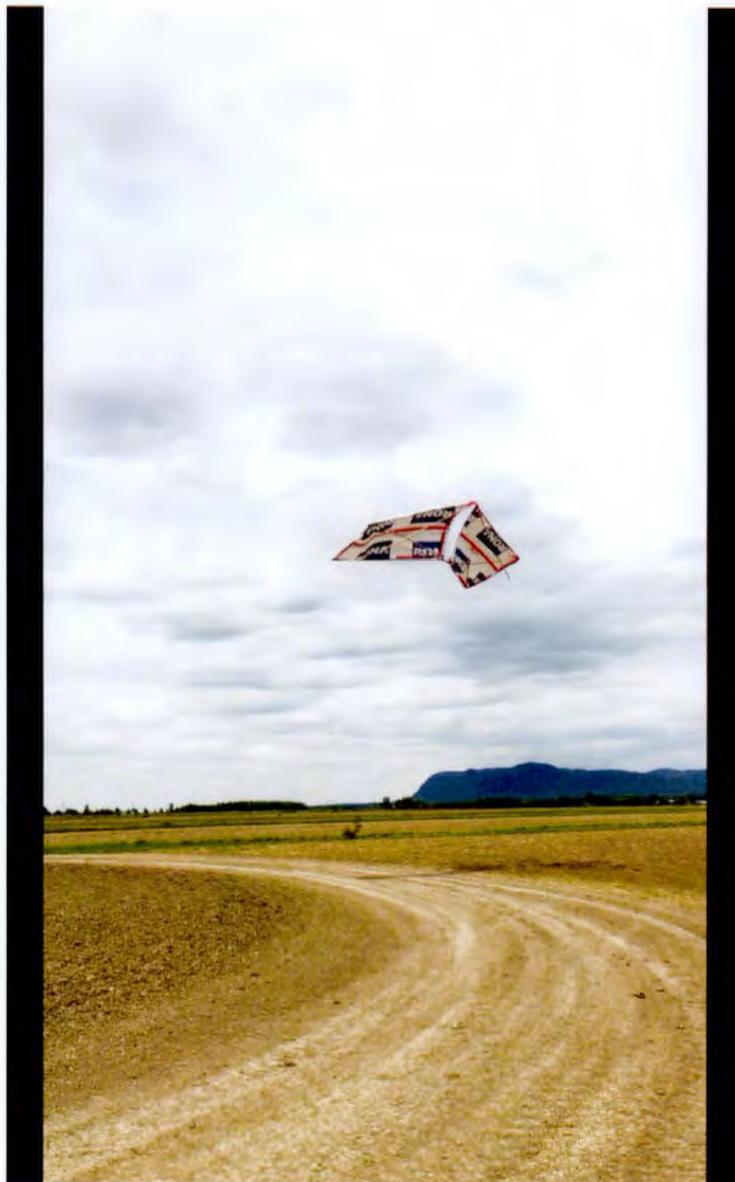


Figure 2-187 - Jacob Éthier (Mai 2019) *Photographie du vol.*

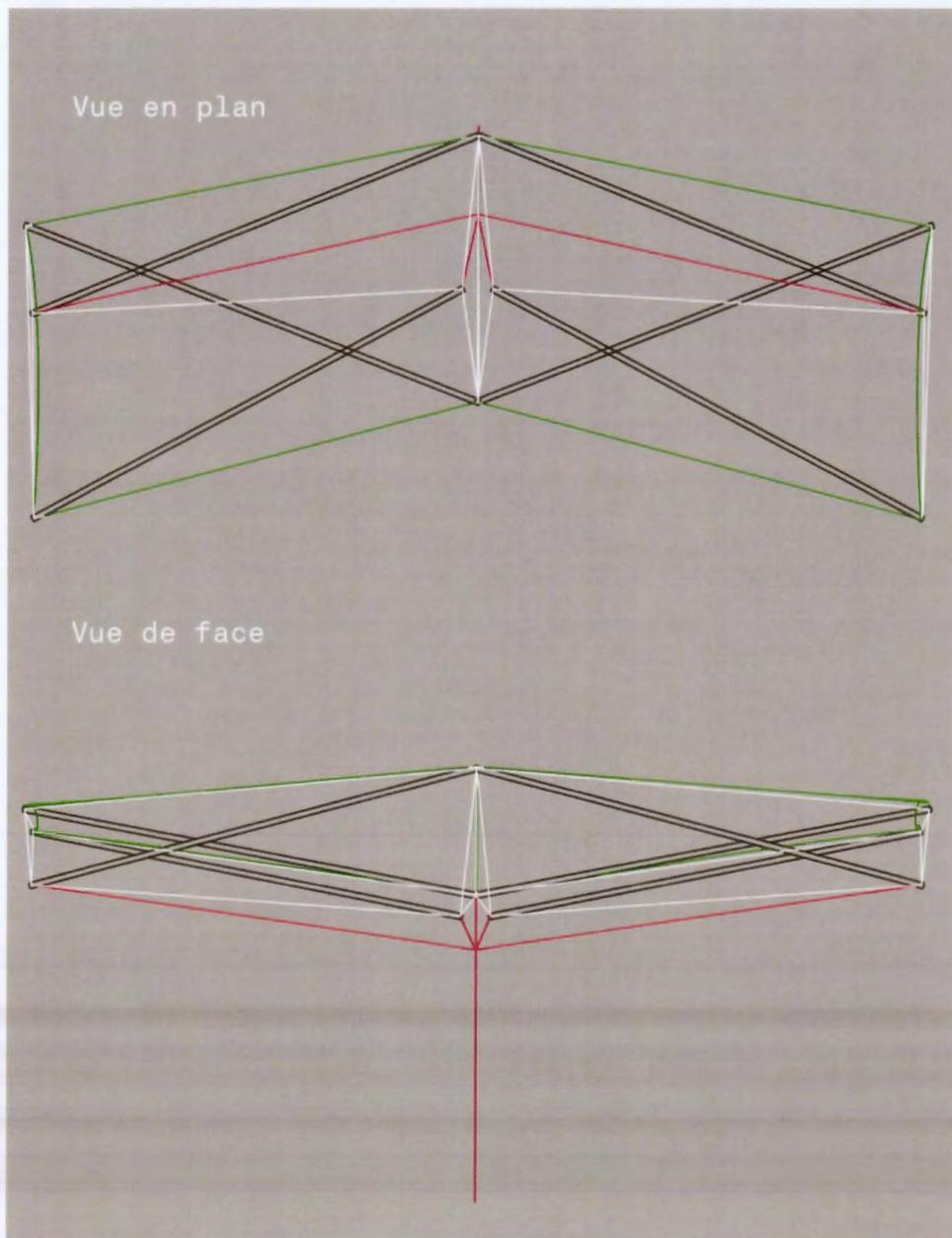


Figure 2-188 - Dessins techniques de planches de présentation : vue en plan, vue de face.

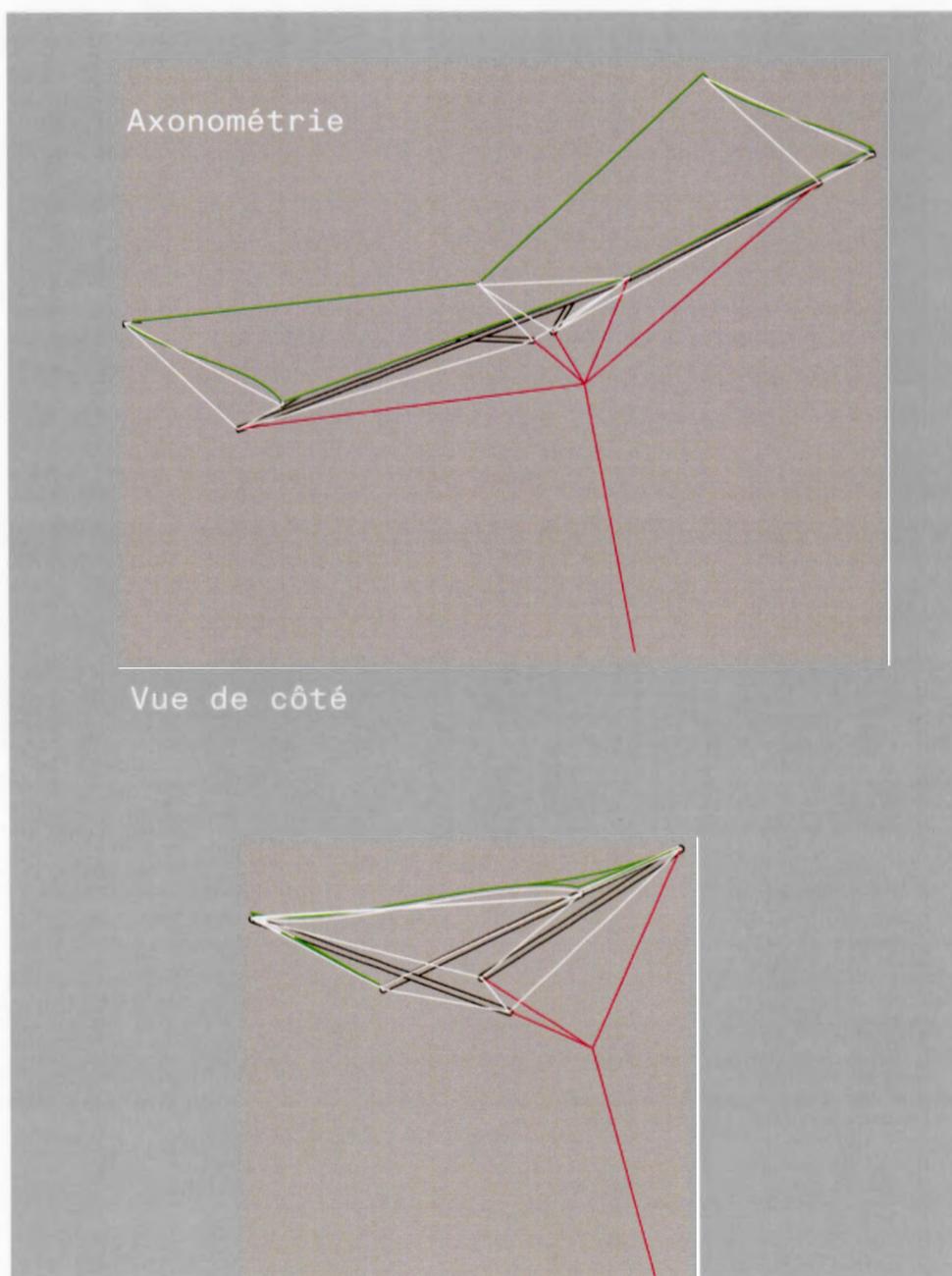


Figure 2-189 - Dessins techniques de planches de présentation : axonométrie, vue du côté droit.

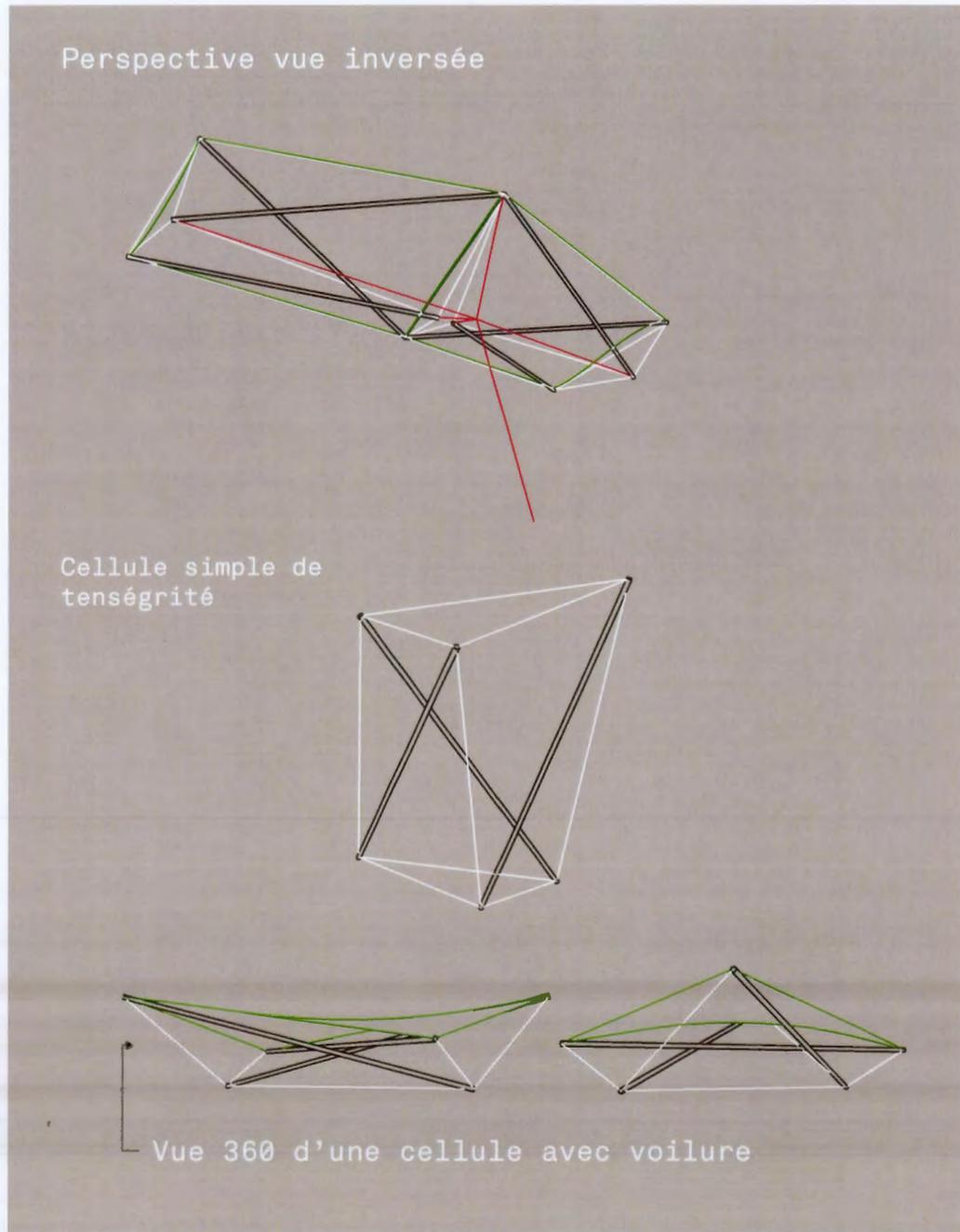


Figure 2-190 -Dessins techniques de planches de présentation : perspective inversée, cellule simple de tensegrité, vue 360 degré de la voilure.

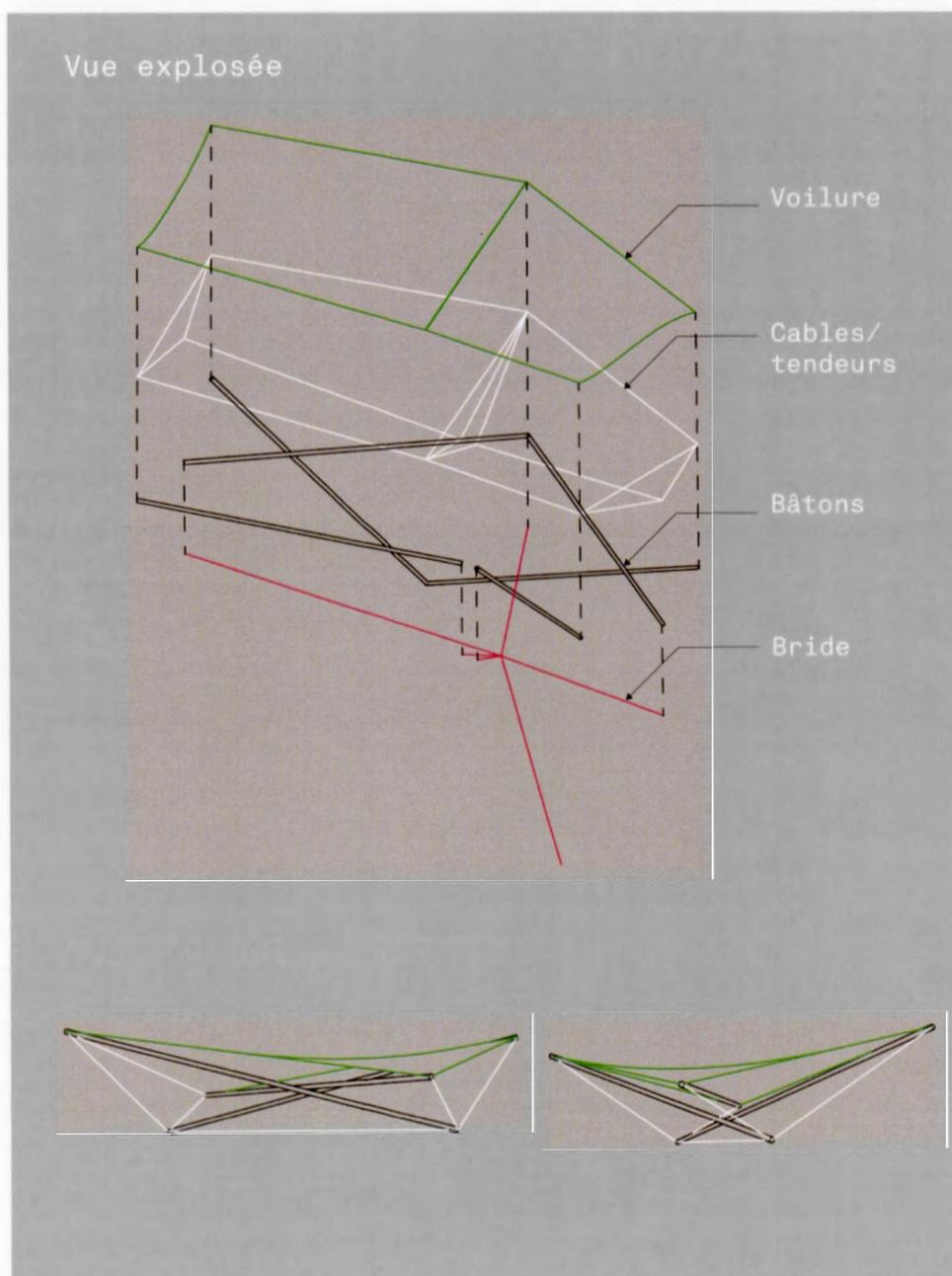


Figure 2-191 - Dessins techniques de planches de présentation : vue explosée, vue 360 degrés de la voilure.

CONCLUSION

Le moteur de cette recherche-création fut le plaisir de l'expérimentation et de la découverte d'un objet déterminant dans l'histoire du design : le cerf-volant.

Considérant le design comme une pratique guidée par la recherche, le projet nous a permis de passer du travail d'atelier à l'acquisition de connaissances historiques, scientifiques et techniques, de manière à faire évoluer la production de maquettes et de prototypes pour produire une proposition à la fois innovante et performante : celle d'une machine volante en tenségrité. Le projet nous a ainsi permis d'en arriver à une redéfinition et à une interprétation nouvelle du cerf-volant, inspirées par les hypothèses d'une série de créateurs déterminants tant pour l'importance de leurs découvertes scientifiques que pour leurs intuitions techniques et esthétiques.

L'image du philosophe Ludwig Wittgenstein fabriquant un cerf-volant a servi d'impulsion au projet. Par la suite, à partir d'une recherche et de l'archivage d'une série de photographies plus inspirantes les unes que les autres, nous nous sommes consacrés à l'étude de l'oeuvre d'Alexander Graham Bell, de Charles et Ray Eames ainsi que de Richard Buckminster Fuller, Jeffrey Lindsay et Kenneth Snelson. Ce survol historique nous a mené à identifier trois attitudes ou jeux de langage marquant le cours d'un projet de design : les jeux scientifique, esthétique et technologique. Il n'est pas rare que l'on bascule de l'un à l'autre, que certaines étapes du projet soient marquées par un intérêt et des intuitions esthétiques, qu'en parallèle se mettent en place des connaissances et des objectifs scientifiques, ceci avec en arrière-fond une préoccupation constante pour tester des concepts, appliquer des règles de construction, nous amenant à faire des choix de forme et de structure, en dessinant et en construisant des maquettes et des prototypes. D'une part, ces activités peuvent être distinguées sans pour autant que nous ayons à les cloisonner, ni à les hiérarchiser. D'autre part, ces manières de faire, autrement dit ces jeux, sont structurés sans qu'il nous soit nécessaire d'en arriver à produire un système théorique. Ils servent au

mieux à guider, dans la pratique, la prise de décisions et nous incitent par là à raffiner notre jugement.

John Dewey a soulevé avec pertinence l'interdépendance de ces jeux où s'entremêlent l'intellect qui donne un sens au projet, les émotions qui nous permettent d'appréhender l'ensemble des enjeux, et la pratique qui nous engage à constamment corriger, ajuster nos propositions, vers une solution de plus en plus satisfaisante. Nous avons cherché à représenter cette interdépendance par un schéma en tenségrité où les trois jeux sont reliés les uns aux autres en montrant comment ils interagissent en tension dans un projet. Il est intéressant de voir comment cette distinction rappelle celle faite par le philosophe Charles Morris, professeur au New Bauhaus à Chicago dans les années 1930. Dans son article intitulée « Science, Art and Technology », il décrit ces trois types d'activités ou de discours dont les objectifs sont différents, tout en montrant comment ils sont difficiles à distinguer dans le cours d'un projet de design.¹¹³

Nous avons cherché à développer une meilleure compréhension des différents usages du cerf-volant dans l'histoire et à produire une série d'hypothèses formelles que nous avons mises à l'épreuve tout au long du projet. Il s'agissait alors d'évaluer la justesse ou la validité des dessins, maquettes et prototypes, un peu comme lorsque l'on cherche le bon mot pour exprimer une idée. Nous avons voulu souligner l'importance de ce travail pratique en l'indiquant dans le titre du mémoire. Il est pour cela important de préciser que, parmi les trois jeux mentionnés, le jeu technologique s'est avéré dominant dans ce projet. La construction d'un cerf-volant a permis de tester un bassin de connaissances reliées à la tenségrité, ce qui a fait avancer la réflexion entourant le cerf-volant en offrant une application particulière de ces principes en échos aux travaux les plus influents dans l'histoire des cerfs-volants. Par exemple, la

¹¹³ Morris, Charles W. (1939) Science, Art and Technology, The Kenyon Review, Vol. 1, No. 4, pp. 409-423 Kenyon College

conceptualisation d'une cellule en tensegrité a aidé à définir des possibilités pratiques pour la réalisation d'une aile, créant un couloir qui permet la circulation du vent. Cette innovation, certes modeste, qui s'inscrit dans le jeu de l'usage et de l'application, nous a mené à une nouvelle proposition qui participe à la définition de l'objet cerf-volant.

Il faut toutefois noter les limites de notre *fabrication de cerfs-volants*, qui est avant tout une démarche de mise en action mettant l'accent sur la pratique en design. Il aurait été possible de faire l'étude des performances des cerfs-volants à l'aide de calcul et de logiciel et ainsi de traiter en profondeur les principes aéronautiques, de chercher à construire un cerf-volant performant ou séduisant dans tel ou tel contexte, scientifique ou artistique. Une recherche relevant de l'ingénierie par exemple aurait nécessité la maîtrise des calculs et des modélisations informatiques et nous aurait amené au-delà du champ de compétence de ce mémoire. Il nous a fallu limiter l'échelle du projet et l'adapter à son objectif qui était de mieux saisir l'importance de l'expérimentation et de la compréhension des usages du cerf-volant. Le résultat auquel nous sommes arrivés est satisfaisant même s'il est clair que notre entreprise pourrait se poursuivre tant sur le plan scientifique qu'esthétique ou technologique. Les suites de notre projet pourraient enfin suivre des pistes de réflexion sur la préfabrication. Il serait possible de voir la continuité de cette recherche dans une réflexion sur les assemblages in situ, sur l'architecture des structures légères, etc.

En définitive, ce mémoire de recherche-crédation se réclame du pragmatisme au sens le plus fondamental : la recherche a placé l'usage au centre de ses préoccupations et, par la production de maquettes et de prototypes, a veillé à mettre à l'épreuve une série d'hypothèses. Elle nous a aussi permis de consolider des connaissances historiques et techniques contribuant à la construction d'un cerf-volant novateur par sa structure et élégant par l'harmonie des formes. En jetant les bases d'une recherche par le projet, ce mémoire clarifie en la rendant consciente une méthode qui, sans que les objectifs ne soient précisément posés à l'avance, nous a permis d'avancer ... et de voler !

BIBLIOGRAPHIE

- Aristote, traduction de Tricot, J. (1959).. *Éthique à Nicomaque* (Bibliothèque des textes philosophiques). Paris: J. Vrin. p.131 (1139b - 1140a)
- Bell, Alexander G. « The Tetrahedral Principle in Kite Structure » *National Geographic*. Juin, 1903 Vol. XIV No.6 p 221
- Berger, Estelle. (2014) « La démarche design, entre projet et expérience. Une poïétique qui hybride penser et faire », *Communication & Organisation*, vol. 46, no. 2, , pp. 33-42. p.35
- Brodovitch, Alexey (1950) *Charles Eames : Portfolio a magazine for the graphic arts*. No.2. George S Rosenthal (Ed.); Cincinnati Zebra Press)
- Burkhardt. Robert (2007) *A Technology for Designing tensegrity Dome and Spheres*. Récupéré de <http://bobwb.tripod.com/prospect/prospect.htm#sec:trusstech>
- Case Study House for 1949 (1949) *Arts and architecture*. (décembre.) p.26-40
- Cometi. J.P.(2007) «L'art, l'architecture et le paysage» Dans C. Poisson(dir.), *Penser, dessiner, construire : Wittgenstein et l'architecture*. Quercy : Éditions de l'éclat. p.166
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (s. d.) *Lexicographie : Pratique*. Récupéré de <http://www.cnrtl.fr/definition/pratique>
- Crosse, John. (2011) *Southern California Architectural History*. Récupéré de <https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html>
- Dewey, John. (2005) *L'art comme expérience*, Farrago.
- Dewey. J.. (1949) *Experience and éducation*. New York : The Macmillan company.
- Eames Foundation (s. d.) *History*. Récupéré le 15 avril 2019 de <https://eamesfoundation.org/house/history/>
- Eames, Charles,. (1972) *Design Q&A*. Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/design-q-a/>
- Eames, Charles, (s.d.) *Kites*. Eames Office Official Site Récupéré de <http://www.eamesoffice.com/the-work/charles-eames-kite-collage/>

- Findeli, Alain.(2015) La recherche-projet en design et la question de la question de recherche : essai de clarification conceptuelle, *Sciences du Design*, vol. 1, no. 1, pp. 45-57.
- Friedman, K (2008) «Research into, by and for design» in *Journal of Visual Arts Practice* Volume 7 number 2. Intellect LTD p153-160A.
- G. Sterrett, Susan. (2005) *Wittgenstein flies a kite : A story of models of Wings and Model of the World*. London: Penguin Books (Pi Press)
- Heartney, Eleanor, *Kenneth Snelson : Forces made Visible / essay by Eleamor Heartney*. Hard press Editions 2009 p.20
- Jones PB et Eamon C, (2007) *Modern architecture through case studies 1945-1990*, Elsevier, p. 10-23
- Latraverse, François. (2012). Jeux de langage et pragmatisme. *Recherches sémiotiques*, 32(1-2-3), 225–246. doi:10.7202/1027780ar. p. 225
- Latraverse, F. (2013). La représentation diagrammatique chez Peirce et Wittgenstein : quelques remarques sur une ressemblance de famille. *Recherches sémiotiques*, 33(1-2-3), 63–80. doi:10.7202/1035284ar. P.74
- Latraverse, F.. (2007) «Architecture et Langage» Dans C. Poisson(dir.), *Penser, dessiner, construire : Wittgenstein et l'architecture* Quercy : Éditions de l'éclat P.86
- Latraverse, F. (2002) « Signe, proposition, situation: éléments pour une lecture du tractatus logicophilosophicus », *Revue internationale de philosophie* 2002/1 (n°219), p. 125-140.
- Lefebvre. P (2016) «*Tracer des reprises du pragmatisme en architecture (1990-2010) : Penser l'engagement des architectes avec le réel.*» (Thèse de doctorat) Faculté d'architecture La Cambre Horta. P.125
- Life in a Chinese Kite (1950) *Architectural Forum*. (Septembre). Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF> p.90
- Lindsay, Jeffrey. (1957) Space frame and structural physics. *Arts and Architecture*. 17-19, juillet 1957. <http://www.artsandarchitecture.com/>
- Lysianne Léchoth-Hirt, «recherche création en design à plein régime : un constat , un manifeste, un programme», *Science du Design* 2015/1 (no.1), P.37-44 P.42
- McAtee, Cammie., Carbone, Carlo. et Legault, Réjean. (2017) Montréal et le rêve géodésique : Jeffrey Lindsay et la Fuller Research Foundation Canadian Division. Dalhousie Architectural Press.
- McGuinness, Brian. (1991) Wittgenstein: Les année de jeunesses. 1889-1921. Editions le seuil. Paris

- Maldonado, Tomas (1972) *Environnement et idéologie : Vers une écologie critique* : 10/18 Union générale d'édition.
- Marion, M. (2007) «Métaphysique, style et expression» Dans C. Poisson(dir.), *Penser, dessiner, construire : Wittgenstein et l'architecture* Quercy : Éditions de l'éclat p.124
- Morris, Charles W. (1939) *Science, Art and Technology*, The Kenyon Review, Vol. 1, No. 4, pp. 409-423 Published by: Kenyon College
- Newman, Lee Scott et Jay Hartley Newman. *Le livre des Cerfs-volants* Éditions de l'étincelle, Montréal. 210 p. P.1
- Otto, Frei. (1969) *Tensile Structures* :volume two. M.I.T. Press.
- Pars, Marcelo. (s. d.) Tensegrity. Récupéré de <http://www.tensegriteit.nl/> [Consulté le 29 août 2019]
- Peirce, Charles S.. (1879), *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*, T. 7 pp.39-57.p.48
- Peirce, Charles S.. (1879) « Comment rendre nos idées claires » Dans *La logique de la science deuxième partie*.Revue philosophique de la France et de l'étranger [0035-3833] Peirce yr:1879 vol:7 pg:39 -57
- Peirce, Charles S.. « Comment se fixe la croyance. » Dans *La logique de la science première partie*. *Revue philosophique de la France et de l'étranger* 6 (1878): 553-569.
- Pelham, David. (1976)*The penguin Book of kites*. Londres : Penguin books. p.227
- Poisson, C. (Octobre 2015) *Design et pragmatisme* Communication présentée à TRANSFORMER, INNOVER, DÉRÈGLER : Les atelier de la recherche en design, Université de Montréal.
- Poisson, C. (2010). Architecture et continuité : Loos, Wittgenstein, Peirce. *Recherches sémiotiques / Semiotic Inquiry*, 30 (1-2-3), 165–178. DOI : <https://doi.org/10.7202/1025931ar>
- Reynolds, Katherine C. *Progressive Ideals and Experimental Higher Education: The Example of John Dewey and Black Mountain College*. Published by: Purdue University Press *Education and Culture*, Vol. 14, No. 1 (Spring, 1997), pp. 1-9 p.5
- Schön. D. (1992) «Theory of Inquiry: Dewey's Legacy to Education» . *Curriculum Inquiry*, Vol. 22, No. 2, p.122
- Snelson, Kenneth. (2012) The art of tensegrity . *International Journal of Space Structures Vol. 27 No. 2&3 2012*
- St John Wilson, C. (1992) *Architectural reflexion : studies in the philosophy and*

practice of architecture. Oxford :Butterworth-Heinemann Ltd

- Rigal, E. (2003) « Au commencement était l'action : Wittgenstein et Husserl », *Noesis*, 5, 153-185.
- The Pomona Progress bulletin, Pomona's Neighbors, Wednesday Evening, february 26, 1958
- Vial, Stéphane. (2015). De la spécificité du projet en design : une démonstration. *Communication & et Organisation n° 46*. Presses Universitaire de Bordeaux, 2015 p. 17-32. P.26
- Vial, Stéphane. (2015) Le projet en design et sa méthode , Stéphane Vial éd., *Le design*. Presses Universitaires de France, pp. 80-106.
- Vial, Stéphane (2015) Qu'est-ce que la recherche en design? Introduction aux sciences du design. *Sciences du Design (n° 1)*, pages 22 à 36
- Wittgenstein, Ludwig. (2005) *Recherche philosophiques* (F.Dastur, M. Elie, J-L Gautero, D. Janicaud, E. Rigal, trad.). Collection Tel (No. 404), Paris : Gallimard.
- Wittgenstein, Ludwig. (1997) *Dictées de Wittgenstein*. Paris : Presses Universitaires de France
- Wittgenstein, Ludwig. (1993)*Tractatus Logico-Philosophicus* Gilles-Gaston Granger, trad.) Tel Gallimard
- Wittgenstein, Ludwig. (2006) *De la certitude* (Moyal-Sharrock, D. trad.). Paris : Gallimard.
- Wittgenstein, Ludwig. (1971) *Fiches*. (J. Fauve, trad.), Paris : Gallimard.
- Wittgenstein, Ludwig. (1980) *Grammaire philosophique*. s.l.: Gallimard PP.640
- Wittgenstein, Ludwig. (2005) « Wesen der Hypothese » *The Big Typescript Ts 213*
Copyright 2005 by the trustees of the Wittgenstein Estate
- Wittgenstein, Ludwig. (2002) *Remarques mêlées*, GF Flammarion.
- Wittgenstein, Ludwig. (2001) « Conférence sur l'éthique » Dans *Philosophica* : Tome 3. Éditions TER,
- Wittgenstein, Ludwig, Waismann, Friedrich. McGuinness, Brian. (1991) *Wittgenstein et le cercle de vienne*. (TER bilingue)
- Zinguer, Tamar. (2006) *Architectural in play : Intimations of modernism in architectural Toys, 1836-1952*. Thèse de doctorat. Princeton University. Dissertation Abstracts International vol.67 no.4. pp. 198

RÉFÉRENCES DES ILLUSTRATIONS

- Figure 2-1. Auteur non identifié. (date inconnue) *Rassemblement japonais*.
 [Illustration] AEROHISTORY. Récupéré de
<http://aerohistory.org/Histoire/Legende.html> 22
- Figure 2-2 – Hokusai. (date inconnue) *Minamoto-no-Tametomo's son* [Impression] 23
- Figure 2-3 – Auteur non identifié (19e siècle) *Early aerial invasion*. Japanese kite-borne archer [Impression] David Pelham 1976, Penguin Books 23
- Figure 2-4 -Bob Maysmor. (2006) Birman Kite [Photographie] Récupéré de
<http://www.TeAra.govt.nz/en/object/5284/birdman-kite> 24
- Figure 2-5 - Auteur non identifié (date inconnue) Fishing kites from the Solomons and Dobu. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books 24
- Figure 2-6- Hass, A. (2007) Santiago Sacatepequez Kite Festival [photographie] 25
- Figure 2-7 – John Bates (1634) *The mysteries of nature and art*. [Page couverture] Récupéré de <https://publicdomainreview.org/2011/11/28/the-mysteries-of-nature-and-art/> 26
- Figure 2-8 John Bates (1634) *A fiery drake or lozenge kite used for lofting fireworks from Mysteries of Nature and Art*. [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books 26
- Figure 2-9 – Pibaraud and L. Guiguet (1752) *Franklin Kite Experiment* [Gravure] David Pelham 1976, Penguin Books 27
- Figure 2-10 - Charles Bayliss, (1894), *Hargrave and Swain demonstrate how the man-lift was achieved* [Photographie] Récupéré de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hargrave-demo.jpg> 28
- Figure 2-11 – Museum of Applied Arts and Sciences (1969) *Model box kite, reproduction two cell, wood / cotton calico / string, designed by Lawrence Hargrave 1893* [Photographie] Récupéré de <https://collection.maas.museum/object/253099> 29
- Figure 2-12 - Royal Aeronautical Society (date inconnue) Lawrence Hargrave's extensive experiments with both dihedral and cellular configurations. Materials used ranged from tin sheet to redwood veneer, 1893. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books 29
- Figure 2-13 – Auteur non identifié (1896) *Lawrence Hargrave lifted sixteen feet from the ground by a tandem of his box kites*. [Illustration] *McClure's Magazine* Récupéré de

- https://en.wikipedia.org/wiki/Lawrence_Hargrave#/media/File:McCluresMagazineHargraveLifted16Feet.jpg 30
- Figure 2-14 – Royal aeronautical Society (Date inconnue) *Single-celled, reflex curved aerofoil kite by lawrence Hargrave*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 30
- Figure 2-15 - Auteur non identifié (1903) *Cody makes an ascent during admiralty trials, Spithead*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 31
- Figure 2-16 - Percy B. Walker. (1905) *Cody's man-carrying biplane glider-kite*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 32
- Figure 2-17 - Royal Aircraft Establishment (1909) *A heroic portrait of Cody at the controls of his British Army Aeroplane, at Laffan's Plain*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 33
- Figure 2-18 - Auteur non identifié (Date inconnue) *A train of Captain Madiot's man-lifters on trials*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 33
- Figure 2-19 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Madiot's kite: barrelled spars were force-fitted into a central boss, and the whole unit was held together under tension*. [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books. 34
- Figure 2-20 - Auteur non identifié (1909) *Captain Sacconey's man-lifting system, undergoing trials*. [Photographie] Musée de l'air & David Pelham 1976, Penguin books 34
- Figure 2-21 - Auteur non identifié (1909) *Departing on a high altitude attempt under a train of Sacconneys*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin books 35
- Figure 2-22 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Saconney's man-lifting kite*. [Photographie] Service historique de l'armée de l'air & David Pelham 1976, Penguin books 35
- Figure 2-23 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Gibson Kite Instruction* [Illustration] Récupéré de <https://billboyheritagesurvey.wordpress.com/2012/01/17/war-kite-the-gibson-girl-kites/> 36
- Figure 2-24 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Gibson Kite Instructions* [Illustration] Récupéré de <https://billboyheritagesurvey.wordpress.com/2012/01/17/war-kite-the-gibson-girl-kites/> 37
- Figure 2-25 - Paul Hilder (Date inconnue) *Gibson-girl box kite with assembly instruction printed upon foward cell*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin books 37
- Figure 2-26 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Sauls Barrage Kite* [Photographie] Récupéré de <http://robroy.dyndns.info/targetkites/Sauls/barrage.html> 38
- Figure 2-27 - Hosea C. Sauls (1943) *Design for a Collapsible Kite. Serial no. 110,219* [Brevet] Récupéré de <http://robroy.dyndns.info/targetkites/Sauls/barrage.html> 38

- Figure 2-28 – George R. Lawrence (1906) *San Francisco in Ruin*. Panoramic photographs, Library of Congress. Récupéré de https://en.wikipedia.org/wiki/File:San_Francisco_in_ruin_edit2.jpg 39
- Figure 2-29 Auteur non identifié (1900) *Patent drawing of Eddy's kite* [Illustration] David Pelham 1976, Penguin Books. 39
- Figure 2-30 – Auteur non identifié (Date inconnue) Marconi's assistant G.S. Kemp with one of the Levitor kites used for aerial elevation in Marconi's early experiments. G.E.C. Marconi Electronis Ltd. 40
- Figure 2-31 - Auteur non identifié (1901) *Kite Aerial, Signal Hill*. G.E.C. Marconi Electronis Ltd. Récupéré de <https://www.heritage.nf.ca/articles/society/marconi-guglielmo.php> 40
- Figure 2-32 - Carl Kassner (1891) *Muehlenberg Derwitz* Récupéré de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MuehlenbergDerwitz.jpg#/media/Fichier:MuehlenbergDerwitz.jpg> 41
- Figure 2-33 - Auteur non identifié (1901) *Aircraft flown at Kitty Hawk*. Récupéré de <https://wright.nasa.gov/airplane/kite00.html> 42
- Figure 2-34 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Francis Rogallo* Récupéré de <http://www.wikidelta.com/histoire/662-lhistoire-selon-f-rogallo> 43
- Figure 2-35 – Auteur non identifié (Date inconnue) *Francis Rogallo* Récupéré de <http://www.wikidelta.com/histoire/662-lhistoire-selon-f-rogallo> 43
- Figure 2-36 – Francis Rogallo (1951) *Flexible Kite Serial No.61 702* [Brevet] Récupéré de <https://patents.google.com/patent/US2546078?q=flexible+kite> 44
- Figure 2-37 – North American Dynamics, Inc. (date inconnue) Récupéré de <http://naaero.com/wp/jalbert-parafoil/> 45
- Figure 2-38 – Harri Peccinoti (Date inconnue) *Giant Parafoil, being flown during trimming of shroud lines*. [Photographie] David Pelham 1976, Penguin Books. 45
- Figure 2-39 – Domina C. Jalbert (1968) *Multi-cell Wing Type Aerial Device Serial No.400 734*[Brevet] récupéré de <https://patents.google.com/patent/US3285546A/en?q=multi&q=cell&q=wing&q=multi+cell+wing> 46
- Figure 2-40 – Alexander Graham Bell (1903) *Hargrave Box kite*, The National Geographic Magazine. 47
- Figure 2-41 - Alexander Graham Bell (1903) *Triangular Box kite*. The National Geographic Magazine. 48
- Figure 2-42 - Alexander Graham Bell (1903) *Figure sans titre représentant l'agencement en triangle*, The National Geographic Magazine. 49
- Figure 2-43 - Alexander Graham Bell (1903) *Compound Triangular Kite*, The National Geographic Magazine. 49
- Figure 2-44 - Alexander Graham Bell (1903) *A. A triangular cell, B. A winged tetrahedral Cell*, The National Geographic Magazine. 50
- Figure 2-45 - Alexander Graham Bell (1903) *Winged tetrahedral Cells*, The National Geographic Magazine. 50

- Figure 2-46 - Alexander Graham Bell (1903) *Four Celled Tetrahedral Kite*, The National Geographic Magazine. 51
- Figure 2-47 - Alexander Graham Bell (1902) *The Aerodrome kitel*, The National Geographic Magazine. 51
- Figure 2-48 - Alexander Graham Bell (1902), [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/kite.html> 52
- Figure 2-49 - Alexander Graham Bell (1903) *Kite "Siamese Twins" Seen from the Frost*, [Photographie] The National Geographic Magazine 53
- Figure 2-50 - Auteur non identifié (1912) *Cygnets III*, [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html> 53
- Figure 2-51 - Auteur non identifié (1904) *Frost King*. [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/kite.html> 54
- Figure 2-52 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate IV: 1. Tetrahedral cell Employed in making the framework of the wind-break. 2,3 and 4 The wind-break in process of construction*. [Photographies] The National Geographic Magazine 55
- Figure 2-53 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate V: Wind-break completed, showing canvas rolled down. 2. Wind-break showing canvas raised 3. End view of wind-break. 4. Model of the framework for a tetrahedral house. 5. Tetrahedral nuts for fastening tetrahedral frames together*. [Photographies] The National Geographic Magazine 56
- Figure 2-54 - Alexander Graham Bell (1903) *Plate VI: 1. The observation-house where the kite experiments are observed and noted. The house itself is of the tetrahedral form. 2. Front view of winged boat, the framework of which is constructed of tetrahedral cells. 3. Another view of the winged boat. 4. The winged boat in the air*. [Photographies] The National Geographic Magazine 57
- Figure 2-55 - Alexander Graham Bell (1907) Head-on front view of four unidentified men standing on a tetrahedral beam supported on sawhorses; part of Alexander Graham Bell's tetrahedral kite experiments of 1907. [Photographie] Récupéré de <https://airandspace.si.edu/collection-objects/bell-alexander-graham-tetrahedral-kite-experiments-1907-photograph-1> 57
- Figure 2-56 - Alexander Graham Bell (1907) *Bell's tower* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html> 58
- Figure 2-57 - Alexander Graham Bell (1907) *Photo sans titre* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html> 58
- Figure 2-58 - Alexander Graham Bell (1907) *Photo sans titre* [Photographie] Récupéré de <http://www.aerohistory.org/Bell/aeronautical.html> 59
- Figure 2-59 - Museum of Modern Art (1941) *Eames MoMA Chair* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/organic-chair/> 62
- Figure 2-60 - Auteur non identifié (Date inconnue) *Eames House* [Photographie] Récupéré de <https://eamesfoundation.org/> 63
- Figure 2-61 - Auteur non identifié (1951) *Kwikset* [Photographie] Eames Office. Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-kwikset-house/> 64

- Figure 2-62 - Architectural forum (1950) [Page couverture] Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF> 65
- Figure 2-63 - Architectural forum (1950) *Life in a Chinese Kite* [Première page de l'article] Récupéré de <http://www.usmodernist.org/AF/AF-1950-09.PDF> 65
- Figure 2-64 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture 67
- Figure 2-65 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture 67
- Figure 2-66 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture 68
- Figure 2-67 - Jay Connor (1949) *View From the northwest above the retaining wall looking toward the ocean.* [Photographie] Arts and Architecture 69
- Figure 2-68 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture 69
- Figure 2-69 - Jay Connor (1949) [Photographie] Arts and Architecture 70
- Figure 2-70 - Eames Office (1952) *House of Cards* [Illustration] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/house-of-cards-2/> 71
- Figure 2-71 - Eames Offices (1952) [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/house-of-cards-2/> 71
- Figure 2-72 - Auteur non identifié (1950) *Ray Eames with an early prototype of The Toy* [Photographie] Récupéré de <https://www.welt.de/img/icon/mobile169166449/4697936007-coriginal-w1200/35-Ray-Eames-with-an-early-prototype-of-The-Toy-in-the-patio-of.jpg> 72
- Figure 2-73 - Eames Office (1952) [Illustration] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/> 72
- Figure 2-74 - Eames Office (1951) *The Toy* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/> 73
- Figure 2-75 - Eames Office (1951) *The Toy* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/the-toy/> 73
- Figure 2-76 - Eames Office (1950) *Kite* [Photographie] <https://www.eamesoffice.com/the-work/charles-eames-kite-collage/> 74
- Figure 2-77 - Charles Eames (1950) *Page couverture du magazine Portfolio* [Photographie] Portfolio Magazine no.2, Zebra press. Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/474/portfolio-eames-article-page1.jpg> 75
- Figure 2-78 - Charles Eames (1950) *Design for a kite* [Collage] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/482/portfolio-eames-article-page9.jpg> 76
- Figure 2-79 - Charles and Ray Eames (1950) [Illustration] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press. Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/479/portfolio-eames-article-page6.jpg> 77
- Figure 2-80 - Charles And Ray Eames (1950) [Photographies] Portfolio Magazine no.2 Zebra Press. Récupéré de <https://eames-media.s3.amazonaws.com/481/portfolio-eames-article-page8.jpg> 78
- Figure 2-81 - Eames Office (1957) *Solar Do-Nothing Machine* [Photographie] Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/solar-do-nothing-machine-2/> 80

- Figure 2-82 - Eames Office (1957) Solar Do-Nothing Machine [Photographie]
Récupéré de <https://www.eamesoffice.com/the-work/solar-do-nothing-machine-2/> 80
- Figure 2-83 – Auteur non identifié (1946) *Wichita House* [Photographie] Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 86
- Figure 2-84 – Auteur non identifié (1949) *Kenneth Snelson, Black Mountain College*.
[Photographie] BMC Project.org récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 87
- Figure 2-85 – Hazel Larson Archer (1948) *Fuller in his office at Black Mountain College*, [Photographie] Buckminster Fuller Institute. Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 87
- Figure 2-86 – Beaumont Newhall. (1948) *The Dome Model with Si Sillman (bending), Buckminster Fuller, Elaine de Kooning, Roger Lovelace, and Josef Albers* [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 88
- Figure 2-87 - Beaumont Newhall (1948) *The "Supine Dome" under construction* [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 88
- Figure 2-88 - Beaumont Newhall (1948) *The "Supine Dome" under construction* [Photographie] Beaumont and Nancy Newhall Estate, Scheinbaum and Russek Ltd., Santa Fe, New Mexico Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 89
- Figure 2-89 - Masato Nakagawa (1949) Fuller and class testing strength of dome, [Photographie] Black Mountain College Project. Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 89
- Figure 2-90 - Masato Nakagawa (1949)
Buckminster Fuller's students at the 1949 Summer Institute, Black Mountain College, demonstrate the lightness of the "Necklace Dome. [Photographie] Black Mountain College Project. Récupéré de
<http://digital.ncdcr.gov/cdm/singleitem/collection/p249901coll44/id/1141> 90
- Figure 2-91 – Auteur non identifié (1949) *Necklace Dome with outer plastic skin* [Photographie] Your Private Sky. Récupéré de
<https://socalarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 90

- Figure 2-92 – Auteur non identifié (1950) *Necklace Geodesic Structure (14 ft., 50 lbs.), on exhibit in the Pentagon Garden* [Photographie] Buckminster Fuller : Ideas and Integreties. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 91
- Figure 2-93 – Auteur non identifié (1950) *Geodesic dome, Montreal, December 1950*, Fuller Research Foundation, Canadian Division, Jeffrey Lindsay, Director [Photographie] Your Private Sky. Récupéré de <https://socialarchhistory.blogspot.com/2011/07/living-lightly-on-land-bernard-judges.html> 92
- Figure 2-94 – Steven Ballegeer (2009) *Simon Fraser University, Burnaby*. [Photographie] Récupéré de <https://flic.kr/p/6VqXx1> 92
- Figure 2-95 – Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) Shell truss configuration, a perfect space frame system. Complete separation of tension and compression functions with no more than three members meeting at a point. [Photographie] Arts and Architecture 93
- Figure 2-96 – Auteur non identifié (1960) *Spring St. Loft* [Photographie] Kenneth Snelson 94
- Figure 2-97 - Kenneth Snelson (1971) *Double track* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 95
- Figure 2-98 - Kenneth Snelson (1971) *Crossweave Cross* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 95
- Figure 2-99 - Kenneth Snelson (1971) *Three of Diamonds* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 95
- Figure 2-100 - Kenneth Snelson (1971) *Diagonal Double Cross* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 96
- Figure 2-101 - Kenneth Snelson (1971) *Black and White Frame* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 96
- Figure 2-102 - Kenneth Snelson (1971) *Inner Wedge* [Photographie]Récupéré de <http://kennethsnelson.net/category/sculptures/kite-frame-sculptures/> 96
- Figure 2-103 - J. R. Eyerman (1957) *Odd Kite, Art fly high at UCLA* [Photographie] Life Magazine 97
- Figure 2-104 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) 55' shell truss beam, on edge, weighs only 55 lbs. Under load, it revealed some fundamental characteristics of beams wich have contributed to more efficient structural design. [Photographie] Arts and Architecture 98
- Figure 2-105 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) *The shell truss tower, horizontal, showing configuration and structural integrity*. [Photographie] Arts and Architecture 99
- Figure 2-106 - Jeffrey Lindsay (Juillet 1957) The kite, for which there was no precedent, is an excellent example of applied structural physics. It is

- exceptionally stable and efficient in flight. [Photographie] Arts and Architecture 99
- Figure 2-107 - Auteur non identifié (entre 1950 et 1970) *Festival de cerf-volant*
[Photographie] Jeffrey Lindsay Fonds (File 5.03, Boite 5) Archives and Special
Collections University of Calgary 101
- Figure 2-108 - Auteur non identifié (26 Février 1958) *Ponoma's Neighbors Progress
Bulletin : Dymaxion kites* [Coupure de journal] Jeffrey Lindsay Fonds (File
19.39, Boite 19) Archives and Special Collections University of Calgary 101
- Figure 2-109 - *Schéma d'interdépendance* 103
- Figure 3-1 – Auteur non identifié (1908) *Ludwig Wittgenstein and William Eccles at
the kite-flying station in Glossop* [Photographie] Récupéré de
[https://rudygodinez.tumblr.com/post/69374629284/ludwig-wittgenstein-and-
william-eccles-at-the-kite-flyin](https://rudygodinez.tumblr.com/post/69374629284/ludwig-wittgenstein-and-william-eccles-at-the-kite-flyin) 108
- Figure 3-2 - Lothar Meyer (Date inconnue) *Réplique du cerf-volant de Wittgenstein
de 1,60m haut*. Récupéré de
http://www.drachenwiki.de/index.php/Wittgenstein_Drachen 110
- Figure 3-3 – Phyllida Bluemel (2016) *The Tang of Height* [Illustration] Récupéré de
<http://phyllidabluemel.co.uk/> 110
- Figure 3-4 – Auteur non identifié (2011) *Kite, based on Ludwig Wittgenstein with
William Eccles at the Kite-Flying Station in Glossop, 1910* [Photographie]
Récupéré de http://sreshtaritpremnath.com/storeys-end/gallery_view 111
- Figure 3-5 – David Pelham (1976) *Flying : Lift and Stability* [Illustration] David
Pelham 1976, Penguin Books 112
- Figure 3-6 – (Septembre 2017) Maquette de cerf-volant réalisée dans le cadre de la
reconstitution. 113
- Figure 3-7 - (Hiver 2018) Résultat de l'expérimentation de la reconstitution du cerf-
volant de Wittgesntein. 114
- Figure 3-8 - (Printemps 2018) *Maquette d'exploration du tétraèdre de Bell*. 115
- Figure 3-9 – Jean-Michel Courville (Printemps 2018) Expérimentation du modèle en
tétraèdre. 116
- Figure 3-10 – Konrad Waschman (1951) *USAF space frame Konrad Wachsmann*,
[Photographie] Récupéré de [http://bartbratke.com/portfolio_page/challenging-
the-space-frame-as-self-structuring-systems/.jpg](http://bartbratke.com/portfolio_page/challenging-the-space-frame-as-self-structuring-systems/.jpg) 117
- Figure 3-11 - Jeffrey Lindsay (Avril 1958) *Shell Truss Space Frame* [Photographies]
Art and architecture 118
- Figure 3-12 – Charles Eames, Ray Eames (Date inconnue) *The Work of Charles and
Ray Eames*, Library of Congress Récupéré de
<http://loc.gov/pictures/resource/ppmsca.05709/> 119
- Figure 3-13 - (Septembre 2018) Maquette de structure en tenségrité en forme
d'icosaèdre. 121
- Figure 3-14 - Schéma d'intégration des surfaces à l'intérieur de la forme. 122
- Figure 3-15 - Schéma d'apposition des surfaces sur l'icosaèdre. 123

Figure 3-16 - (Octobre 2018) Maquettes résultant de l'exploration sur les formes de l'icosaèdre.	123
Figure 3-17 - (Octobre 2018) Dessin de modélisation 3D des modifications possible de l'icosaèdre.	124
Figure 3-18 - Jean-Michel Courville (Octobre 2018) <i>Test de vol.</i>	124
Figure 3-19 – Jean-Michel Courville (Octobre 2018) <i>Test de vol.</i>	125
Figure 3-20 - (Octobre 2018) <i>Cellule à trois tiges.</i>	126
Figure 3-21 - Schéma explicatif d'une cellule à trois tiges	126
Figure 3-22 - (Octobre 2018) <i>Cellule à treize tiges.</i>	127
Figure 3-23 -Kenneth Snelson (1950) <i>Bead Chain X-Column</i> . Récupéré de http://kennethsnelson.net/category/sculptures/towers/	127
Figure 3-24 - (Octobre 2018) Forme en tenségrité d'icosaèdre avec indicateur des cellules.	128
Figure 3-25 – Auteur non identifié (1953) <i>Discontinuous Compression Sphere, School of Architecture, Princeton</i> [Photographie] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	129
Figure 3-26 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, explorant le principe de «forme négative» qui clos le système.	130
Figure 3-27 - (Octobre 2018) Forme à cinq bâtons, utilisant le principe de «forme négative» qui clos le système.	130
Figure 3-28 – Kenneth Snelson (2012) <i>Square and Hexwave</i> [Illustration] Kenneth Snelson. International Journal of Space Structures.	131
Figure 3-29 – Kenneth Snelson (1962) <i>Patent Drawing abandoned</i> [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html	132
Figure 3-30 - Kenneth Snelson (1962) <i>Patent Drawing abandoned</i> [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html	133
Figure 3-31 - Kenneth Snelson (1962) <i>Patent Drawing abandoned</i> [Dessin pour brevet] Robert Buckhardt, récupéré de http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html	133
Figure 3-32 - Robert Buckhardt (1961) <i>Triangle Planar Piece Model</i> [Photographie] Récupéré de http://bobwb.tripod.com/synergetics/photos/planar.html	134
Figure 3-33 - (Novembre 2018) Dessin d'analyse pour la conception d'un cerf-volant calqué sur le brevet abandonné de Snelson (voir fig 2-29).	136
Figure 3-34 - (Novembre 2018) <i>Construction des trois cellules pour le cerf-volant.</i>	136
Figure 3-35 - (Novembre 2018) <i>Assemblages des trois modules.</i>	137
Figure 3-36 – Jean-Michel Courville (Novembre 2018) <i>Test de solidité et de légèreté.</i>	137
Figure 3-37 - (Novembre 2018) <i>Installation des toiles en Tyvek.</i>	138
Figure 3-38 - (Novembre 2018) <i>Installation des toiles en Tyvec.</i>	138

Figure 3-39 - (Novembre 2018) <i>Documentation de l'expérimentation du cerf-volant.</i>	140
Figure 3-40 - (Janvier 2019) <i>Photo du cerf-volant en poutre planaire.</i>	140
Figure 3-41 - (Fevrier 2019) <i>Sketch d'inspiration d'un box kite en tenségrité.</i>	141
Figure 3-42 - (Fevrier 2019) <i>Maquette d'une hypothèse de box kite.</i>	142
Figure 3-43 - (Fevrier 2019) <i>Maquette d'une hypothèse de box kite.</i>	142
Figure 3-44 - (Fevrier 2019) <i>Maquette grande échelle d'une hypothèse de box kite.</i>	143
Figure 3-45 - (Fevrier 2019) <i>Variation d'hypothèses sur le box kite.</i>	143
Figure 3-46 - (Fevrier 2019) <i>Variation d'hypothèses sur le box kite.</i>	144
Figure 3-47 – Richard Buckminster Fuller(1962) <i>Tensegrity Patent</i> [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	145
Figure 3-48 - Richard Buckminster Fuller (1967) <i>Octahedral truss</i> [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	145
Figure 3-49 - Richard Buckminster Fuller (1967) <i>Octahedral truss</i> [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	146
Figure 3-50 - Richard Buckminster Fuller (1967) <i>Octahedral truss</i> [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	147
Figure 3-51 -Richard Buckminster Fuller (1967) <i>Octahedral truss</i> [Brevet] The artifacts of R. Buckminster Fuller a comprehensive collection of his designs and drawings, James Ward, Garland; 1st edition	147
Figure 3-52 - (Mars 2019) <i>Représentation de jonction de forme en tenségrité à l'horizontale.</i>	148
Figure 3-53 - (Avril 2019) <i>Maquette de l'agencement des cellules à l'horizontale.</i>	149
Figure 3-54 - (Avril 2019) <i>Sketch d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces, avec l'augmentation des bâtons.</i>	150
Figure 3-55 - (Avril 2019) <i>Maquette réalisée pour tester l'allongement des bâtons.</i>	151
Figure 3-56 - (Avril 2019) <i>Modèle «moth»: Maquette d'exploration sur le modèle des cellules horizontales. Hypothèses d'augmentation des surfaces.</i>	152
Figure 3-57 - (Mai 2019) <i>Maquette d'optimisation des surfaces.</i>	152
Figure 3-58 – Frei Otto (1987) <i>Modeling with soap Film.</i> [Court Métrage] The institute for Lightweight Structures. Unniversity of Stuttgart. Récupéré de https://www.youtube.com/watch?v=-IW7o25NmeA	153
Figure 3-59 – Atelier Frei Otto Warmbronn (1955) <i>Pavillon de musique à l'exposition fédérale des jardins à Kassel, Allemagne</i> [Photographie] Récupéré de https://www.lemoniteur.fr/photo/architectures-de-frei-otto-laureat-du-prix-	

pritzker-2015.570879/pavillon-de-musique-a-l-exposition-federale-des-jardins-a-kassel-allemande-1955.2	154
Figure 3-60 – <i>Forces impliqués dans la nouvelle hypothèse du cerf-volant.</i>	155
Figure 3-61 – <i>Moment de force induit par les charges de vents.</i>	155
Figure 3-62 <i>Forces induites aux membrures des cellules.</i>	156
Figure 3-63 <i>Solution proposée pour utiliser la charge vive du vent pour la mise en vol.</i>	156
Figure 3-64 <i>Vue en élévation sur la droite de l'hypothèse proposée</i>	157
Figure 3-65 <i>Schéma d'écoulement de l'air sur la voilure.</i>	157
Figure 3-66 <i>Schéma de portance.</i>	158
Figure 3-67 <i>Schéma d'écoulement de l'air de distribution de portance et de trainée induite.</i>	158
Figure 3-68 - (Mai 2019) <i>Cadre d'une cellule à plat, sans rigidité et démonté.</i>	159
Figure 3-69 - (Mai 2019) <i>Expérience de montage des cellules.</i>	159
Figure 3-70 - (Mai 2019) <i>Installation des voiles sur les cellules.</i>	160
Figure 3-71 - (Mai 2019) <i>Assemblage des ailes.</i>	160
Figure 3-72 - (Mai 2019) <i>Montage du cerf-volant en milieu contrôlé.</i>	161
Figure 3-73 - (Mai 2019) <i>Arrière du cerf-volant.</i>	161
Figure 3-74 - (Mai 2019) <i>Dessus du cerf-volant.</i>	162
Figure 3-75 – Jacob Éthier (Mai 2019) <i>Montage sur le terrain.</i>	163
Figure 3-76 - Jacob Éthier (Mai 2019) <i>Sécurisation des assemblages.</i>	163
Figure 3-77 – Jacob Éthier (Mai 2019) <i>Séquence d'envol.</i>	164
Figure 3-78 - Jacob Éthier (Mai 2019) <i>Photographie du vol.</i>	165
Figure 3-79 - <i>Dessins techniques de planches de présentation : vue en plan, vue de face.</i>	166
Figure 3-80 - <i>Dessins techniques de planches de présentation : axonométrie, vue du coté droit.</i>	167
Figure 3-81 - <i>Dessins techniques de planches de présentation : perspective inversée, cellule simple de tensegrité, vue 360 degré de la voilure.</i>	168
Figure 3-82 - <i>Dessins techniques de planches de présentation : vue explosée, vue 360 degrés de la voilure.</i>	169