



HAL
open science

Ex-plier : au delà du pli

Clément Godry

► **To cite this version:**

Clément Godry. Ex-plier : au delà du pli. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01497290

HAL Id: dumas-01497290

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01497290>

Submitted on 28 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



EX- PLIER

Au delà du pli

Clément Godry

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

EX-PLIER

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

École nationale supérieure d'architecture de Nantes
Novembre 2015 - Janvier 2017
Cracovie - Nantes

UE 84 Séminaire Architecture en Représentation
Sous la direction de :
Laurent LESCOP, Bruno SUNER, Jean-Marie Beslou

CLÉMENT GODRY

EX-PLIER

Au delà du pli

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

intro

ÉCRIRE

EFFA

CERKER

CRIRE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
DOCUMENT SCIENTIFIQUE

INTRODUCTION

ÉCRIRE, EFFACER, RÉÉCRIRE

De la feuille à la forme

L'idée est là, elle vogue sur les flots de la pensée. Elle va et elle vient au plus profond de l'âme du penseur, oscille entre l'épiphanie et le souvenir fragmenté. Elle semble glisser doucement vers l'inconscience, il *faut* la préserver. Elle qui semblait si claire et pure il y a quelques instants guide désormais les mouvements fébriles du crayon sur le papier, les impulsions de l'esprit jaillissent en bribes griffonnées. Le penseur, à l'inverse du rêveur, *se doit* de se rappeler. Il note, dessine, explique, comprend, déchire, plie, découpe, colle. Le support lui-même n'a plus que peu d'importance, l'idée y doit *s'exprimer* quelque part. Ce petit morceau de feuille représente à lui seul l'unique image d'une pensée éphémère qui semble déjà avoir rejoint les méandres du subconscient.

C'est sur ce petit bout de papier que tout est construit, empilé, archivé, les idées se côtoient, se croisent, se complètent. Alors les

introduction

pages sont au carnet ce que les immortelles Caryatides seraient au temple, gardant silencieusement l'esprit et veillant religieusement sur les pensées. Ce sont les piliers sur lesquels le penseur se repose.

Force est de constater que l'idée s'est substituée à la feuille, le fond à la forme. Feuilles, blocs, carnets, pour le penseur il s'agit là de bien plus qu'un simple médium mnémotique puisqu'elles matérialisent sa propre pensée. Et parfois même, elles sont la pensée. Des *shōji* millénaires – ou *washi*, littéralement «papier japonais», ces parois ou portes en papier de riz aux expérimentations formelles de Frank Gehry, des maisons de Shigeru Ban jusqu'aux dessins caractéristiques de Frank Lloyd Wright, le papier est pourtant utilisé sous de nombreux aspects. Qu'il soit outil de réflexion, ligne directrice d'un projet ou simple outil de brouillon que l'on griffonne, découpe, jette et oublie, il est indéniablement lié à la pratique la plus intime de l'architecture et des arts en général.

Très tôt dans l'histoire, le papier a été exploité. Sa surface uniforme et vierge, sa souplesse, sa neutralité apaisante et son silence confidentiel ont été témoins des plus grandes réflexions. Mais sa mise en forme-même fut également très vite initiée. Facile à être utilisé et surtout transformé, c'est l'un des moyens d'expression les plus primitifs, à l'image des arts du papier – si populaires au VI^e siècle en Chine – qui trouveraient leurs origines aux II^e et I^{er} siècles av. J.-C. Et si la plupart des disciplines au suffixe *-gami*, comme l'origami et le kirigami, viennent directement de la culture japonaise traditionnelle, elles se posent aujourd'hui comme les ambassadrices de pratiques millénaires, toutes aussi immortelles qu'efficaces. De ce fait, la plus grande force du papier réside sans aucun doute dans sa capacité à être *mis en forme*.

La grande diversité d'usage du papier laisse à tout un chacun une infinité de possibilités d'exploitation, dépassant le simple cadre du diptyque écriture/lecture. La mise en forme de ce matériau touche, par extension, toute méthode de création et de conception

liée de près ou de loin au pli. Et c'est exactement ce qu'entreprend cet essai, en s'intéressant non pas uniquement au papier, mais en tentant de définir le plus largement possible l'étendue et les potentialités du pliage en tant que moyen d'expression de concepts et de représentation d'idées.

Les adeptes modernes du pliage considèrent ainsi pratiquer une discipline transversale et se réfèrent souvent au terme de *Paper Engineering*. Pour eux, plier ne se résume pas qu'à la création de modèles, mais englobe tout un univers de concepts physiques, mathématiques ou géométriques aux champs d'application très vastes. Bien plus qu'un simple médium transversal, le pliage devient alors un langage à part entière, permettant l'expression tangible d'idées et de concepts, comprenant une grammaire et une syntaxe propres, permettant l'élaboration de discours construits à partir de *termes spécifiques*, de *simples mots* composants des phrases, des paragraphes, des livres.

Une pratique du pliage

Ainsi, il apparaîtra que certaines frontières disciplinaires sont très minces et poreuses. L'amalgame entre la pratique du pliage et celle de l'origami est tentant, mais il est nécessaire de comprendre que ce dernier n'est qu'une discipline parmi tant d'autres et que le pliage est une technique bien plus vaste. L'origami vise la création de modèles et de figures, le pliage n'en est jamais que le moyen. Comme le souligne d'ailleurs Paul Jackson¹, plier relève de tout autre chose que de la simple création de modèles. Un modèle n'est justement rien d'autre qu'un modèle, et il n'y a dans la pratique de l'origami rien de plus intéressant que *la façon* de réaliser ce modèle, c'est à dire le pliage en lui-même, sa transformation.

Aujourd'hui, la pratique de l'origami s'est indéniablement et très largement répandue dans le monde des travaux manuels, occupant un pan entier du *home-made*, ou par extension des *Do It Yourself*.

1_ Techniques de pliage pour les designers : Papier, plastique, métal, tissu : de la feuille à la forme. Dunod, Paris, 2011

introduction

Pourtant, sa vocation à première vue récréative masque l'intérêt plus sophistiqué de concepteurs et de chercheurs, auparavant véhiculé seulement par une poignée de passionnés au sein d'une timide sphère de références. De ce cliché répandu, la pratique conceptuelle du pliage subit un manque de mise en lumière. Un désintérêt qui ne saurait pourtant être justifié.

L'origami fait appel à une sensibilité personnelle et subjective en déployant une certaine magie, une image spectaculaire, parfois simpliste et enfantine mais tout en possédant sans aucun doute des vertus pédagogiques, ludiques voire même narratives. Les modèles se transforment alors en personnages évoluant au sein de contes et d'histoires. A la fois stimulant et enrichissant, il fut très tôt utilisé comme un médium de développement intellectuel tout à fait adapté à l'éducation des jeunes enfants. Ces idées d'éveil et de stimulation sensorielle remontent pourtant au XIXe siècle avec les concepts pédagogiques de Friedrich Fröbel, le père des *Kindergarten*².

Mais l'origami demeure encore aujourd'hui une pratique sophistiquée dont le but principal reste de donner vie à des modèles toujours plus complexes et réalistes, n'occupant qu'une part – relativement importante, certes, mais non exclusive – de la pratique moderne du pliage. S'il est difficile d'aborder l'origami sans le concept de pliage, l'inverse est tout à fait envisageable. Inévitablement, ces deux pratiques se nourrissent pourtant réciproquement de concepts, de valeurs et de références interdisciplinaires, et nous ne saurions nous priver d'un terreau aussi fertile que celui de l'origami. De plus, nombreux sont les artistes s'étant familiarisé avec le pli au travers de sa pratique, et dont les travaux s'inspirent amplement de l'art japonais, sans jamais qu'ils n'en soient techniquement qualifiables.

² Die Menschenerziehung. Keilhau-Leipzig, Wienbrack, 1826

Plier, replier, déplier, développer, étaler, étirer, étendre, incurver, tordre, détordre, courber, froisser, rabattre, coller, déchirer, recommencer.

Ainsi, notre monde est le théâtre constant d'interactions, d'éléments en confrontation qui, par le jeu de forces abstraites et invisibles façonnent notre réalité temporelle et spatiale. Le moindre de ces éléments se décompose en surfaces bidimensionnelles au sein desquelles de nombreuses singularités remarquables adviennent. Tels naissent les plis, au plus profond de la matière. Plier c'est revenir à l'essentiel, au fondamental, à l'état primitif même des choses.

« Tout l'existant s'avère impliqué, depuis le règne inerte du minéral jusqu'à ceux du vivant, végétal ou animal, où le phénomène de pliage constitue un processus fondamental de morphogénèse qui marque de son sceau bien des conformations à l'éclosion et à la vie desquelles il contribue. »

— Jean-Marie Delarue, Constructions plissées, figuration graphique et recherche structurale, rapport de recherche, ADRI École d'architecture Paris-Villemin, Paris, 1987

Il est amusant de relever à quel point tout matériau brut est à l'origine ou à une certaine étape de fabrication présenté sous forme d'une feuille plane. Carton, métal, tissu, plastique, bois, verre, etc. Ainsi même la surface d'un mur pourrait être identifiée à une feuille plissée, tordue, brisée, découpée, voire griffonné, taguée ou peinte. Le pli est le geste élémentaire le plus simple et le plus évident de la matière, à la fois accessible, rapide, dynamique, abordable. Son concept même renvoie à la transgression spatiale la plus évidente, passant de deux à trois dimensions en un seul geste. Un geste si primitif aux pourtant si nombreuses subtilités.

introduction

Ainsi, l'espace est éminemment sensible aux éléments qui en délimitent le contour et le moindre mouvement implique alors toute une chaîne d'événements intrinsèquement liés par des principes de causalité. L'architecture, la scénographie et le pliage empruntent de fait des chemins communs qui viennent tisser d'imperceptibles relations, d'incontestables corrélations dont la mise en lumière ne pourrait qu'enrichir notre rapport à l'espace.

Espace, Forme, Architecture

Chaque être sensible possède un mécanisme de pensée propre nourrit de références culturelles venant d'horizons infinis. Aucun n'utilisera les mêmes moyens pour obtenir le même résultat, c'est un fait. Le pli peut aussi bien découler d'une volonté précise qu'être le résultat fortuit d'une expérience plastique. Il peut indifféremment être la cause, la conséquence, le moyen ou l'objectif d'un projet.

A l'aube de la machine à imprimer en trois dimensions, il est encore possible d'explorer d'autres procédés pour permettre de transformer ou générer un espace, un volume, une perspective, une architecture. Même la moindre surface articulée réintègre les concepts de pliage de la matière. Aborder Espace, Forme & Architecture sous l'angle du pliage c'est aussi assimiler des valeurs transversales embrassant à la fois travail expérimental, théorique, mécanique, conceptuel.

On ne peut évidemment consentir à lister de manière exhaustive tout ce qui est pliable, mais on peut se permettre de lancer des pistes, explorer des chemins et regarder en direction d'autres disciplines. Le but de cet essai n'est autre que de proposer un regard actualisé sur la question du pliage en tentant d'en découvrir les applications et étendues les plus larges possibles.

En prenant conscience que le pliage est largement induit dans de nombreuses morphogénèses et en les comprenant, notre vision ne peut qu'en être profondément transformée. Intégrer

ses mécanismes et ses codes à notre système de pensée, c'est s'ouvrir des portes dont l'écho se répercuterait jusqu'à atteindre les instincts-mêmes du penseur.

Il serait ainsi essentiel de comprendre et définir d'abord ces principes fondamentaux, ainsi que des exemples relatifs à leur application. En découvrant *où se cache le pli*, on ne peut que tenter de porter un nouveau regard sur un procédé et des techniques si primitives et essentielles. Et tout en dessinant leurs contours, on en souligne également les limites, on en cerne les potentialités, les mécanismes.

Mais connaître *ce que l'on peut plier* est tout aussi vital. De fait, il serait intéressant d'étendre les principes du pliage en s'ouvrant aux différentes applications et expérimentations sur divers matériaux, surfaces et formes. Le pliage étant une méthode universelle de conception. De par ces deux premières parties, l'idée serait de constituer un catalogue d'idées et de concepts, mais aussi et surtout de prendre conscience de ce qu'est réellement le pli.

Enfin, se pose également la question de *l'échelle* du pliage. Une troisième et dernière partie proposerait ainsi une approche beaucoup plus expérimentale. L'idée serait donc ici de proposer un projet abordant davantage la question de l'objet ou plutôt de l'architecture pliée : peut-on parler de pliage urbain ? Jusqu'où est-il possible de plier ?



PLI

OÙ SE
CACHE
LE PLI?

DOMAINE SUPERIEUR ET ARCHITECTURE D'INTERIEUR

PARTIE I

OÙ SE CACHE LE PLI ?

Conception et pliage subjectal

Il semble établi que le pli, en sa qualité de singularité-même de la matière, soit universellement représenté partout dans le monde naturel. Depuis le monde végétal, où il témoigne des dimensions cinétiques de croissance et d'adaptation au milieu, jusqu'au monde animal il officie parfois en tant que principe physiologique de mobilité (cf. le mode de déplacement de la chenille) en passant par l'anatomie où il intervient dans l'articulation et l'évolution des corps. Mais le pli peut tout autant être expression plastique et poétique. Il apporte texture et mouvement à une surface, propose un subtil jeu d'ombre et de lumière, dessine un nouvel espace dans l'intériorité même de la matière, forme des coins et des recoins dans lesquels le regard et l'âme du rêveur peuvent se perdre indéfiniment. La rêverie *a besoin* de ces espaces, de ces accroches, de ces chemins où voyager. Il serait alors fantaisiste de prétendre pouvoir dénicher le pli partout où il se cache. Et cela briserait sans nul doute la rêverie.

où se cache le pli ?

Il est donc nécessaire de se contraindre à explorer une direction plus spécifique, il faudrait polariser notre regard. Ce qui nous intéresse plus particulièrement c'est le *pliage subjectal*, celui qui relève de la conscience et de l'être pensant, par opposition au *pliage objectal* qui n'existe qu'indépendamment de la pensée. Ainsi, dans le but d'en explorer les pratiques, il est important d'en définir les concepts fondamentaux, et c'est notamment grâce à l'ouvrage *Techniques de pliage pour les designers* de l'artiste et professeur Paul Jackson qu'il est possible de mettre en évidence différentes approches du pli selon quatre techniques principales de pliage de papier.

I.1

Les plissés simples et les assemblages de plis

I.1.a Plissés basiques

Considéré comme le pli le plus fondamental, car à la fois primitif et à la base de nombreuses opérations et compositions plus sophistiquées, le plissé divise le papier en angles ou longueurs, qu'elles soient égales ou non. Le plissé rabat une partie sur une autre, divise la surface en deux, quatre, huit, seize ou plus. Fondamentalement, il est simple, rapide et franc, et n'est ni spécifique ni technique. Il est au pliage ce que le solfège est à la musique et le mot à l'écriture, permettant la lecture, l'écriture et la composition. Même si ce sont principalement les pliages plus complexes qui nous intéressent, puisque possédant de nombreuses variations et déclinaisons, les bases d'aujourd'hui resteront les bases de demain et il est parfois important de les garder à l'esprit.

Pli [pli] n. m. (de plier ; 1190).

1. Mise en double d'un linge, d'un papier en rabattant une partie contre une autre : Les plis d'un accordéon.

— *Lexis Larousse, Dictionnaire de la langue française, Librairie Larousse, Paris 1975*

L'approche classique de la définition du pliage propose qu'une partie d'un matériau soit repliée de manière close sur elle-même et est la plus commune dans l'esprit collectif. Il s'agit là également de la plus exacte définition de ce que l'on considère ici comme un plissé. Ils sont généralement pliés selon un axe simple de rabattement et constituent la base de beaucoup de techniques de pliage. Réalisés en ensembles composés, qu'ils soient en accordéon, en couteau, en boîtes ou incrémentiels, ils ne sont généralement qu'une succession séquentielle linéaire ou radiale de plis plus ou moins espacés. Une différence rythmique ou de sens de pliage permet une variation objective de phrases narrant toutes des histoires différentes, tout en constituant une sorte de grammaire du pli.

Cette grammaire établit des règles et conventions variées aux noms empruntés à des domaines tout aussi diversifiés. Que les plis soient montagnes ou vallées, à l'image des formations géologiques, ils emportent avec eux toute une sémantique implicite. La métaphore de la vallée et de la montagne génère et articule de nombreux concepts : limite, centre, sommet, au-delà, bref un univers complet d'espaces poétisés. Mais le pli peut également se complexifier et s'organiser de manière à donner naissance à d'autres phrases et paragraphes. Il devient alors inversé, intérieur, extérieur, base carrée, base bombe à eau, rabattu etc.

Le pli organise, structure et délimite alors un espace tridimensionnel autrefois plat. A l'image des livres pop-up, nombreux sont les projets d'artistes utilisant le pli comme méthode de représentation d'un espace ou d'une architecture. Dès les années 1980, le professeur Masahiro Chatani du Tokyo Institute of Technology développa l'*Origamic Architecture* (parfois appelée *Architecture de Papier*) qui, en se basant sur des concepts traditionnels d'origami ou de kirigami, proposait des gabarits de pliage mettant en scène des modèles d'architectures et d'objets. Si à l'époque ces petites scénettes de papier blanc racontaient un monde fantaisiste animé d'ombre et de lumière, Masahiro Chatani développa au fil de quelques cinquante ouvrages et plusieurs centaines de créations

où se cache le pli ?

une véritable volonté d'enseigner aux plus jeunes. Profondément convaincu que le pliage était alors une approche transversale idéale de l'architecture, du design, des mathématiques et des arts, il ne cessa de promouvoir la discipline et de nombreux praticiens le rejoignirent, parmi lesquels Takaaki Kihara, Keiko Nakazawa ou Giovanni Russo et Ingrid Siliakus.

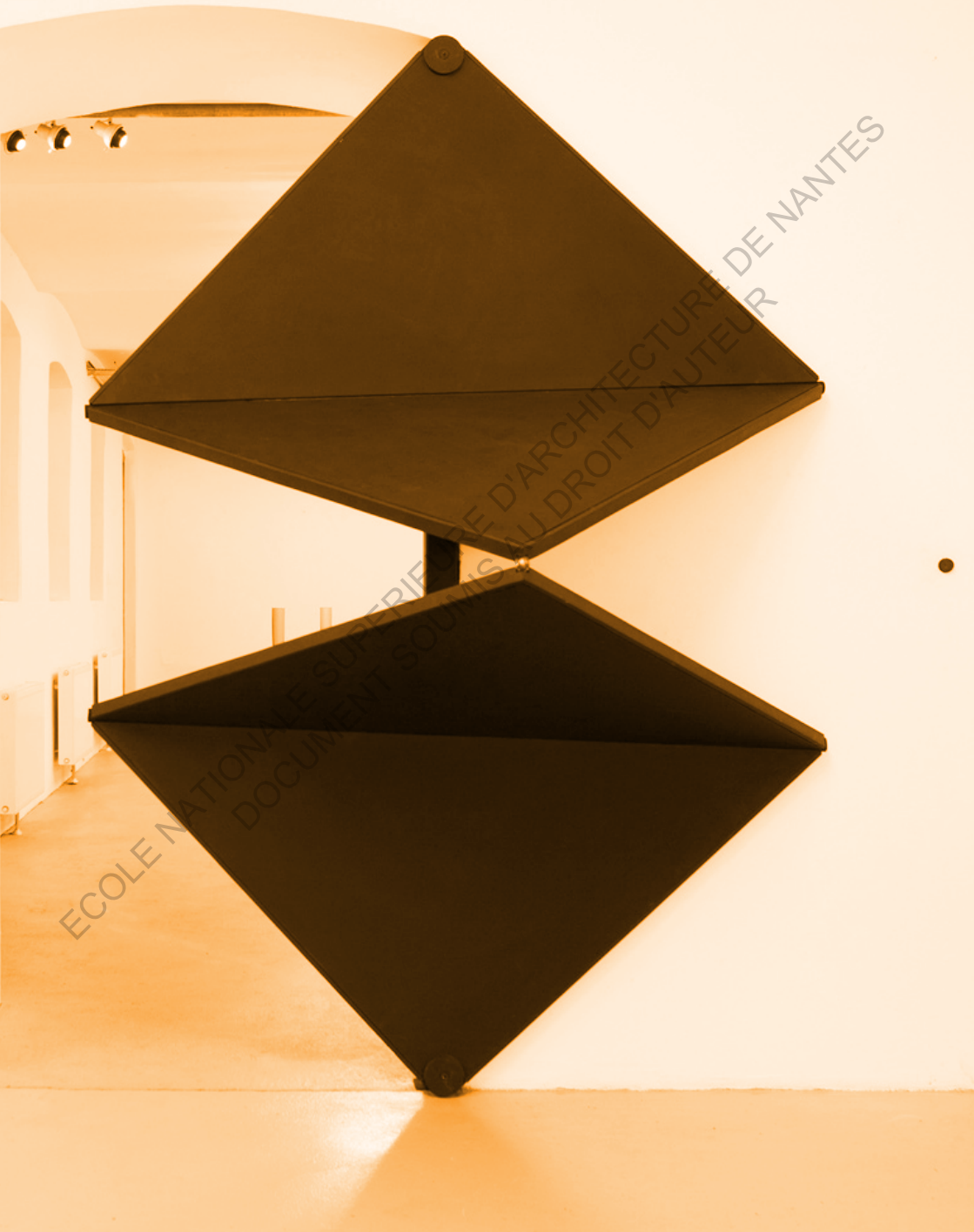
Ainsi, le pliage peut encore participer à la réinterprétation de formes architecturales. Un travail personnel, photographique et d'édition, mené sous la direction d'Eric Gouret en 2015 illustre particulièrement l'aspect de cette dimension. *PLIS / Plans Libres Isolés*, matérialisé sous la forme de deux éditions, est une réflexion sur l'angle et son contexte urbain. Des échantillons de façades d'immeubles ont été photographiés, édités, puis finalement pliés et assemblés dans un livre pop-up pour leur offrir une spatialité nouvelle, tout en se basant sur des lignes concrètes existantes, intrinsèques à l'angle. Auparavant matérialisé par une seule arête, l'angle urbain se déformait alors, se tordant et se régénérant en un objet décontextualisé, complexe et unique au fil des pages tout en transformant la représentation générale que l'on se fait de ces angles urbains en objets plus ludiques et interactifs. Dans ces quelques exemples, le pliage est resté au cœur même du processus en tant que méthode d'expérimentation et de conception, tout en devenant la force créatrice d'un paysage hors-du-commun. C'est d'ailleurs dans la continuité des problématiques de ce projet que le présent mémoire s'inscrit.

Parallèlement, il existe une infinité de projets plus concrets et à échelle habitable proposant d'explorer les possibilités des pliés, notamment lorsqu'il s'agit de mobilier. *Alphabet, la petite architecture articulée* de Marie Compagnon, forme par exemple une microarchitecture évolutive où des pièces de contreplaqué sont enveloppées et assemblées dans du feutre de laine de manière à former un motif plat, une sorte de tapis, qu'il est possible de mettre en volume et transformer soi-même. Le pli se transforme alors en outil, en méthode d'interaction spatiale. Évoluant ainsi en trois dimensions, sa structure pliable lui permet

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DOCUMENT SOUMIS

(fig. 1) Clément Godry, PLJS : Plans Libres Isolés,
2015. Deux volumes pop-up, 28x21 cm (phot. auteur)

(fig. 2) Klemens Torggler, EvolutionDoor, 2013. Bois et métal (phot. Akos Vincze)



de devenir à la fois chaise, écran, paravent, table, cabane, rocher, cachette. Se construisant et se déconstruisant à volonté, changeant constamment de forme et de fonction, il peut être alternativement foulé, habité, traversé, modelé, aménagé.

Ce *paysage plissé* est un thème récurrent de la conception spatiale pliée. A l'image d'Alphabet, Alexander Rehn de Designstudio en association avec l'entreprise française Structure.me a développé et produit *Cay*, sorte d'assise à géométrie variable évoluant avec les mouvements et les positions de l'utilisateur, qu'il soit assis ou allongé. C'est le meuble qui s'adapte à l'utilisateur et non plus ce dernier qui se doit d'agir sur le meuble. L'articulation du pli épouse la forme du corps, instaure une conversation dont l'utilisateur en devient l'un des protagonistes. C'est de par son mode d'occupation de l'espace qu'il en déclenche la transformation. Alors le pli, dans toute son objectivité, se pose comme le principe d'adaptation et d'évolution d'un objet à son environnement et aux forces qui lui sont soumises.

Précisément, la propriété cinétique du pliage est un point d'intérêt régulièrement mis en valeur et exploité de manière dynamique et interactive par d'autres projets. L'application archaïque des principes des plissés, à l'axe unique et mono-orienté relève pourtant de l'œuf de Colomb. Klemens Torggler s'est ainsi efforcé de concevoir des systèmes de portes très simples dans leur fonctionnement mais à la sophistication et l'élégance remarquables. *EvolutionDoor* se déplace latéralement sans nécessiter l'usage de rails ou de gonds, mais se compose de deux panneaux pliés par le milieu en deux triangles, articulés par un pivot central. Même s'il s'agit là d'un assemblage plus que d'une surface pliée, ces portes proposent une manière alternative et subtile à la fois de réinterpréter le mobilier commun tout en exploitant le mouvement du pliage.

Enfin, il est également intéressant de considérer le plissé non comme ligne mais comme courbe. Toute expérimentation rapide de pliage courbe fera instantanément intervenir la notion d'espace

où se cache le pli ?

tridimensionnel, puisqu'il n'est alors pas possible de rabattre complètement la surface sur elle-même. La courbe instaure alors un dialogue direct entre espace et mouvement. Sascha Akkermann est un designer particulièrement sensible à la justesse et au minimalisme des formes, dont *KOII foldable deckchair* est l'un des exemples les plus représentatifs. Les deux courbes d'une membrane composite dessinant le motif d'un poisson se plient de telle manière que la surface se voit transformée en chaise longue aux concavités particulièrement adaptées au corps humain.

Ainsi les plissés constituent les plis les plus fondamentaux et représentatifs de la discipline. Leur archaïsme, le mouvement primitif de rabattement auquel ils font référence font d'eux l'un des concepts les plus récurrents religieusement employé dans la pratique du pliage. Ils permettent l'interactivité – active comme passive – et la conversation entre un utilisateur et son environnement en assistant la mise en forme spatiale d'éléments de mobilier. Mais ils peuvent également être de simples inspirations et concepts mécaniques, ou bien encore des éléments moteurs et des moyens de reproduction formelle. C'est de cette simplicité et de cette polyvalence qu'ils tirent leur force.

I.1.b Systèmes cohérents et plissés en V

Mais les plissés tirent une force génératrice plus puissante encore de leur combinaison. La question de composition d'un ensemble de plis et leur association est aussi essentielle que nécessaire. Ainsi, l'axe de pliage autrefois unique se retrouve fragmenté, divisé, réparti sur toute la surface pliée. L'agencement intrinsèque de plissés fait appel à des règles mathématiques établies. Généralement, l'intervention de plusieurs axes de pliage s'organise autour de nœuds, ajoutant une certaine complexité au motif de base. De ces nœuds partent un certain nombre d'axes, formant alors ce que l'on appelle communément les *plissés en V*. Ces derniers apportent une toute autre dimension au pliage.

Le plissé en V basique est généralement composé d'un axe central

de pli. Deux plis latéraux symétriques en forme de V viennent alors briser l'axe à un point d'intersection, le nœud central. C'est à partir de ce point que l'axe se pliera naturellement dans le sens opposé, c'est à dire que s'il s'agissait d'un pli vallée unique, il sera désormais successivement vallée puis montagne. Si les deux angles latéraux sont égaux, alors le motif de pliage pourra être plié à plat. La ligne de symétrie quant à elle peut être placée n'importe où sur la surface. Réunir alors plusieurs plissés en V sur un même gabarit de pliage devient tout à fait envisageable, et un motif analogue à l'arbre de Pythagore se dessinera alors. Néanmoins, les plis latéraux restent jusqu'alors répétés en miroir de chaque côté des axes, formant une composition fractale certes complexe mais dont la géométrie et la symétrie est évidente à l'œil.

Il existe néanmoins une méthode permettant d'abandonner et de briser cette symétrie. Développée par le professeur, mathématicien et origamiste japonais Toshikazu Kawasaki, le théorème portant le même nom autorise l'asymétrie des pliages latéraux si certaines conditions sont réunies. Plutôt que de se concentrer sur l'axe principal du pliage, Kawasaki s'est ainsi intéressé aux nœuds des motifs. Son théorème détermine le critère selon lequel un motif de pli à nœud unique peut être plié de manière à former une figure plate. Le nœud central du pli doit ainsi comprendre un nombre pair d'angles et le motif peut être plié totalement à plat si et uniquement si la somme alternée des angles est égale à 180° ($a+a'=b+b'=\dots=180^\circ$). Si cette propriété fondamentale n'est pas respectée, le motif de pli ne saurait être plié à plat et bloquera et maintiendra la forme dans une certaine position. L'axe de symétrie prenant ainsi des directions déterminées plus aléatoires, des motifs élaborés peuvent en résulter, permettant la création et l'élaboration de systèmes de plis cohérents plus complexes.

Cette accumulation de plis qui se base non plus sur l'assemblage empirique de géométries simples mais sur la relation entre les plissés eux-mêmes, offre une toute autre dimension créative. Encore une fois, nombreuses sont les applications de ces propriétés géométriques pour la création de chaises ou de mobilier pliables,

où se cache le pli ?

tel que la *Papton Chair* de Wilm Fuchs et Kai Funke. Les deux designers allemands prennent ainsi le parti pris de concevoir un gabarit de plissés en V qui ne respecte *de facto* absolument pas le système de Kawasaki. De ce fait, la surface qui ne peut être pliée à plat se transforme en chaise. Les plis non réguliers *bloquent* alors la forme générale et assurent la stabilité de l'ensemble et son maintien. Il existe une multitude d'exemples similaires, qu'ils soient en carton ou en matériaux composites, ils reprennent les mêmes principes structurants : les gabarits d'objets pour enfants, tels bascules ou autres chaises, proposés par l'architecte suisse Nicola Enrico Stäubli, ou bien encore la *Flat Stanley Chair* et la *Morgan Felt Folding Stool* du designer américain Brett Mellor.

L.1.c Érémisme et Pli-Individuel

Ainsi, dans son individualité la plus absolue, le plissé est rationnel, rigoureux. Il concentre et propose l'image la plus simple, la plus archaïque et la plus limpide de ce que serait le pli. Il est atome de la pensée. Mais son image simpliste rassure autant qu'elle lasse, et plus un projet semble faire référence au plissé dont il s'inspire et plus il relève de la caricature.

L'établissement de systèmes de pli propose davantage de solutions, certes plus structurelles mais non moins intéressantes, de résistance par la forme, induisant une évidente économie de moyens. Les différents axes de pliage se complètent, rigidifient et ordonnent la forme créée. Et cela même si cette résistance est très vite limitée par des questions de choix de matériau et, conséquemment, d'échelle de l'objet produit.

S'il peut ainsi être individu, le pli nécessite une société au sein de laquelle il doit trouver sa place, sans quoi il ne peut dérouler toute l'étendue de son expression. Au même titre que l'ermite s'évertue à chercher vainement une vérité supérieure en dehors de toute société, le plissé ne peut s'affirmer pleinement seul.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

(fig. 3) Fuchs + Funke Industrial Design, Papton Chair, 2004. Chaise en carton, exposition «Le Berlin des Créateurs» (phot. Jan Sobottka)

où se cache le pli ?

I.2

Les motifs et quadrillages: travées, paraboles et autres formes souples

I.2.a_Motifs de pli et répétitions symétriques

Lorsque l'on réalise un plus grand nombre de plis, une méthode efficace d'assemblage s'avère nécessaire de manière à structurer l'ensemble. En développant l'analogie entre le domaine du pliage et celui de l'écriture, il apparaît alors que les plissés sont *lettres*, et qu'assemblés ils forment des motifs de pliage, c'est-à-dire des *mots*. Pour comprendre le sens de ces mots, et si l'on veut les organiser en *phrases*, il est alors nécessaire d'en assimiler la syntaxe. Une conception pliée peut ainsi être définie comme étant une composition ordonnée de plis répétés, déterminée sur une surface plane avant d'être exécutée, formant par essence ce que l'on appelle le gabarit de pliage, la *phrase*. Toute étude de conception de surface pliable fait indéniablement intervenir la notion de motif de pli puisque la cohérence et la cohésion de ces derniers nécessite une structure intrinsèque. Le motif, parfois appelé molécule, est donc la partie constitutive plus ou moins évidente du gabarit de pliage, c'est-à-dire que c'est lui qui organise les plissés en systèmes cohérents et en quadrille la surface.

Si l'on s'applique à plier strictement un motif, la forme générée doit être composée d'éléments répétés selon un arrangement ou une méthode géométrique prédéfini(e). D'un point de vue spatial de telles compositions, comme les travées et les paraboles, proposent une relative adaptabilité, mais sont en contrepartie plus longues à mettre en œuvre car méthodiques. Concrètement, les motifs de plis (autrement nommés *Crease Patterns*) nécessitent donc des opérations de symétrie comme principes de base, puisque c'est dans leur répétition et leur combinaison qu'ils prennent tout leur sens. Ces motifs couvrent entièrement la surface et forment un pavage, mais ne l'empêchent pas forcément d'être compressée ou

pliée à plat. De plus, selon les cas, un assemblage de motifs plissés simples ou plissés en V peut donner des résultats impressionnants lorsqu'ils sont combinés.

Mais encore une fois, toute la sophistication d'une telle conception réside autant dans la complexité du motif initial que dans la méthode utilisée pour répéter ce motif à l'ensemble de la surface. Une certaine diversité dans les répétitions symétriques permet d'innombrables possibilités de conception. Il faudrait ici distinguer quatre répétitions symétriques principales qui, associées ou combinées entre elles, offrent au concepteur du pliage de solides outils pour faire varier et développer sa création.

La translation permet par exemple de répéter un même motif dans une certaine direction. Il s'agit là de la plus simple forme de symétrie. Un motif de pliage en X peut ainsi être distribué à l'ensemble d'une surface simplement en appliquant des plissés en accordéon dans deux directions différentes.

La réflexion quant à elle permet une symétrie en miroir du motif. De ce fait, il est tout à fait possible d'utiliser le système des plissés en V en s'appuyant sur la ligne de symétrie utilisée.

La rotation permet la répétition d'un motif à partir d'un point commun. Ainsi, contrairement aux deux premiers exemples de répétitions symétriques, la rotation n'est pas linéaire. Aussi, selon l'orientation d'un même motif, il est également possible d'obtenir des plis soit radiaux soit en étoile, transformant radicalement le modèle.

Enfin, l'une des répétitions les plus intéressantes est en fait une combinaison translation/réflexion. Le motif se voit subir une translation et une réflexion qui n'est pas nécessairement linéaire. Cette opération est la plus sophistiquée des répétitions symétriques, mais propose des surfaces plus libres et plus souples car possédant généralement plus de points et donc de degrés de liberté.

où se cache le pli ?

De très nombreux exemples de ces répétitions peuvent ainsi être mis en évidence dans la conception et le design contemporain. Certaines de ces applications les plus remarquables peuvent être attribuées au designer japonais Issey Miyake et son équipe qui, en association avec Artemide, ont conçu des luminaires développables s'inspirant de principes mathématiques et géométriques issus des travaux du professeur Jun Mitani. Les lampes IN-EI ISSEY MIYAKE sont ainsi conçues à partir d'une pièce de tissu unique en matériau recyclé, avec un traitement supplémentaire de la surface leur permettant de conserver parfaitement leur forme, sans la nécessité d'armature interne. Si l'association entre textile et variation de motif de pli propose un jeu d'ombre et de lumière sophistiqué et audacieux, la travée pliée possède également des qualités structurantes indéniables tout en offrant des possibilités de pliage et de rangement intéressantes.

Néanmoins, la mise en œuvre de ces répétitions engendre quasi-inévitablement l'élaboration d'un tracé préalable au pliage. Mais dans le cas de certains travaux artistiques, les motifs ne sont pourtant pas définis à l'avance et ne font pas appel à des concepts de division régulière, symétrique et ordonnée, mais sont au contraire le fruit d'un travail sculptural et procédural improvisé. Ils ne possèdent donc de fait aucun gabarit de pliage entièrement prédéfini. Les masques de l'artiste américain Joel Cooper constituent la quintessence de cette technique, puisqu'après avoir quadrillé une feuille de papier par de très multiples géométries simples (lignes ou carrés) il modèle la surface d'une manière beaucoup plus figurative et instinctive. La forme du masque est ainsi créée grâce la tension et la résistance du papier, plié et replié sur les mêmes lignes. Cette tension héritée d'une méthodologie de pliage particulière est également la caractéristique principale des travaux du croate Goran Konjevod qui, fort de sa formation de mathématicien, s'active à transgresser toute règle de pliage strict de motif. Cette méthode permet entre autre la résurgence de formes organiques sur une base géométrique primitive.

Mais il est tout à fait possible d'obtenir des résultats similaires

(fig. 4) Issey Miyake, Fukurou Lampadaire, collection In-Ei, 2010. Tissu recyclé, 49x56.5 cm, (phot. Artemide)



(fig. 5) Paul Jackson, Untitled, Série Organic Abstract, 2002. Papier coloré, exposition "Surface to Structure Origami 2014" (phot. Michelle Fung)



de modèles organiques via le pliage droit et strict de motifs. Animée par l'insatiable appétit de son auteur pour le pliage, la série *Organic Abstracts* de Paul Jackson comprend plus de 250 pièces réalisées entre 1990 et 2016. Ces formes, fortement inspirés de la nature (bactéries, coquillages, etc.) et mesurant entre 10 et 20 centimètres, sont toutes issues de gabarits aux motifs géométriques simples. Jackson exploite ainsi la variation de motifs de pli de manière à donner du mouvement au pliage. La forme générée par la progression des motifs bénéficie ainsi de la courbure naturelle que la feuille aura tendance à prendre à cause des plis. Le pli devient ainsi mouvement.

Les plis droits ne constituent pourtant pas le monopole de conception des motifs. L'artiste anglaise Polly Verity se concentre principalement sur le dynamisme géométrique visuel offert par l'introduction de la courbe au sein même du motif. La courbe dans l'espace étant un thème récurrent dans le pliage, notamment parce qu'elle fait jaillir des formes différentes et moins prévisibles, l'artiste expérimente autour de ce concept selon une méthode plutôt intrigante. Pliant de nombreux modèles à la recherche de formes intéressantes, elle en déplie ensuite le motif, transcrit le pli numériquement avant d'en envoyer le dessin sur machine de découpe à commande numérique. La lame ne coupant que très légèrement le papier, l'artiste peut ensuite appliquer ce même motif à l'ensemble d'une surface de manière à créer un ensemble à l'esthétisme surprenant, très différent de motifs droits plus classiques.

Il est important de noter que le motif peut aussi, de manière générale, être étiré dans une direction ou même biaisé. De fait, ces deux dernières techniques offrent des variations du motif original. Ainsi, en changeant simplement les proportions d'un motif carré (angles de 84° et 96° par exemple) puis en translatant ce motif, l'ingénieur Koryo Miura a créé dans les années 80 un gabarit permettant à une feuille ou une carte routière d'être pliée et dépliée en tirant uniquement sur deux coins opposés. Le pliage Miura est depuis utilisé pour les cartes touristiques de la

où se cache le pli ?

ville de Tokyo, proposant à la fois une aisance d'utilisation mais aussi et surtout la véritable signature d'une ville et d'une société profondément marquée par le pliage.

Les motifs structurent et organisent ainsi la surface pliée. De fait, ils peuvent possiblement engendrer des formes totalement différentes selon la répétition symétrique utilisée et ses proportions. L'utilisation des motifs et leurs transformations assurent ainsi une infinité de possibilités combinatoires. Selon la façon dont ils sont pliés, de simples motifs en croix peuvent aussi bien générer une travée autoportante et pliable sur un axe qu'une surface qu'il est possible de courber en une sphère. Grâce à des principes structurels et dynamiques, ce type de pliage convient tout particulièrement à la conception de surfaces déployables.

I.2.b Structures déployables et principes mécaniques

Lorsque l'on s'intéresse à l'application des concepts de travées et de motifs à une échelle plus importante, la question structurelle devient inévitable. Les travées pliables offrent à la fois des principes de ploiement/déploiement ainsi que des qualités autoportantes intéressantes. Grâce à ces caractéristiques, les travées ont été très utilisées par les architectes et ingénieurs depuis les années 60, notamment pour concevoir des structures déployables. Parmi l'infinie multitude d'exemples, nous pourrions citer les Plydomes de Sanford Hirshen et Sim Van der Ryn qui, entre 1965 et 1974, concevront et produiront des abris pour les fermiers en Californie. Dans un contexte de grande dépression économique et politique influencé par la guerre du Vietnam, de nombreux campements de travailleurs migrants s'organisaient alors dans la campagne américaine et les architectes proposèrent ces abris pliables en papier et polyuréthane. Pliées en arc et aplatissables, les structures légères mais rigides des Plydomes fournissaient alors un refuge suffisant pour une famille de travailleurs qu'il était possible de monter et démonter rapidement.

Plus récemment, ce système de travée a pu être utilisé dans un



(fig. 6) Mattias Lind pour White Arkitekter, Chameleon Cabin, 2013.
Papier imprimé, motifs marbre noir et blanc (phot. Rasmus Norlander)

(fig. 7) Foreign Office Architects, Terminal International de Yokohama, 1995. Hall principal (phot. Satoru Mishima)



tout autre contexte. Mattias Lind, architecte suédois, a conçu une maison réalisée entièrement en papier, la *Chameleon Cabin*. Ce petit pavillon de 7m², réalisé en travée pliée en accordéon, change d'aspect en fonction de la perspective puisqu'un motif de marbre noir ou blanc est imprimé selon l'angle de l'accordéon. L'architecture est ainsi toujours perçue en mouvement, le pli contribuant à créer un effet visuel et cinétique tout en constituant la structure même du pavillon.

De nombreux autres projets pourraient ainsi être cités. Des kiosques Canary Wharf réalisés par Make Architects aux travaux des studios chinois People's Industrial Design Office et People's Architecture Office, les motifs déployables constituent ainsi une ressource presque inépuisable pour l'architecture. Reprenant les mêmes principes et concepts des travées tout en transposant les codes esthétiques du pliage, ces motifs permettent une relation étroite entre interactivité spatiale et principe structurel et constructif à l'échelle de la micro-architecture.

Si la plupart de ces projets exploitent le couple résistance/interactivité des travées, le concept même est beaucoup moins employé à une échelle plus importante, notamment pour des questions matérielles. L'un des exemples les plus pertinents d'utilisation de ce système pour la conception d'un bâtiment est le hall intérieur du Terminal Portuaire International de Yokohama au Japon, réalisé en 2002 par l'ex-agence britannique Foreign Office Architects. Ce système unique de structure allie tôles d'acier pliées et poutres en béton, dont les résistances respectives minimisent les besoins de supports verticaux, permettant un plan libre très vaste. A une telle échelle, seules les valeurs structurelles du pliage peuvent être transposées, à défaut d'interaction spatiale. Le pli étant figé, la résistance du bâtiment se fait davantage par la forme que par le matériau. Il existe ainsi une poignée de projets dans lesquels le pli est utilisé de façon similaire. Le Centre Culturel Roberto Cantoral au Mexique par exemple, dessiné par l'agence Broissin Architetcs, emploie le principe même de la travée pliée dans la conception et la structure du bâtiment tout en

où se cache le pli ?

en empruntant l'esthétisme pour le travail de l'acoustique de la salle de concert.

Alors que certains motifs permettent la création de modèles autoportants, d'autres offrent une flexibilité et un esthétisme plus subtiles encore. Ce sont les caractéristiques des expérimentations papier de Ron Resch. Tour à tour artiste, ingénieur informaticien ou géomètre appliqué, ce professeur d'informatique de l'Université d'Utah, diplômé d'un Master en Beaux-arts et concepteur de l'œuf de Vegreville, la première structure conçue entièrement à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur en 1975, travailla notamment avec Buckminster Fuller.

Mais ce sont surtout ses expérimentations de pliage menées dès les années 1960-70 qui ont fait du chercheur un pionnier en la matière. Ses nombreux travaux expérimentent alors principalement autour des pavages surfaciques et des assemblages de motifs sur feuille unique à grande échelle. Tout en développant des programmes de simulation informatique inédits pour l'époque³ il expérimente de nombreux systèmes combinatoires sur papier permettant d'associer des motifs de pli entre eux, de manière à former des ensembles souples et élégants. Parmi ses travaux figurent de nombreuses structures flexibles, des dômes, des pavages, des surfaces articulées, des panneaux acoustiques ou mécaniques, etc. Ses travaux embrassaient alors toutes les potentialités offertes par le pliage de motifs, des principes structurels du pli à son esthétisme, en passant par la cinétique et l'acoustique.

Resch s'intéressait également aux courbes pliées dans l'espace. Rapidement, il tente en effet de comprendre comment, en se donnant telle ou telle courbe tridimensionnelle comme objectif, il est possible de tracer une courbe bidimensionnelle sur papier de manière à ce qu'une fois pliée, la courbe spatiale désirée qui en résulte offre à la feuille toute entière une courbure légère et élégante. De ce fait, il s'aidera en grande partie d'outils informatiques et

3_ Voir la conférence *Computer Aided Geometric Design*, Université d'Utah, Mars 1974

tirera pleinement parti des spécificités du matériau papier. Pour Resch, le pli est une méthode d'expérimentation formelle à part entière. Nombreuses sont ses œuvres futures qui exploiteront intégralement ses recherches, en utilisant à la fois techniques de combinaison de motifs et courbes pliées, léguant au monde du pliage alors à peine développé un héritage monumental.

I.2.c_ Cénobitisme et Pli-Social

Dans son concept même, et tel qu'abordé ici, le motif de pli permet la conception de systèmes articulés variant d'une échelle objectale à une échelle architecturale, tout en permettant une meilleure résistance plastique. Le motif est ainsi le résultat de la dissection d'un système, d'un corps, d'une société de plis. En tant que plus petit élément, il est la preuve irréfutable de la cohésion et de l'organisation de systèmes généraux et en synthétise la méthode. Alors, le pli subjectal, ainsi subordonné au penseur, représente l'essence même d'une communauté cénobite.

Parallèlement, comme le dernier point le met en évidence, le pliage peut tout à fait être outil invisible et moyen de recherche conceptuel. Ses capacités expérimentales, indéniablement liées à la méthodologie particulière de création et d'assemblage de motifs, permettent d'assurer un développement continu et d'inépuisables ressources pour le terreau projectuel. Le motif peut ainsi révéler de la manière la plus absolue un processus de conception. L'ADN d'un projet se définirait alors dans le motif-même de sa morphogenèse, et ce peu importe si le pli est but ou moyen du projet.

I.3

Un pli ou moins : des drapés aux breaks

I.3.a_Drapés et plis textiles

Le pli, c'est également celui de la peau, celui du corps. Il se fait signe de vie, d'évolution, de travail, marque usuelle et presque insignifiante de vie. Le pli est aussi textile. Blanc et courbé, le papier possède de faux-airs de drapés antiques. Ce n'est évidemment pas pour rien si le drapé est resté pendant des siècles technique ultime permettant de donner vie à ses modèles, sculptures, peintures, dessins. Chez de grand maîtres du troisième art comme Nicolas Poussin, il en est devenu obsession. Car le pliage organique, la courbe somatique est indéniablement déraisonnée et involontaire, parfois esthétique, souvent contingente ou spontanée. Mais toujours intimement liée au corps.

Le pli donne vie, texture et volume même aux matériaux les plus inertes. Lorsqu'il s'agit de mode ou de design, l'expérimentation de matériaux autres que le papier est très commune. Voiles, cuir, feutre, paille et cheveux, certains n'engendreront jamais deux fois le même résultat bien que se basant sur un pli similaire, qui ne suit dès lors plus aucune loi mathématique précise. Une certaine coupe taillée donnera des centaines de rendus différents selon le textile ou vêtement auquel elle est effectuée, et en changeant l'arrangement même des plis, inutile de dire qu'une infinité de variations s'offre alors au concepteur. Ce n'est absolument pas un hasard si la mode textile est considérée comme un art à part entière, tant le divin mystère de ses coupes et plis célèbres nécessite patience, sensibilité, passion.

Contrairement aux plissés et autres modèles qu'il suffit d'effectuer mécaniquement pas-à-pas selon une méthode définie – bien que ceux des grands maîtres de l'origami demandent parfois tout autant de patience et de persévérance – les grandes créations de mode sont uniques. D'aucun couturier ne pourrait reproduire le

célèbre plissé de Madame Grès travaillé dans une étoffe en jersey à même le mannequin pendant la conception de la robe avant d'être cousu, ni même le plissé Fortuny, du nom de son inventeur vénitien Mariano Fortuny à qui l'on doit un plissé permanent et irrégulier sur soie jamais égalé, ou bien encore plus récemment ceux du créateur japonais Issey Miyake.

Si une grande partie de ces plissés textiles sublimant le corps possèdent un caractère organique et vivant, il n'empêche que certains créateurs se concentrent davantage sur des plissés plus géométriques et pourtant non moins ennoblissant, brouillant les limites entre textile et papier. C'est le cas de l'Atelier Gérard Lognon à Paris qui, à l'aide de quelques 3000 moules kraft, plisse minutieusement depuis 4 générations des étoffes selon un protocole bien particulier générateur de plissés inégalés. Les moules en carton, sorte de pavages plan qui pour certains datent du siècle passé, forment tous une paire de pièces s'emboîtant parfaitement l'une dans l'autre. Le tissu à plisser est minutieusement disposé entre deux de ces pièces avant que l'ensemble ne soit plié, délicatement compressé, roulé et placé dans une sorte de cylindre vertical à vapeur puis étuvé pendant plus d'une heure. Le tissu en passe d'être définitivement marqué par ces plis, sera décollé de son moule et refroidira ensuite près de 24 heures avant d'être utilisé pour la confection de pièces incroyablement sophistiquées, le pli allouant alors texture, rythme et forme au tissu.

D'autres créateurs construisent leur démarche dans un tout autre registre, à l'image de Sophie Guyot. Dans son atelier parisien, l'artiste textile s'oriente davantage sur la relation entre matériau, couleur et fonction du vêtement tout en employant le pli comme force motrice de création pour sa collection *So Plicature*. Elle teint ainsi des étoffes en enserrant le textile de manière à créer des réserves dans le bain de teinture selon une technique japonaise, l'*Itajime Shibori*. Pour former ces plis, elle adopte une technique de plissage à l'aiguille consistant à effectuer un pli régulier au moyen d'une aiguille et d'un fil. Elle enroule ensuite la pièce et forme ensuite une ligature de manière à n'exposer qu'une partie

où se cache le pli ?

du tissu à la teinture. Le pli, bien qu'arrivant à la toute fin du processus créatif, se pose conséquemment comme le facteur d'inconstance indispensable à la création de ces pièces. Les motifs ainsi obtenus varient selon les plis, les fibres employées, le nombre de bains, les pigments, etc.

Lorsqu'ils sont associés aux courbes du corps humain, ces plissés plus ou moins classiques donnent naissances à des mouvements organiques et des formes ondulantes délicates et éphémères. Dans un tel contexte, la pratique du pliage apporte les outils nécessaires à un travail sur les effets de la matière-même : texture, lumière, mouvement. Le pli textile a ainsi pour vocation de s'adapter à un usage tout en sublimant les surfaces.

I.3.b Le break, la courbe et le pli humide

D'une certaine manière, le drapé et surtout la courbure ne sont réciproquement pas le monopole de la création textile et peuvent être en quelque sorte adaptés à d'autres matériaux, même si de manière intuitive il est commun de considérer une feuille sans aucun pli net comme étant dépourvue de tout intérêt spatial quelconque. Pourtant, à l'opposé même des principes de plissé ou de motif nécessitant parfois des centaines d'opérations, la simple courbure d'une surface peut produire des résultats étonnamment élaborés.

Une telle pratique de pliage, dénommée *Break* ou interruption, consiste en la courbure de la surface (généralement une feuille de papier) autour d'un point de rupture en inculquant une pression dans un sens donné. Cette technique ne fait appel à aucun des concepts et principes jusqu'alors présentés. Montagnes et vallées ne font plus partie du paysage, gabarits et motifs deviennent obsolètes, et la trop grande répétition du pliage entraîne inexorablement l'obsolescence de la feuille. Seule la pression importe. Si le plissé est ligne bidimensionnelle, le break est point unidimensionnel.



(fig. 8) Atelier Gérard Lognon, moules en carton et tissu plié, 2014 (phot. Joël Saget)

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
DOCUMENT SOUMIS

(fig. 9) Paul Jackson, Untitled, Série One-Crease pour
Folding Techniques for Designers, 2011 (phot. auteur)

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

« Il semble que la perfection soit atteinte non quand il n'y a plus rien à ajouter, mais quand il n'y a plus rien à retrancher. »

— Antoine de Saint-Exupéry, *Terre des hommes*, Gallimard, Paris, 1939

Pourtant, cette pratique à l'apparente simplicité recèle en fait une sophistication extraordinaire. En y associant un plissé simple passant par le point de rupture, et même quelques autres breaks, une abondance de nouvelles formes se révèle alors. Véritable technique à part entière nécessitant précision et retenue, le break est une méthode pertinente d'un point de vue plastique, permettant de s'affranchir des conventions du pliage classique.

Pour sa série *One Crease*, Paul Jackson tenta d'explorer les potentialités de la formation d'un unique pli sur feuille de papier, le break constituant l'épicentre du pliage. Mais cette série, abstraite et plutôt de l'ordre de la recherche formelle, ne peut se limiter qu'à une théorisation de nouveaux concepts de pli dont l'application reste assez incertaine.

L'artiste américano-vietnamien Giang Dinh, architecte de formation, emploie entre autres cette technique en complémentarité du pliage humide dans la création de modèles humains très poétisés. Il s'efforce de réaliser un travail artistique à la fois simple et élégant en capturant l'essence du sujet avec le moins de plis possibles. De ce fait il utilise la technique du pli humide sur une feuille de papier épaisse, type papier aquarelle, qu'il vient ensuite courber et modeler. L'humidification de la feuille associée à l'utilisation de points de break, participe à la rigidité de l'ensemble. Ce travail minimaliste de la courbe et de la surface offre une dimension très sculpturale au pliage, libérant la représentation figurative des dogmes conventionnels de l'origami.

S'il est difficile de réaliser ces types de pli sur n'importe quelle feuille de papier, c'est particulièrement parce que la question du matériau est capitale. Un papier au grammage moyen reprendra sa forme initiale aussitôt la pression exercée disparue. Si l'on

où se cache le pli ?

souhaite conserver la forme, un papier au grammage fort peut, par exemple, être légèrement humidifié avant d'être plié. De fait intimement limitées par des questions matérielles, ces pratiques sont difficilement applicables par elles-mêmes, et se retrouvent davantage injectées dans des compositions globales plus générales.

Il existe ainsi quelques exemples d'application de telles méthodes à des échelles autres que le modèle papier. La courbe pliée est de cette façon le leitmotiv des projets *Hush* et *Smush* de la britannique Freyja Sewell. En créant de grandes bulles, des cocons de feutre épais, la designer tend à proposer des espaces intimes, sorte de retraite personnelle poétique dans un monde d'agressions extérieures. Découpées dans une pièce unique de feutre de laine épais et recyclé, ces pièces sont courbées et modelées avant d'être maintenues en place par la couture de quelques points précis, pinçant de cette manière la surface et en en maintenant la forme. Le pli et la courbure viennent alors dessiner un espace organique clos, déformant et modelant une surface épaisse et enveloppant le corps humain.

Mais il existe une manière plus surprenante encore d'exploiter le pliage naturel de la courbe. Après plus de six années de recherche et de développement sur la réactivité des matériaux aux variations climatiques, Achim Menges, professeur à l'ICD Universität Stuttgart, dirigea un projet de matériau météorosensible. D'abord conceptualisé par un projet sculptural⁴, il fut ensuite intégré à une architecture plus concrète⁵ : l'HygroSkin. Ici, le bois réagit à l'humidité selon le même modèle que les écailles de pomme de pin : l'eau présente dans les rainures du bois, directement issue de l'hygrométrie environnante, modifie la distance entre les fibres, provoquant leur dilatation ou leur contraction. Dérivant directement du caractère anisotrope du bois et son comportement hygroscopique, cette particularité commande l'ouverture ou la fermeture de très fines lamelles triangulaires de bois disposées sur

4_ Hygroscope – meteorosensitive morphology, Centre Pompidou, Paris, 2012

5_ HygroSkin, Meteorosensitive Pavilion, FRAC Centre, Orléans, 2012

les orifices du pavillon. A la manière d'un être vivant, ce dernier réagit alors inéluctablement à son environnement, l'architecture se faisant expérimentale et performative. Le pli, même s'il n'est ici commandé par aucune force intentionnelle directe, est anticipé et composé. Il remplit alors une fonction cinétique subjuguante d'adaptation. Ces courbes pliées, diamétralement opposées aux méthodes de pliage exploitées précédemment, élargissent alors amplement les champs d'études potentiels.

I.3.c_Le Pli-Contenant

Ainsi la courbe est pliage organique par essence. Minimaliste, elle participe à la mise en mouvement et donne vie à diverses surfaces et matériaux. Son expression plastique, bien que sujette à de nombreuses contraintes, embrasse tout un univers poétique qui participe au jeu de la mutation spatiale. La courbe ne se veut ni pragmatique, ni cartésienne. Elle se veut vivante, spontanée, aléatoire, libre. S'inscrit-elle alors dans un cycle biologique ininterrompu. Sans doute la courbe renferme la vie au même titre qu'un œuf s'apprête à éclore.

Le pli-courbe renvoie ainsi à l'idée d'infinité, de cycle immuable toujours en changement, en transformation. Ainsi affranchi de toutes arrêtes, de tous nœuds, l'espace de la courbe est paradoxalement aussi vaste que riche. Chacun d'eux inclut et contient. Chaque courbe abrite, couve, nourrit, héberge en son sein un univers, un monde qu'elle transporte avec elle et déroule jusqu'à ce qu'il s'entrechoque avec le prochain. Et lorsqu'une courbe en rencontre une autre, son univers ne se retrouve pas pour autant arrêté, mais bel et bien prolongé.



(fig. 10) Achim Menges, Oliver David Krieg et Steffen Reichert,
HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion, 2013. Bouleau, contreplaqué
et matériaux composites (phot. ICD University of Stuttgart)

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTRES
MONTES

I.4

Le crumpling ou la compression du papier

I.4.a Techniques de crumpling et modelage

Une autre technique de pliage, éloignée de tous les concepts précédents, tranche avec l'aspect minimaliste, géométrique, rigide ou ordonné des méthodes classiques. Une sorte de chaos contrôlé à partir duquel émergent formes sculpturales fantomatiques et ébauches d'organismes vivants. *Le Crumpling*, ou Compression, Froissage. Cette technique procure un esthétisme mais surtout un mode de fonctionnement proche de celui que l'on peut trouver dans la nature, comme par exemple avec les pétales s'ouvrant, les formations géologiques en strates rocheuses ou encore les circonvolutions du chou. Elle intègre dans son vocabole tout un imaginaire naturel et organique : éclosion, croissance, prolifération, adaptation, flétrissement. Certes inaccoutumée, elle n'en reste pas moins une méthode pleine de possibilités rarement assimilée au pliage.

« Le monde entier n'est qu'une virtualité qui n'existe actuellement que dans les plis de l'âme qui l'exprime, l'âme opérant des déplis intérieurs par lesquels elle se donne une représentation du monde incluse. »

— Gilles Deleuze, Le Plis, Leibniz et le Baroque, Éditions de Minuit, Paris, 1988

Ainsi, l'idée de base du crumpling est de comprimer une feuille en une boule aussi petite que possible, puis l'étirer jusqu'à ce qu'elle reprenne la moitié de sa taille d'origine avant de répéter l'opération trois ou quatre fois, permettant ainsi au papier d'*emmagasin*er un nombre considérable de plis sur sa surface. En outre plus petite qu'à son état initial, la feuille, grâce à ses propriétés mnémoniques, possède alors une infinité de points libres, offrant de nombreuses formes potentielles parfois très

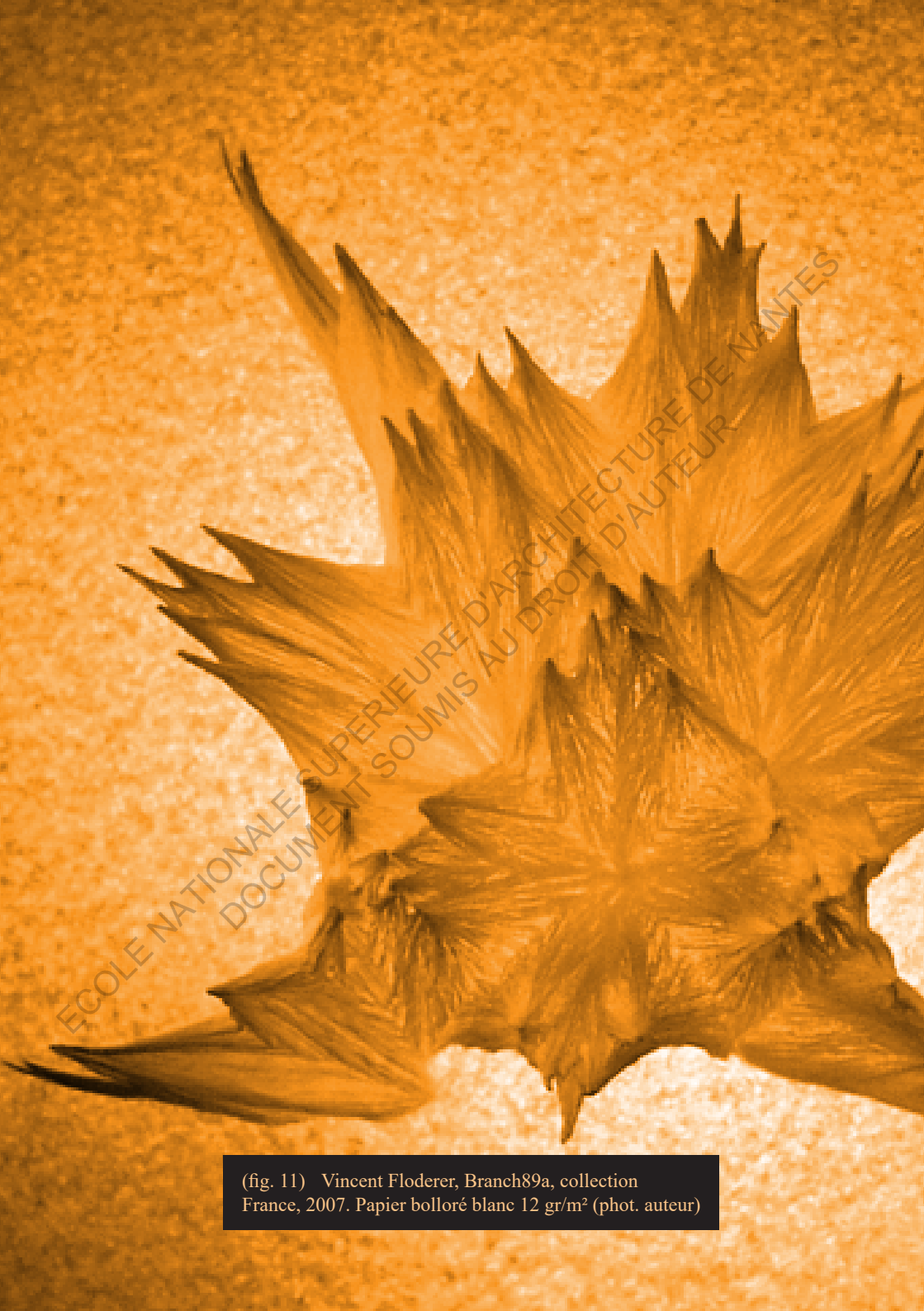
où se cache le pli ?

sophistiquées.

Tout comme pour la technique du break, la compression nécessite des matériaux adaptés, faute de quoi le résultat peu rapidement s'avérer incontrôlable ou sans intérêt, à l'image d'un chiffon ou d'un mouchoir que l'on tenterait tant bien que mal de modeler. Des papiers fins aux petits grammages, comme par exemple les papiers d'emballage, sont ceux qui conservent le mieux les plis, dû notamment au fait que le rétrécissement résultant de la compression de la feuille sera bien supérieur. C'est surtout en sa capacité plastique de *mémoire du pli* qui fait que le papier est le matériau idéal pour ce type d'expérimentation puisque cette caractéristique inédite est rarement établie avec d'autres matériaux souples tels que le tissu qui, faute de traitement particulier (cf. l'étuvage des plissés de l'atelier Lognon) ne conserve pas de mémoire de forme.

Si la compression est importante, il est également essentiel de ne pas répéter l'opération un trop grand nombre de fois de manière à ne pas abîmer les fibres du papier qui, dépourvu de toute tenue en serait rendu inutilisable. Grâce à ces points aléatoirement et massivement disposés sur sa surface, la feuille devient alors aisément modelable comme s'il s'agissait d'un volume à sculpter, empruntant par la même occasion des techniques et gestes au deuxième art. Le volume peut être poussé, tiré, comprimé, modelé exactement comme les plus primitives sculptures. Arrêtes et courbes tridimensionnelles peuvent tout autant être délicatement pincées, pliées de manière à former des crêtes saillantes qui tendent la surface et apportent du dynamisme au modèle. Il est également possible d'effectuer une sorte de moulage d'objets existants de manière à copier directement des volumes.

En employant la technique de base, la surface ainsi successivement comprimée offrira une certaine imprévisibilité et le résultat obtenu possédera un caractère aléatoire convenant à la création spatiale pouvant être étirée ou compressée dans toutes les directions.



(fig. 11) Vincent Floderer, Branch89a, collection France, 2007. Papier bolloré blanc 12 gr/m² (phot. auteur)



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

(fig. 12) Lucie Dorel, Projet de diplôme sur la mécanique du pli, 2008. Moulage céramique de bouteille pré-compactée (phot. auteur)

D'autres méthodes plus subtiles encore permettent de mieux contrôler la création du crumpling. Par exemple, en roulant successivement et grossièrement la feuille de manière unidirectionnelle plusieurs fois de suite, le résultat obtenu sera une bande étroite composée de nombreuses compressions plus ou moins parallèles particulièrement adaptées pour la création de crêtes saillantes. Enfin, il est également possible de comprimer la feuille de manière radiale, en la pinçant en un point choisi sur la surface, avant de la compresser verticalement de haut en bas plusieurs fois consécutives. Que le crumpling soit parallèle ou radial, ces deux variantes sont plus dirigées et moins aléatoires, offrant alors des surfaces aux propriétés légèrement plus spécifiques. A l'image des plissés ou des breaks, c'est dans les variations d'application de ces méthodes de pli que l'on retrouve toute la richesse créative qui leur sont propre.

Tout comme chacune des techniques jusqu'ici présentées, le crumpling est avant tout largement représenté dans le monde de la création de modèles. De nombreux artistes à l'image de l'espagnol Victor Coeurjoly qui travaille la représentation humaine et animale ou encore Charles Macaire qui se concentre davantage sur les jeux de texture et de lumière du froissage, conçoivent des modèles très esthétiques et considèrent le pliage comme un organisme vivant et expressif à part entière. Mais l'un des représentants de cette technique les plus renommés n'est autre que le français Vincent Floderer, peintre de formation évoluant au sein du collectif CRIMP⁶. Les modèles qu'il conçoit sont généralement très inspirés de la nature, comme les champignons, coraux et fleurs, et sont d'une fidélité formelle inconcevable via des méthodes de pliage traditionnelles. Explorant diverses techniques de ce qu'il qualifie de *froissage structuré*, ses travaux tentent une mise en relation de divers champs créatifs mais aussi et surtout une application de ces concepts dans le domaine de l'architecture et du génie, notamment autour de la question de structures déployables.

6_ Centre de Recherche International de Modélisation par le Pli

où se cache le pli ?

D'autres artistes explorent ainsi plus particulièrement l'application du crumpling à la création et au design. Les modistes Annette et Paul Hassenforder réalisent chapeaux et même robes organiques en papier compressé. Ils travaillent en particulier la relation organique intrinsèque entre le corps et le matériau, entre la courbe et la forme. Lucie Dorel a créé quant à elle, dans le cadre de son diplôme à l'École Nationale Supérieure de Création Industrielle, une série d'objets issus d'une recherche particulière sur le pli, et plus précisément sur l'idée de froissage, d'écrasement et de compression des emballages en fin de vie. D'une brique de lait qui se déforme au fur et à mesure que le contenu se vide, au pré-emboutissage de bouteilles ou de conserves, jusqu'à la création d'une boîte à œufs réalisée dans une seule feuille unique, la mécanique du pli fait partie intégrante de l'usage de ces différents objets. Le procédé collaborant avec le matériau, l'usage du pli est ici autant pratique que philosophique tant il rend visible le procédé de création et de destruction de l'objet de consommation.

Bien qu'il soit difficile d'exprimer les trois types de crumpling (aléatoire, parallèle ou radial) en gabarits de pliage, c'est parce que tout l'intérêt de sa pratique réside dans son expression plastique directe. Plier, modeler et déformer deviennent alors le processus créatif unique et indissociable d'un acte contextuel, d'une surface définie, d'un support. Si le pli froissé revêt un fort caractère aléatoire, il n'en demeure pas moins un moyen de communication représentant une certaine idée du monde, l'écriture même d'un concept.

1.4.b Le Froissage comme processus

En 1971, à la galerie Jean Fournier à Paris, une exposition de peinture curieusement intitulée «*Le Pliage comme méthode*» effectua la rétrospective d'une décennie entière des travaux de Simon Hantäi. Artiste peintre français d'origine hongroise, il systématisa l'utilisation du pliage dans la conception de ses œuvres des années 1960 à 1980. Pliant et froissant ses toiles avant de les peindre presque à l'aveugle et de manière compulsive,

souvent imprévisible et sans se préoccuper des bords, ses œuvres entendent interroger la gestuelle même du peintre. Ses abstractions, parfois très blanches, d'autres fois plus colorées, fines, brutes, géométriques ou organiques, font apparaître des éclats de couleurs répartis plus ou moins aléatoirement sur la surface de la toile.

Les toiles étaient ainsi froissées et recouvertes de peinture sur les parties accessibles puis parfois, une fois dépliées les parties restées en réserve étaient peintes. En les froissant, les suspendant, en nouant certaines parties spécifiques ou en les pliant de manière plus ou moins stricte et ordonnée, l'artiste expérimentera ainsi pendant près de vingt années. Des effets d'expansion de ses *Mariales* (1960-62) à ceux de fermeture des *Catamurons* et des *Panses* (1963-64-65) jusqu'à l'esprit de synthèse de ces forces centrifuge et centripète avec la série des *Meuns* (1967-68), ses premières œuvres se voulaient singulières et dynamiques. De ses travaux suivants, les *Tabulas* réalisées entre 1973 et 1982, au pliage géométrique beaucoup plus orthogonal, Hantaï glissera vers un idéal de peinture proche du néant avant de cesser définitivement de peindre.

« Le problème était : comment vaincre le privilège du talent, de l'art, etc. ? Comment banaliser l'exceptionnel ? Comment devenir exceptionnellement banal ? Le pliage était une manière de résoudre ce problème. Le pliage ne procédait de rien. Il fallait simplement se mettre dans l'état de ceux qui n'ont encore rien vu, se mettre dans la toile. On pouvait remplir la toile pliée sans savoir où était le bord. On ne sait plus alors où cela s'arrête. »

—Simon Hantaï repris par Geneviève Bonnefoi in Hantaï, Beaulieu-en-Rouergue, Éditions de l'association culturelle de l'abbaye de Beaulieu-en-Rouergue, 1973.

Le froissage, s'il n'est que rarement une fin en soi, dessert alors un propos en tant que procédé. Jean-Claude Correia, né en 1945 à Casablanca, est le fondateur du Mouvement Français de Plieurs de Papier (MFPP). Diplômé de l'École Nationale Supérieure des Arts Décoratifs en 1978, c'est également un artiste peintre dont les



(fig. 13) Simon Hantaï, *Étude*, 1969. Huile sur toile, 275x238 cm (img. ADAGP Paris)

quelques œuvres, telles *WallStreet* (1987), *Écume 99* (1999) ou *Plis et Boulettes* (2003), entendent interroger le phénomène même du pliage au sein de processus créatifs plus larges. Ses œuvres, dont le parallélisme avec celles d'Hantaï semble inévitable, mettent en exergue ce rapport si confidentiel entre surface et forme. Ainsi la peinture se voit intimement liée au pliage et tous deux trouvent leur point commun dans l'irréversible rapport au support. Si le peintre-plier se questionne autant sur la nécessité de son acte, il en va de même pour le plieur-peintre.

I.4.c_Le Pli-Contenu

A l'inverse du pli-courbe et de sa dynamique expansive, le pli-froissé est soumis à des forces de compression provoquant le retournement de la matière sur elle-même, son effondrement. Le pli devient fractal, l'acte du pliage se heurte à lui-même. La révocabilité du pli, le froissage même de la matière s'inscrit alors dans une dynamique intensive de rabattement, c'est-à-dire qui ne dépend pas de la quantité de la matière – en analogie aux concepts physiques d'extensivité et d'intensivité.

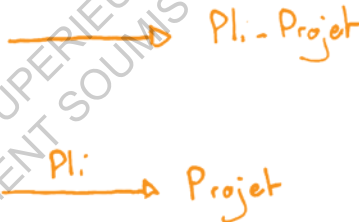
Le froissage n'a ainsi pas vocation à s'étendre au-dehors mais plutôt au-dedans de la matière. Alors, le pli-froissé n'est plus contenant mais contenu. Il occupe l'espace, le fractionne, le divise, il constitue l'objet même d'un univers microscopique et de toutes ses facettes et dimensions parallèles. C'est alors exactement parce que le pli peut à la fois être vaste (*contenant*) et profond (*contenu*) que la question de sa limite devient inévitable.

où se cache le pli ?

I.5

Du Projet au Pli-Projet

Qu'il puisse être végétal, animal, anatomique ou encore cinétique, symbole de croissance, d'articulation, d'évolution et d'adaptation, le pli est également l'expression de l'inaltérable combat entre l'ombre et la lumière. Il est aussi celui de la poésie des coins et recoins, où l'Homme se réfugie et rêve parfois. S'il n'a jamais réussi à en saisir toutes les ambiguïtés, le penseur en a pourtant souvent reproduit et exploité les mécanismes. Ainsi parlons-nous de pliage subjectal : réfléchi, conçu, imité, apprivoisé. Mais la subjectivité seule ne peut pleinement qualifier le pliage. Alors pouvons-nous en discerner deux grandes dimensions caractéristiques, et cela indépendamment de la genèse du pli, qu'il soit plissé, froissé, courbé.



D'une certaine manière, le pli exprime un projet. Ou plutôt devrions-nous dire que le pli *représente* ce projet. Les ancestraux plieurs d'origami traditionnels utilisaient ainsi le pliage comme méthode de reproduction, tout comme les précurseurs de l'*Origamic Architecture*. Pour d'autres, comme le sculpteur papier Matt Shlian, le pliage se placerait comme l'héritage d'une certaine volonté formelle. Certains encore s'inspireraient du pli pour concevoir des systèmes mécaniques plus ou moins complexes,

à l'image de Klemens Torggler, dont l'expression, mais aussi la conception de ses projets est impossible sans pliage. Mais les usages pourraient également en être beaucoup plus techniques ou scientifiques, comme c'est le cas des stents, dispositifs médicaux utilisés notamment pour le maintien d'une artère ou d'une cavité naturelle. De ces manières, et de bien d'autres encore, convergent pliage et projet, tous deux buts par nature, fin en soi.

Mais parallèlement, nous l'avons vu, le pli peut également amener au projet, en être simplement le moyen. D'autres penseurs se sont ainsi approprié le pli en tant que méthode de recherche formelle pure. Ron Resch et les précurseurs de la géométrie appliquée, pionniers de l'informatique des années 1970 et 80 ont longuement travaillé sur papier avant de passer à la modélisation informatique pour des raisons évidentes de facilité de manipulation. Et le pliage en tant qu'acte fait indéniablement partie intégrante de protocoles créatifs artistiques tels que ceux de Simon Hantaï ou Jean-Claude Correia.

Pourtant, une telle définition possède des limites. Le pli n'est pas dual mais peut bel et bien appartenir à ces deux dimensions, et bien d'autres encore. Reste à tout un chacun de les définir.

« L'enfant naît avec vingt-deux plis [...] La vie de l'homme alors est complète. Sous cette forme il meurt. Il ne lui reste aucun pli à défaire. Rarement un homme meurt sans avoir encore quelques plis à défaire. Mais c'est arrivé. »

—Henri Michaux, Au pays de la magie, Gallimard, Paris, 1984

ptII

QUE
PEUT-ON
PLIER ?

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

PARTIE II

QUE PEUT-ON PLIER ?

Surfaces, Matériaux et Formes

A lors que notre pouvoir et notre ascendance nous offrent une vision extrinsèque de son existence, le pli nécessite, autant que l'Homme, un univers dans lequel il puisse exister. Aussi, tous ces chapitres ne s'intéressaient qu'à l'acte même du pliage, de manière sobre et presque épurée de toutes contraintes. Après de telles abstractions, il devient également nécessaire d'aborder pragmatiquement le pli, sa manière, son affectation.

Ainsi surface et forme, de par leurs spatialités, sont tous deux les principes-mêmes du pli, c'est-à-dire les conditions originales inéluctables de transgression dimensionnelle. Elles sont les conditions immatérielles du pli, elles en sont âme. Par opposition, sa matérialité en serait le corps, c'est-à-dire sa condition physique pure, à la fois contrainte mais aussi expression. Et comme âme et corps forment un tout, il est nécessaire de les aborder chacun au regard des autres.

que peut-on plier ?

II.1

Matériaux, explorations plastiques et production du pliage

Logiquement, dans un souci de concrétisation, la question du matériau semble ainsi inéluctable. Plasticité, épaisseur, diamètre, résilience sont tout autant de caractéristiques propres au matériau qui viennent définir et limiter le pliage. La question de la production de ces derniers est donc un point déterminant tant elle prédestine les futures possibilités. Entre tensions et contractions, tous les matériaux réagissent à leur manière et même si le papier et le tissu, privilégiés par leur caractéristiques plastiques évidentes restent facilement modelables et transformables, quelques autres matériaux offrent des perspectives exploratoires intéressantes. Dans un rapport de recherche intitulé *Technologie du pliage*⁷, Jean-François Brossin distingue trois processus de mise en pli des matériaux.

Le formage d'abord, qui consiste à plier ou cintrer par la force ce qu'il appelle un demi-produit (tube, feuille, barre, etc.). L'assemblage ensuite, qui permet de solidariser des pièces via différentes techniques, se rapprochant ainsi des principes d'articulation. Et enfin le moulage, processus par lequel le matériau en son état plastique vient occuper une cavité et se solidifie. Globalement, qu'il s'agisse de formage, d'assemblage, de moulage ou tout autre procédé de mise en forme, il est évident que l'échelle de destination du produit contraint fortement le choix de matériau et donc sa méthode de production.

II.1.a Le pliage par formage

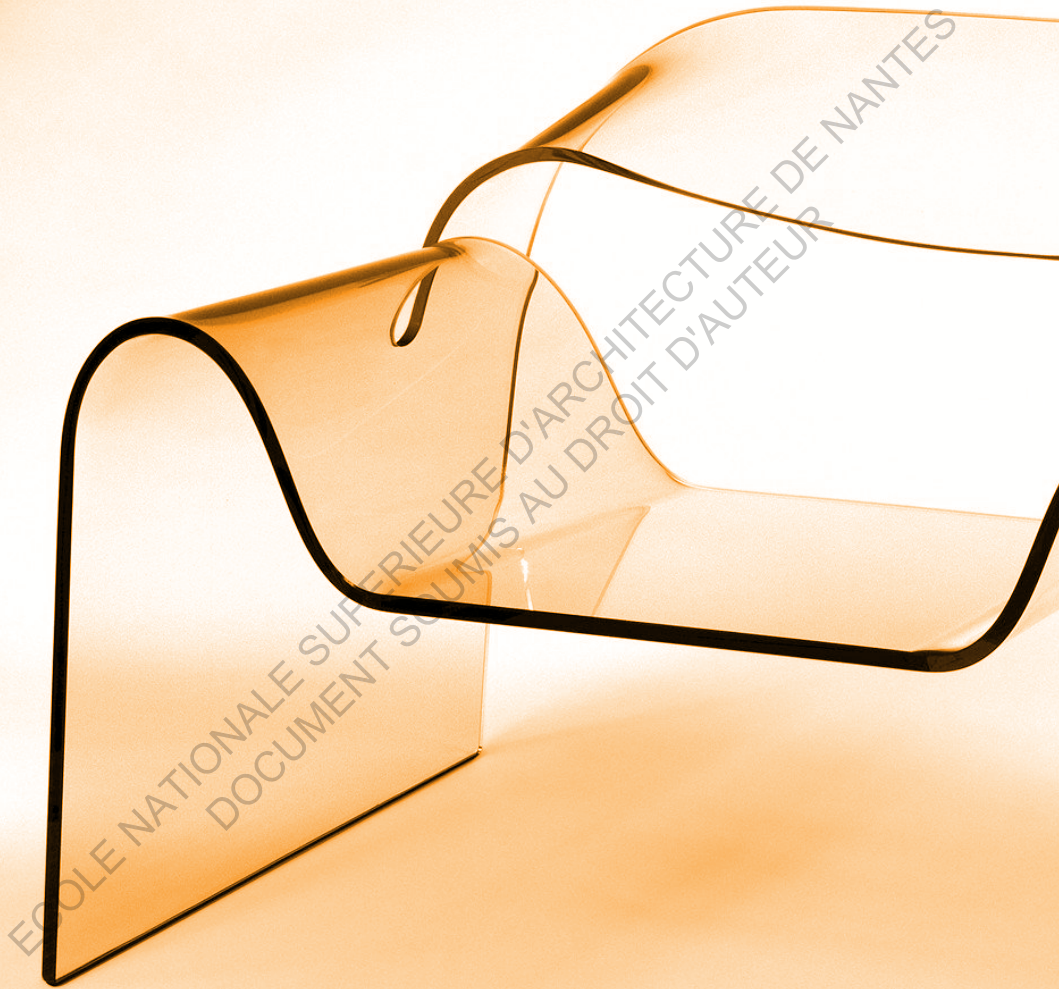
En exerçant une force directement sur une surface, le formage est le procédé de transformation qui se rapproche le plus de la pratique classique du pliage. L'un des matériaux ayant un rendu très similaire au pliage papier est la céramique pliée. Même si cette idée semble surréaliste, plusieurs technologies ont été

⁷ Technologie du pliage, in *Constructions plissées*, MELATT



(fig. 15) Oliver Vogt et Herman Weizenegger pour Kerafol GmbH,
porcelaine Keraflex, 2014. Céramique 1 mm (phot. Stylepark A.G.)

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



(fig. 16) Cini Boeri pour Fiam Italia S.p.A., fauteuil Ghost, 1987.
Verre thermoformé ép. 12 mm (phot. Corning Museum of Glass)

développées dans ce sens. Hideya Seki, à la tête de l'entreprise de céramique Kanyosha, dans la région d'Aritacho au Japon, a par exemple travaillé pendant plusieurs années sur de nombreux prototypes avant de pouvoir enfin perfectionner et finaliser sa recette, composée d'une solution de poudre céramique dans laquelle est trempé du papier washi. Chaque feuille, d'une épaisseur d'environ deux à trois millimètres est ensuite séchée puis les plis désirés sont soigneusement marqués à l'aide d'une pointe de pinceau humide, le tout étant enfin enfourné à près de 1250°C.

A Berlin, Oliver Vogt et Herman Weizenegger ont quant à eux mis au point une méthode alternative, en se basant sur la technologie d'une porcelaine jusqu'alors utilisée pour les systèmes de refroidissement d'ordinateurs. Le papier céramique *Kerafol*, épais de 0,5 à 1 mm et au format allant jusqu'au A3 se présente sous la forme d'une bande molle qu'il est possible de couper, perforer, plier, cintrer, laminier et glacer permettant la création de nombreux modèles aux rendus fins et translucides. Même si cette dernière solution, à la technologie plus complexe que la précédente, permet entre autres une certaine translucidité, la céramique pliée n'est principalement utilisée qu'à des fins décoratives et d'ornementation. Ce procédé restant limitée à une petite échelle, il est néanmoins aisé d'en effectuer le pliage et la simple force humaine suffit à la transformation du matériau.

La grande majorité de la production industrielle par formage est ainsi utilisée pour la conception et la réalisation d'éléments de mobilier. En 1972, l'italien Vittorio Livi fondateur de l'entreprise Fiam, crée sa première pièce de mobilier entièrement réalisée à partir d'une seule feuille de verre transformée par thermoformage, procédé permettant de donner volume et texture à n'importe quel type de verre. En fait le thermoformage par pesanteur, dit en goutte, utilise la gravité comme force de pliage naturel. La feuille de verre est d'abord placée de manière autoportante au-dessus d'un moule, généralement creux qui fera office de réceptacle, avant d'être assujettie à une montée progressive de la température

que peut-on plier ?

d'environ 800°C, jusqu'à ramollissement. Température et temps de cuisson étant déterminés par l'épaisseur et le type de verre. A partir de cet instant, la feuille se déformera mollement dans le vide sous l'effet de son propre poids, descendant jusqu'au moule et épousant sa forme et sa texture. Il est également possible, tout en gérant efficacement la cuisson, de stabiliser la forme avant qu'elle ne touche le support. Ce procédé dit de bombage permet d'obtenir une forme plus brillante et transparente. Le verre sera ensuite entièrement recuit avant d'être définitivement refroidi par paliers, permettant à des designers tels Prospero Rasulo ou Cini Boeri de créer des chaises, tables et autres mobiliers à partir d'une seule et unique feuille de verre.

Mais le thermoformage, qui par définition est la transformation d'un matériau par application de chaleur, est plus fréquemment utilisé pour des matériaux polymériques tels le Polyméthacrylate de méthyle, autrement appelé Plexiglas. L'entreprise allemande Hannecke Display Systems, par exemple, travaille plus particulièrement avec ce matériau et s'applique à créer des présentoirs par pliage thermique tout en veillant à conserver les propriétés de transparence et de solidité qui constituent les principales qualités du polymère. En associant son savoir-faire avec des techniques de pliage de courbe dans l'espace, elle parvient de fait à produire divers objets et mobiliers au design élané. Les caractéristiques plastiques des polymères sont ainsi particulièrement permissives quant au pliage de courbe puisqu'un très grand nombre de projets similaires peuvent en attester, comme *Flux Furniture* qui ne nécessite rien d'autre que la force humaine pour sa mise en forme grâce à la gravure de rainures courbes sur la surface.

La mise en forme du métal quant à elle nécessite des forces parfois beaucoup plus fortes, à l'image de la *Pixel Chair* de Thomas Feichtner pliée dans une presse hydraulique industrielle. Mise à part les techniques classiques de pliage à froid (pliage en l'air ou pliage en frappe) réalisable par des presses plieuses et selon un axe droit bien défini, d'autres méthodes facilitent la

génération de modèles pliés et libère des contraintes techniques trop importantes. La collection de mobilier *Bent*, des designers Stéphane Diez et Christophe de la Fontaine propose sofas, tables et tabourets réalisés dans une feuille d'aluminium de 3mm perforée au laser au niveau des plis avant d'être pliée. Certains matériaux composites à base de métaux, type *Alucobond* ou *Tecubond* (feuille de polyéthylène prise en sandwich par deux feuilles d'aluminium ou de cuivre) permettent également le pliage par thermoformage.

Les panneaux composites prennent ainsi une part de plus en plus importante dans la création contemporaine de mobilier puisqu'associant les qualités respectives de plusieurs matériaux en une surface unique. Le *Dibond*, fabriqué par 3A Composites est par exemple utilisé par Aleksii Penttilä (collectif finlandais Rehti) pour la création de la *Wide Chair*. Il s'agit cependant d'un matériau composite si souple qui ne nécessite même pas de chaleur pour pouvoir être plié du fait de sa très fine épaisseur.

La superposition de différentes couches est à la base même du concept de bois contrecollé. Les feuilles, en grande partie tranchées dans du bois reconstitué, et moins fréquemment déroulées d'un seul élément, sont contraintes et pressées à l'aide de moules jusqu'à séchage de la colle. Cette méthode fut particulièrement utilisée pour de grands designs modernes, comme la longue chaise de Marcel Breuer, la *Lounge chair* de Ray et Charles Eames ou encore les créations de Carlo Mollino. Notons tout de même l'emploi plus récent de cette technique de contreplaqué moulé par l'architecte danois Peter Karpf pour la création de sa collection de mobilier *Voxia*, qui s'applique à n'utiliser qu'un seul et même panneau de contreplaqué courbé, donnant naissance à chaises et fauteuils minimalistes.

En outre, le bois peut être transformé d'une multitude de manières différentes. La technique de cintrage par vapeur remonte à Michael Thonet qui développa cette méthode dès 1841, mais nombre d'artistes et designers se sont illustrés par la suite, à l'image des expérimentations sur contrecollé d'Alvar Aalto et Otto Korhonen

que peut-on plier ?

ayant donné naissances aux sièges les plus innovants de l'époque moderniste. Généralement, le bois est d'abord séché pour en réduire l'humidité, avant d'être coupé aux dimensions désirées, il est ensuite étuvé de manière à être suffisamment humide pour en ramollir ses fibres. La pièce est enfin soumise à une forte pression et une certaine chaleur permettant de sécher le bois dans une presse. Parfois simplement cintré, sans exposition à la chaleur, le bois sera dans tous les cas placé en séchoir pendant quelques jours avant d'être utilisé ou assemblé à d'autres pièces.

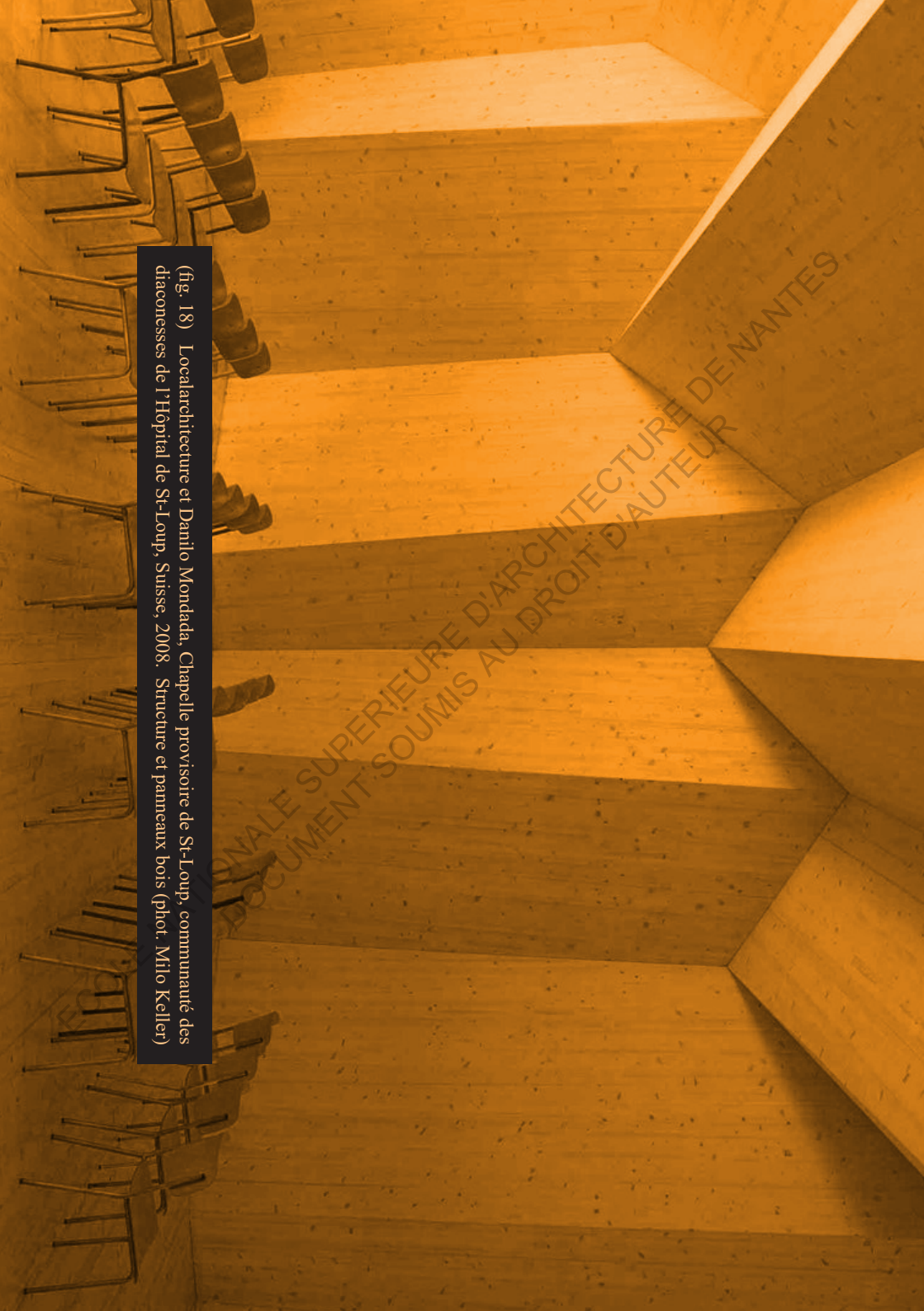
Certains designers n'hésitent pas à utiliser d'autres matériaux encore plus inédits. Daniel Michalik par exemple travaille particulièrement le liège. Sa chaise longue courbée, prenant la forme d'un seul bloc pressé, entaillé et contraint, exploite à la perfection les caractéristiques de souplesse et de résistance du matériau. Marc García-Durán Huet réalise quant à lui *Nenen*, une sorte de panneau sculpté en *Corian*, un matériau composite en résine d'acrylique et minéraux développé par l'entreprise DuPont. Transformable, pressable et thermoformable de la même manière que le bois, ce matériau est aussi souple à utiliser qu'un polymère et est tout à fait capable de résister aux intempéries en usage extérieur.

Enfin il est intéressant de noter que la méthode de formage puisse être utilisée à des échelles un tant soit peu variées, se détachant de l'univers du mobilier. La canadienne Delphine Huguet est une designer culinaire et plasticienne particulièrement sensible à l'influence de la forme de ce que nous mangeons sur la dégustation. Sa création, *Eat-it*, n'est ni plus ni moins qu'un bloc de post-it comestible aux goûts et couleurs variés qu'il est possible de plier en une multitude de modèles d'origami.

Dans un tout autre registre, Jean-Paul Moscovino imagine de grandes sculptures en acier toutes issues d'un seul plan plié. Ses personnages abstraits, élancés et effilés sont maquetés d'abord sur papier avec d'être pliés à grande échelle (environ 3 mètres de hauteur). Travaillant ainsi la découpe, le pliage par

(fig. 17) Delphine Huguet, Eat-it,
2009. Papier comestible (phot. auteur)





(fig. 18) Localarchitecture et Danilo Mondada, Chapelle provisoire de St-Loup, communauté des diaconesses de l'Hôpital de St-Loup, Suisse, 2008. Structure et panneaux bois (phot. Milo Keller)

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

martelage, parfois même la soudure et le pressage hydraulique, Moscovino conçoit et adapte ses sculptures au fur et à mesure de la construction, redéfinissant à chaque pli l'anatomie et l'architecture de ses créations.

II.1.b_Le pliage par assemblage

Ainsi, la question de soudure nous rapproche d'un autre procédé de mise en pli : l'assemblage. De manière générale, les métaux offrent de bonnes possibilités pour des pliages simples tout en alliant solidité et résistance aux aléas mais possèdent en contrepartie une esthétique industrielle à la mise en œuvre parfois exigeante. Encore une fois, leur utilisation dans l'ameublement ou dans la construction est très commune et les projets sont foison. La suisse Raquel Vega de DesignVega par exemple s'attache particulièrement à travailler le métal plié et assemblé par soudure. Sa *Chaise III* est réalisée grâce à 3 feuilles d'acier inoxydable courbées et maintenues en place par soudure. Elle a également imaginé un escalier formé à partir de feuilles métalliques pliées et soudées au support.

A l'inverse des méthodes d'assemblage mécanique (boulonnage, agrafage ou rivetage) la soudure assure la continuité de la matière par assemblage permanent de métaux, formant une surface de nature continue. Ainsi la multitude des procédés de soudage métallique – à l'arc, par friction, aluminothermique, etc. – font généralement intervenir la notion de chaleur et s'attaquent à la structure atomique même des matériaux, se différenciant des méthodes d'adhésion classiques (collage). Mais cette technique immobilise les pièces dans une position bien définie et s'assimile plutôt à la *simulation* du pliage. Néanmoins, ce procédé peut également être appliqué aux thermoplastiques (lame ou miroir chauffant(e), ultrasons) et même au bois (friction). Des laboratoires tels celui de l'ENSTIB (École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois) ou de l'EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) explorent les possibilités de cette dernière technique : les pièces de bois sont frottées

que peut-on plier ?

tout en appliquant une pression, et la température obtenue par friction en ramollit les molécules (lignine et hémicellulose) qui s'enchevêtrent alors. Mais les fibres, fragilisées, sont sensibles aux variations environnementales et le soudage bois est une méthode encore trop peu fiable, valable uniquement pour un usage intérieur et protégé.

Cintrage du bois, pressage, contrecollage, ces méthodes n'en restent pas moins contraignantes et la courbure du bois ne peut être modifiée après production. S'il est ainsi difficile à souder ou à plier, sous peine de briser ses fibres, le bois peut aisément être travaillé pour pouvoir être assemblé mécaniquement. Généralement, il est utilisé en panneaux assemblés à la manière de modules. A l'échelle de bâtiments, cette technique s'emploie couramment, et la chapelle temporaire de Saint-Loup, près de Lausanne en Suisse en constitue un exemple de choix. De prime abord, la forme globale ressemble fortement à une travée autoportante irrégulière. Les architectes mandataires de l'agence *Localarchitecture* ont en effet collaboré avec le laboratoire IBOIS de l'EPFL, dont les recherches portaient sur les structures plissées. Ils développeront ensemble un système structurel de panneaux en bois contrecollé, découpés par commande numérique et assemblés par des tôles métalliques pliées. Le volume plissé généré propose ainsi un espace large et horizontal à son entrée, puis se resserrant et s'élevant pour devenir vertical vers le cœur de la chapelle. Le bois est ici utilisé aussi bien pour ses caractéristiques esthétiques que structurelles qui, associées à la forme autoportante de la travée pliée, assurent une construction sobre et élégante.

Le bois est ainsi relativement bien adapté lorsqu'il est utilisé en module, particulièrement à une échelle objectale. Conçu par Tim Herok, *Foldtex* est par exemple un système léger de surface pliable composée de plusieurs couches de matériau : une couche de base souple de 3 mm et au moins une couche rigide et résistante, généralement du bois dont les motifs de plis sont marqués par machine à commande numérique. De ce fait, la première couche, souple et pliable agit comme un système de charnière pour la



(fig. 19) Elisa Strozyk, Wooden Textile no1, 2008. Bois (cerisier et érable) sur textile coloré (phot. Studio Been)



(fig. 20) Lella Chu et Ariel Auslender, Technische Universität Darmstadt, Instant Home, 2014. Maquette d'étude, papier et carton (phot. Sandra Junker)

seconde, qui assure la stabilité et la résistance de l'ensemble. Si la couche extérieure peut aussi bien être en papier qu'en tissu, il est également possible d'ajouter d'autres couches telles du cuir, de l'aluminium fin, du pvc etc.

Le concept est également à la base des travaux de la designer textile allemande, Elisa Strozyk. Habituellement, le bois est considéré comme une surface plane, mais la créatrice décompose le matériau en une grille de triangle qu'elle fixe ensuite sur un textile de manière à proposer une nouvelle expérience tactile. Les combinaisons, les dimensions et les motifs de plis pouvant varier indéfiniment, les possibilités allouées par un tel système de conception proposent une certaine liberté dans la création de modèles dynamiques et interactifs.

Ce système multicouches qui s'appuie sur la combinaison de deux composants aux propriétés complémentaires est le principe même d'un autre matériau pourtant plus commun : le carton. Qu'il soit alvéolaire ou ondulé, plume ou contrecollé, le carton épais est utilisé de manière très répandue dans la conception de meubles ou objets décoratifs, voire de micro-architectures. Bien que composé généralement d'un unique matériau – le carton étant d'origine similaire au papier – ce sont des associations entre structures souples, offrant une certaine résistance (ondulations, nids d'abeilles), avec la flexibilité de feuilles qui permettent des capacités plastiques égales voire supérieures aux systèmes précédents tout en étant drastiquement moins coûteux (cf. *Papton chair*, W. Fuchs + K. Funke ou encore les mobiliers de Nicola Enrico Stäubli *op. cit*).

Facilement transformable et assemblable, le carton peut être utilisé dans une perspective de sensibilisation spatiale. Le collectif espagnol CartonLab officie ainsi depuis 2009 et promeut l'utilisation de ce matériau léger, durable et fonctionnel. Créateurs de mobiliers en carton selon les mêmes préceptes que les exemples ci-dessus, les dix architectes et designers conçoivent également des scénographies et des installations réalisées entièrement dans

que peut-on plier ?

ce matériau. Leur projet *Playday in Bilbao : Mobydick* est une installation éphémère constitué d'une structure modulaire en carton en forme du fameux cétacé. Pensée et conçue pour favoriser la participation et la stimulation des enfants, l'installation était composée de 50 modules assemblés par colliers plastiques et était directement montée sur place avec les enfants.

Mais le carton est également utilisé pour la recherche spatiale et architecturale, à l'image des projets et travaux menés par le collectif Waste.arc à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier. Associant étudiants et chercheurs, ce collectif cherche à explorer divers dispositifs spatiaux, déployables ou non, en pliant, courbant ou associant divers modules cartons, gravitant par la même occasion autour de la problématique de la valorisation de déchets. Au-delà de travaux expérimentaux, le carton se voit également utilisé de manière beaucoup plus concrète dans la construction. Si Shigeru Ban l'emploie sous la forme de tubes pour tout une multitude de projets, nombreux sont les autres exemples de projets d'architecture temporaire ou d'urgence exploitant la facilité de mise en œuvre du matériau. A la Technische Universität de Darmstad, une équipe pluridisciplinaire composée notamment des professeurs Ariel Auslender, Markus Biesalski, Samuel Schabel et de la designer Leila Chu travaillent sur l'élaboration de l'Instant Home, un abri compact pliable et déployable entièrement réalisé en carton résistant aux intempéries. L'idée étant que cette maison pop-up puisse être transportée facilement et montée de manière intuitive, rapide et sans instructions particulières, tout en étant stable et peu chère, le coût de la construction ne dépassant pas 2000€.

II.1.c Le pliage par moulage

Si les assemblages emploient de manière évidente la cinétique et les qualités structurelles du pliage, les matériaux moulés semblent s'en écarter. Pourtant, en associant continuité de la matière et codes esthétiques, nombre d'entre eux sont en réalité hérités d'une réflexion morphologique autour de la question du pli.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les emballages froissés ou compactés de Lucie Dorel sont intimement liés au pliage. Sa série de tests de bouteille pré-compactée est un exemple particulièrement intéressant quant à la question du moulage puisqu'après des centaines d'essais de compression puis dépliage de bouteilles plastiques, elle sélectionna soigneusement la forme la plus adaptée, qui fut ensuite reproduite par moule en résine. De fait, le relief créé par les plis annonce la déformation de la bouteille qui, compressée, sera plus facilement recyclable. Un tel moulage agit ainsi comme le patron permettant la reproduction rapide et efficace d'une forme pliée présélectionnée.

De manière similaire, le moulage est communément utilisé pour la conception et la production de contenants et de récipients. Après sa rencontre avec Pietro Seminelli en 2008, Charlène Fétiveau s'intéresse au pliage et réalise *Folded Cake*, un moule plié et jetable en papier cuisson contenant une préparation toute prête de pâte, qui une fois cuite, propose un gâteau en forme de travée en V. Faute de partenaires lui permettant de poursuivre, elle se lance dès 2012 dans un autre projet *Les petits plats dans les plis*, une collection d'objets de table en porcelaine. Dans ce dernier, la partie immergée du travail consiste à plier diverses feuilles de papier cartonnées qui formeront un moule en plâtre unique. Une barbotine de porcelaine est ensuite coulée, puis les pièces sont émaillées à l'intérieur uniquement, de manière à laisser l'extérieur des plats brut. Le grain du papier, ses aspérités et les renflements dus aux plissés seront ainsi totalement visibles.

Au-delà de la porcelaine, d'autres designers s'appliquent à employer du béton. L'artiste israélien Ofir Zucker s'est associé au plieur Ilan Garibi pour réaliser la collection Palmas, des vases en béton coulés dans des moules en papier congelés. Chaque moule est unique et est plié à la main, comprenant entre 150 et 250 molécules – ou motifs – en fonction de sa taille. De manière à rigidifier l'ensemble et à en assurer la solidité tout en conservant un certain niveau de détail et une précision de pli importante, il fallait trouver une solution technique innovante, d'autant plus

que peut-on plier ?

que le papier devait maintenir plus de 5kg de béton liquide sans gonfler ou s'effondrer. La forme même du pliage et le choix du motif permettent, alliés à l'usage d'un papier épais et celui de la congélation, une résistance optimale. Les seuls inconvénients de cette technique sont le fait que le moule ne puisse être utilisé qu'une seule fois et que le papier doit être retiré petit à petit du béton, comme s'il était épluché. L'objet final en béton conserve cependant les lignes exactes du modèle papier, nettes et précises.

Parallèlement, le mobilier moulé est lui aussi très répandu. Ainsi la production en matière plastique est généralement calquée sur le même modèle : les thermoplastiques sont injectés par une presse dans des moules permettant en une seule opération la création de formes finies. L'un des exemples les plus représentatifs de cette méthode de production n'est autre que la *S Chair* du danois Verner Panton créée dans les années 1960, mais il existe littéralement des milliers de modèles et techniques similaires.

Aujourd'hui, de nombreux autres matériaux sont également moulés. *Ductal* est une marque déposée par les groupes français Bouygues et Lafarge relative à un béton fibré à ultra-hautes performances. Développé pour du mobilier urbain, il est notamment mis en œuvre dans la collection *MAD* dessinée par Jérémy Bataillon, qui propose fauteuils, ottomans, tables basses et bancs moulés prenant la forme d'une seule et même surface pliée et repliée sur elle-même. L'intérêt réel de ce matériau réside dans son importante solidité, permettant de créer de grandes structures très fines de 8 à 10mm d'épaisseur, sans pour autant nécessiter de renforts structurels.

II.1.d Pli et Énoncé

De fait, dans un rapport plus que fondamental à la question de la faisabilité, l'industrie dans son ensemble répond à une très grande diversité de logiques de production en proposant des processus de génération et de développement du pli tous aussi variés. De plus, la problématique du matériau relève également de notions

(fig. 21) Jérémy Bataillon, Collection MAD, Éditions Ateliers du Béton, 2006. Fauteuil, béton fibré à ultra-hautes performances, Lafarge et Bouygues Construction (phot. Véronique Huyghe)



que peut-on plier ?

de *capacité*, de potentialité : élasticité, plasticité etc. La formation et la déformation du matériau représentent ainsi le principal enjeu du pliage, c'est un fait. Mais au-delà de simples questions productives factuelles, ce qui nous intéresse ici serait davantage la portée, l'incidence du matériau sur le pli.

Par analogie, la linguistique définit l'énoncé en contraste avec la phrase. Tandis que la signification de la phrase dépend de sa structure grammaticale (choix du type de pliage), le sens de l'énoncé dépend quant à lui de conditions d'énonciation (choix de production du pliage). Ainsi, en opposition au premier chapitre posant l'état des choses, l'idée est ici de démontrer qu'en plus du type de pliage, c'est la manière dont il est effectué qui permet d'apporter un contraste significatif à l'ensemble.



Ainsi, le pliage α conserve la même structure grammaticale, les mêmes plis, quel que soit le contexte. Par contre, son sens et sa portée seront radicalement différents que le pliage soit réalisé en bois, papier ou métal. La phrase elle-même n'aura pas changé, mais son énoncé oui. La problématique du matériau pose alors la question beaucoup plus large de la production du pliage, qu'elle soit industrielle, artisanale, fortuite, procédurale, etc.

II.2

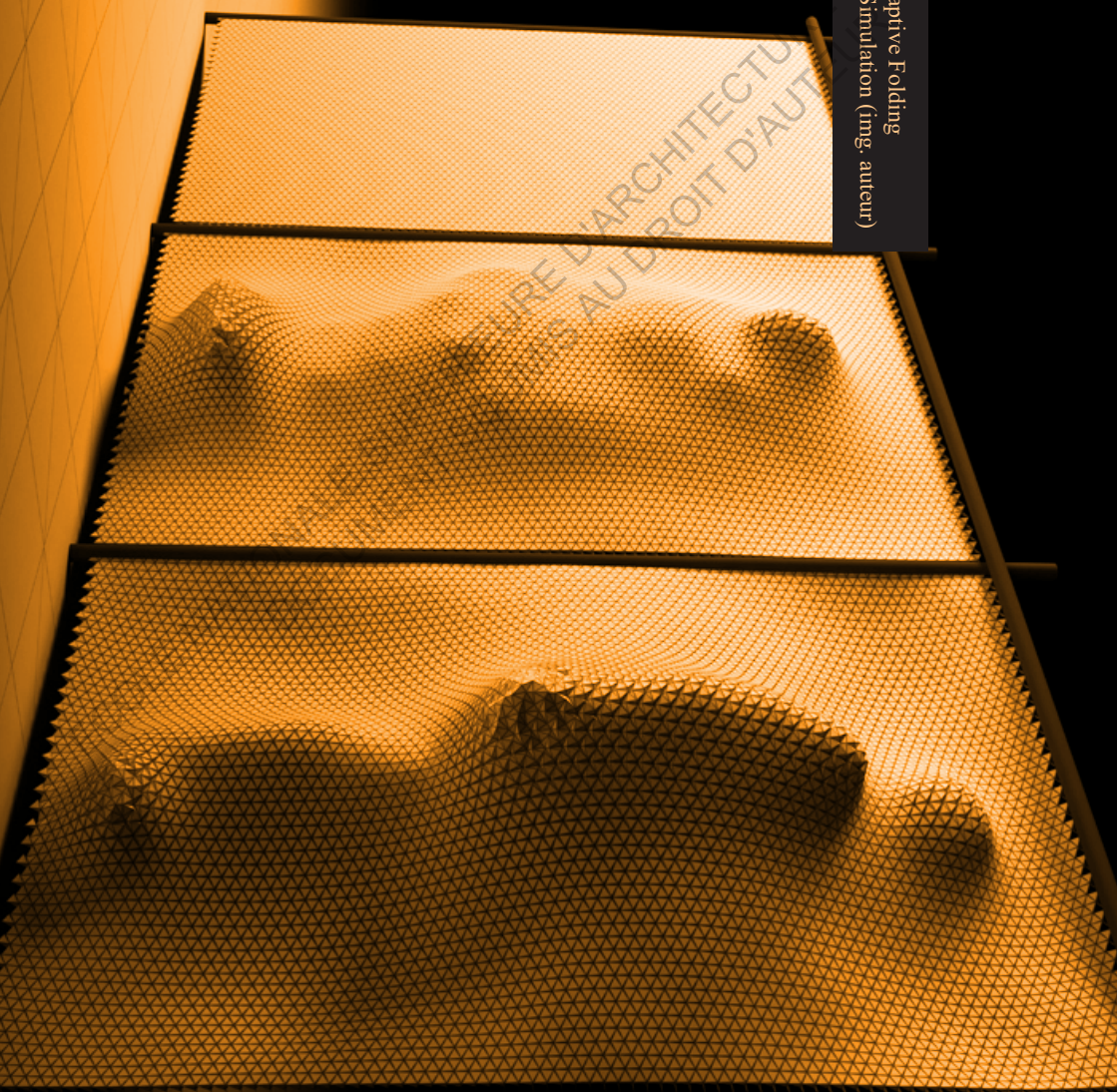
Travail des surfaces et tessellations

II.2.a_Division de la surface

La pratique du pliage est restée pendant des siècles figée. Jusqu'au début du XXème siècle, son application n'était limitée qu'à quelques modèles d'origamis traditionnels asiatiques, sans réelles mutations. C'est pourtant au tournant de grandes révolutions artistiques et culturelles occidentales, notamment à l'époque du Bauhaus, que l'intérêt pour la pratique fut largement remis au goût du jour. Dirigeant dès 1923 dans cet institut un atelier sur les matériaux et la construction, Josef Albers y proposera des techniques d'enseignement expérimentales basées notamment sur l'exploitation des qualités plastiques du papier. L'histoire raconte que, lorsqu'il demandait à ses élèves de transformer des vieux journaux en respectant le matériau tout en tenant compte de ses spécificités, il n'obtenait qu'un amas hétéroclite d'objets et modèles en tout genre qui ne le satisfaisait absolument pas. Ce n'est que lorsqu'un jeune étudiant hongrois plia la feuille en deux dans le sens de la longueur puis la posa simplement sur la tranche qu'Albers se ravit, expliquant alors que, par ce geste si naturel fut-il, le matériau était complètement assimilé.

Étant composé à près de 90% de fibres végétales empruntées au bois – le reste étant généralement issu d'autres plantes telles bambou, coton, paille etc. – la texture fibreuse du papier lui alloue des caractéristiques de souplesse et de transparence fortement appréciées notamment dans la conception de *tessellations*, c'est à dire le quadrillage, le pavage d'une surface par différents motifs de plis. Thomas Diewald, étudiant en architecture, travailla en ce sens le motif du *triangle twist* dans un pavage particulièrement flexible. Dans la perspective de créer une *forme qui emballe le corps humain*, un tissu était ainsi plié selon ce motif puis tendu verticalement. L'installation expérimentale se voulait l'adaptation

(fig. 23) Thomas Diewald, Adaptive Folding
Structure, 2010. Maya NClloth Simulation (img. auteur)



d'une surface bidimensionnelle à une forme extérieure au moyen du pli. Le corps n'était alors défini que par un ensemble de formes organisées intrinsèquement à la surface, sans bord ni repère extérieur à son existence propre.

Mais la matérialité de la surface peut également être composée et travaillée en elle-même. La designer israélienne Mika Barr emploie ainsi la sérigraphie avec quelques adaptations et motifs de pli qu'elle transfère sur du tissu dans une série, *Folding a Part*. De cette manière-ci, la géométrie appliquée structure la surface. Les faces imprimées, plus rigides, font office de facettes tandis que les parties non-imprimées, plus souples, remplissent le rôle de charnière, d'articulation de l'étoffe. Dans un tel processus, que les formes soient géométriques ou organiques, le pliage se retrouve intégré comme une nouvelle couche indissociable de la surface. La méthode utilisée n'est jamais destructrice et le tissu conserve toutes ses caractéristiques plastiques vitales : souplesse, chaleur, esthétisme et transparence.

D'autres procédés insistent davantage sur le caractère pluridimensionnel de la surface pliée, notamment sa dilatation et sa contraction. C'est spécifiquement le cas d'*Airwood*, un bois gonflé développé par Steven Leprizé et Erick Demeyer pour les ateliers ARCA. Offrant à un matériau aussi noble une dimension qui ne lui est absolument pas commune, ce procédé fait apparaître sur un panneau bois une forme dont le gonflement entraîne le plissement dû à de fines écailles. La surface quadrillée ainsi composée d'une membrane étanche élastique sur laquelle est plaquée une marqueterie bois et est mise en mouvement et en volume grâce à un système pneumatique.

Ainsi, ces quelques exemples renvoient à un concept commun déjà largement développé jusqu'ici : les motifs. Après une démarche réductionniste estimant que les pliages ne pouvaient alors qu'être divisés et expliqués uniquement grâce à leurs motifs⁸, nous proposons ici une approche plus holistique en considérant

8_ Les motifs et quadrillages: travées, paraboles et autres formes souples

que peut-on plier ?

les phénomènes de motif et de pliage comme étant un ensemble indivisible définissable exclusivement dans son ensemble.

Indirectement, le sujet des tessellations a donc déjà été plus ou moins abordé, mais il est intéressant d'en approfondir à la fois ses méthodes de conception et ses applications et utilisations potentielles dans l'optique de comprendre les relations entre pliage et surface. Les pavages complexifient ainsi les surfaces, apportent un jeu complémentaire de texture et de volume de la feuille, tout en proposant une souplesse notable. Ils donnent profondeur à la surface. Les tessellations peuvent ainsi être classées en quatre catégories.

Les quadrillages classiques, découverts par les précurseurs en la matière, sont aujourd'hui encore le type de tessellation le plus commun. En se basant sur deux quadrillages principaux, le carré et l'hexagone, les motifs ainsi pliés peuvent s'étendre dans toutes les directions, couvrant ainsi une surface continue. Par nature, la surface finale possédera un nombre impair de couches, cela étant notamment dû au fait que, lorsque le papier est plié dans un certain sens, il doit également être plié dans le sens opposé de manière à former une certaine continuité. Cette accumulation de couches, à la transparence relative, permet entre autres des effets lumineux et de textures parfois très élaborés.

La seconde catégorie peut être représentée par ce que l'on appelle les surfaces striées, ondulées. Ces quadrillages ne possèdent pas plusieurs couches superposées, mais au contraire offrent la totalité de la surface du papier visible à l'œil. Le motif plié, qui peut tout à fait être un plissé basique ou un pliage courbe, prendra ainsi la forme de vagues. Ici, l'effet de profondeur n'est de fait pas très important et la composition se concentre davantage sur le volume lui-même.

Les quadrillages récurrents sont quant à eux uniques. Le concept de ce type de tessellation étant la réalisation du même motif de pli à une échelle plus petite de manière répétée, parfois de

manière radiale et rappelant des formes fractales. Un protocole de pli génère un motif particulier, à l'intérieur duquel le même protocole sera appliqué, etc.

Enfin, les tessellations dites organiques offrent généralement des volumes en trois dimensions plus expressifs. Elles sont essentiellement pliées de manière répétitive (deux plis dans un sens, un dans l'autre) et c'est notamment par la répétition et la transformation des motifs que le pliage se courbe, prenant de l'ampleur et du mouvement. De fait, ces tessellations rejoignent les pliages organiques de Joel Cooper, Goran Konjevod ou encore Paul Jackson précédemment évoqués.

Il s'avère que l'utilisation de motifs permet donc au penseur de partitionner l'espace intérieur de la surface en s'injectant au sein même de la matière. En devenant une caractéristique plastique presque assimilée, le motif plié devient élément indissociable de la surface, au même titre que ses fibres ou atomes. A la manière de lignes sur les pages d'un cahier, les quadrillages définissent l'espace, les dimensions où les plis s'écriront.

II.2.b_Constitution de tessellations et élaboration de motifs

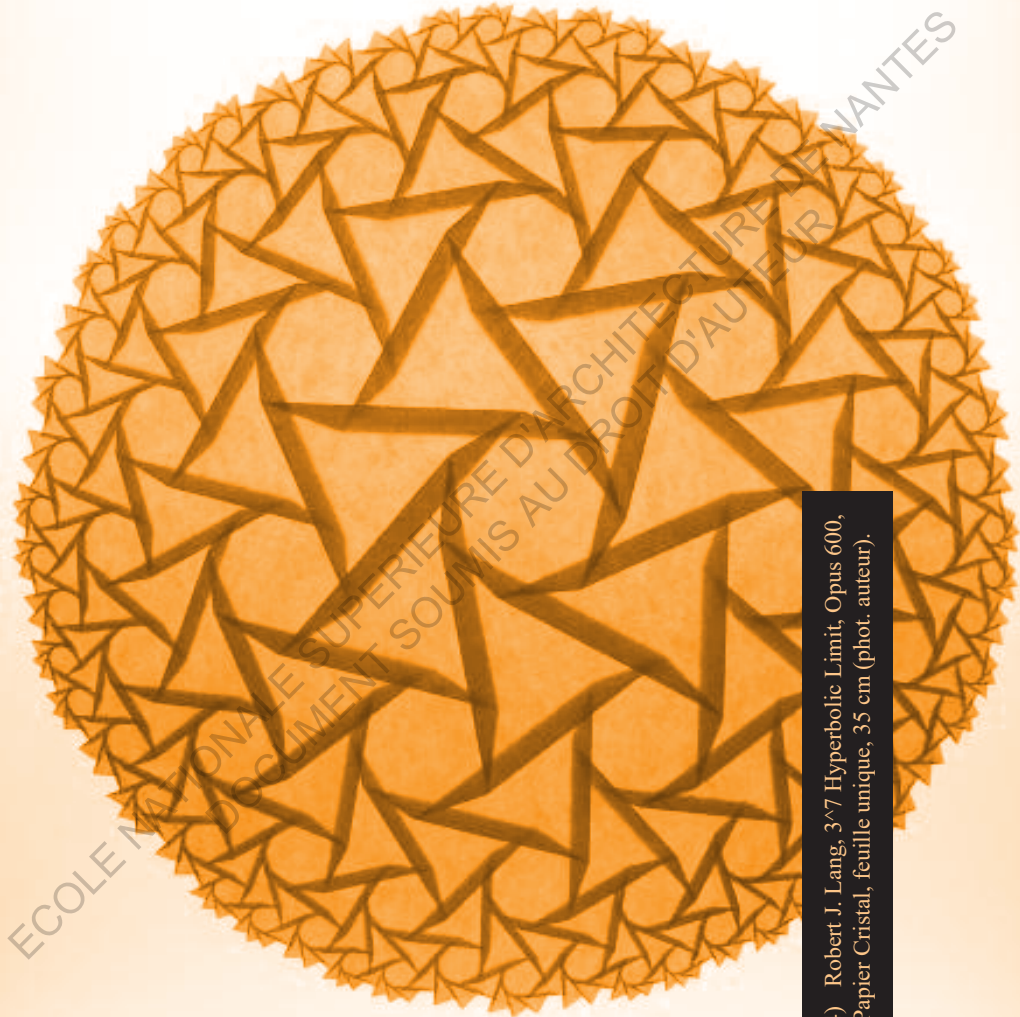
Avant d'être développées dans des styles beaucoup plus contemporains, comme ceux de Paul Jackson, Joel Cooper ou encore Chris Palmer, les plus grandes découvertes dans le domaine des tessellations furent réalisées durant les années 1960 et 1970 par de grands maîtres tels Yoshihide Momotani ou encore Shuzo Fujimoto. Nous devons à ce dernier les premières explorations du *twist fold* (ou pli-pivot, motif carré pivotant de 45° lors du pliage) en assemblages systématiques et ce dès les années soixante. S'en suivront des douzaines d'autres essais avec divers motifs ainsi que de très nombreux modèles aujourd'hui classiques, tel le populaire quadrillage récursif formant un hortensia fractal. Fujimoto établira dès lors les bases des tessellations pliées contemporaines.

Mais, à la même période, les travaux menés par Ron Resch

que peut-on plier ?

n'étaient pourtant pas encore reconnus dans le monde émergent du pliage. S'il fallut attendre près de 20 ans pour qu'ils accèdent à une certaine reconnaissance, ces derniers s'avéreront cependant plus que fondamentaux dans l'élaboration de surfaces tessellées. Dans un documentaire intitulé *The Ron Resch Paper & Stick Film*, sorti en 1992, proposant un tour d'horizon des travaux du chercheur de 1960 à 1966, il dévoile la manière pour le moins intéressante et innovante par laquelle il en est arrivé à créer de nouveaux motifs. Débutant de manière très simple à froisser lentement et progressivement une feuille de papier, il applique divers mouvements de rotation ou de torsion avec ses doigts. Sélectionnant les résultats avec patience, il commencera alors à tracer les plis sur ces feuilles, d'abord de manière grossière suivant les sinueuses marques, puis de manière plus subtile et géométrique en simplifiant courbes et angles. Disposant ainsi d'une collection de motifs choisis, il tentera d'en créer tout un panel de variations avant de les assembler entre eux afin d'obtenir une variété d'effets lumineux ou surfaciques. S'il travaille de cette manière-ci pendant de longues années, toujours en pliant de grandes feuilles uniques, il commencera alors progressivement à réaliser des modèles en bâton de bois statiques puis cinétiques, en s'inspirant de ses modèles papier. Il glissera ainsi vers la création de modèles en trois dimensions en poursuivant ses explorations, toujours en s'appuyant des méthodes acquises lors de ces premières expérimentations.

L'intérêt pour les tessellations devient alors exponentiel, et une nouvelle génération s'est rapidement appliquée à repousser les limites de cette toute nouvelle dimension du pliage. Robert J. Lang, physicien, artiste et théoricien de l'origami développa les acquis aussi bien informatiques que pratiques de principes mathématiques de pliage, hérités de ces précurseurs. La richesse de ses travaux sur les pavages, parfois maquetés et testés sur ordinateur avant réalisation, procura de nombreuses avancées dans ce domaine. A l'origine de nombreux quadrillages, qu'ils soient classiques (*Tetrahedral Truss / opus 682*, *3D Wall / opus 662*, etc.) récursifs (*3[^]7 Hyperbolic Limit / opus 600*, *Squaring the*



(fig. 24) Robert J. Lang, $3^{\wedge}7$ Hyperbolic Limit, Opus 600, 2014. Papier Cristal, feuille unique, 35 cm (phot. auteur).



(fig. 25) Eric Gjerde, Pinwheel Tessellation (Reverse Backlit), version, 2013. Papier (phot. auteur)

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Circle / opus 596 etc.), ondulés ou même organiques, Lang publia plusieurs ouvrages inter-complémentaires relatifs à la physique et au pliage et contribua à l'application de concepts de pli dans la résolution de problèmes concrets d'ingénierie (structures, airbags etc.).

Ainsi, la première convention internationale dédiée à la pratique des tessellations eu lieu en 2006 à Brasília, et il fallut attendre 2008 pour que le premier livre consacré pleinement aux quadrillages pliés soit publié par un certain Eric Gjerde. Plus récemment encore, Chris Palmer a travaillé de manière approfondie sur l'application des tessellations au textile. Dans un ouvrage intitulé *Shadowfolds*, écrit en coopération avec Jeff Rutzky et publié en 2011 aux éditions Kodansha America, il démontre les possibilités de création et de combinaisons infinies permises par le textile à la fois matériau souple et translucide, allié à la richesse esthétique et les effets de profondeur des tessellations. A l'origine passionné par les pavages et mosaïques palatiales de l'Alhambra, il se tourna rapidement vers les travaux de ses aînés Fujimoto ou Lang. C'est ensuite que la transition papier/textile opérera et que, grâce au pliage géométrique, il proposera une expression artistique unique du matériau. Très vite rejoint par d'autres artistes, ces explorations se poursuivront jusqu'à aujourd'hui. Procédant d'une manière similaire à l'Atelier Lorgnon précédemment évoqué, avec des moules en papier kraft, le créateur et maître d'art français Pietro Seminelli applique lui aussi l'art du pli au travail du textile. Il conçoit des rideaux grâce à l'emploi de motifs assemblés, dès lors sublimés par la lumière naturelle qu'ils occultent partiellement.

L'histoire entre la lumière et le pliage est pourtant bien plus ancienne. Les lampes Le Klint font particulièrement office de référence dans ce domaine, puisque leur histoire débute en 1901 lorsque l'architecte et ingénieur Jensen-Klint créa un premier modèle d'abat-jour en papier plié. L'entreprise familiale évoluera et de nombreux autres modèles seront conçus, notamment dans les années 1950 et 1960 en même temps que les prémices artistiques de pavages pliés apparaissent. La diversité des plis et

que peut-on plier ?

leurs effets lumineux, associée à l'étendue des matériaux utilisés, du plastique au papier, du bois à l'acier et au cuivre proposera toute une gamme nuancée caractéristique de ces célèbres pièces de design.

Confectionnant ainsi aussi bien sur papier que sur textile, ces artistes se nourrissent tout autant des différentes spécificités des deux matériaux dans un travail surfacique complémentaire. Faisant alors appel à plusieurs procédés et méthodes de morphogénèse, et donc invoquant plusieurs applications potentielles du pli, l'élaboration et la constitution de tessellations offre une sorte de plus-value ajoutée aux caractéristiques plastiques d'une surface. Tel un néologisme permettant d'expliquer un concept nouveau, le penseur crée un certain motif parce qu'il sait qu'il ne pourra pas utiliser d'autres mots existants pour pouvoir exprimer son idée.

II.2.c Rapport entre fond et forme : le pli au service d'un message

Mais en plus de structurer une certaine surface, le pliage peut également se conceptualiser et servir à la transmission d'un message. Dans les deux parties précédentes, notre centre d'intérêt s'orientait davantage sur la syntaxe des motifs et des plis, leur agencement, leur composition et leur combinaison. Désormais c'est leur sémantique qui nous intéresse plus, à savoir la signification du motif vis-à-vis de la surface-même, ce que le pli *raconte*. En abordant une étude aussi large, il est nécessaire de se concentrer sur un thème en particulier, d'autant plus que la plupart des travaux artistiques évoqués jusqu'à maintenant auraient très bien pu être objets d'analyse.

L'écriture est le vecteur le plus direct pour la communication d'une idée, d'un concept et la diffusion d'informations sur support physique. S'il existe un domaine particulièrement attaché au papier, il s'agit bel et bien de la presse écrite. Et sa réalité même est inévitablement liée à la question de son support.

Ainsi, l'un des exemples les plus caractéristiques dans ce domaine

n'est autre que la revue hebdomadaire *Le 1*. Avec le traitement d'une seule grande question par semaine sur une unique feuille pliée, sans agrafe ni page volante, Le 1 tente d'affirmer de manière singulière l'unité du savoir. Abordant un concept avec la plus grande diversité d'approche possible, rapprochant connaissance et sensibilité, expertise et poétique, l'idée du journal est de « lire court pour penser longtemps » (sic).

« Le premier format, tout plié (format A4), invite à une approche sensible, émotionnelle, littéraire du sujet. En effectuant un premier dépliage (format tabloïd), vous accédez à un second univers : celui de l'analyse et de l'expertise, avec aussi de la philosophie... Lorsque vous le dépliez complètement (format carte routière), c'est l'invitation au voyage, à un ailleurs où l'imagination et le rationnel se réunissent. »

— *Éric Fottorino, cofondateur de Le 1, entretien avec Aude Carasco pour le journal La Croix, avril 2014.*

De cette manière, le pli participe ici à la superposition de couches d'informations, différents niveaux de lecture qu'il est possible de déplier au fur et à mesure dans une dynamique centrifuge métaphore de l'extension et la diffusion du savoir.

Dans une moindre mesure, un autre périodique possède un rapport particulier avec son support d'édition. *Pli* est une toute jeune revue annuelle d'architecture et d'édition qui tente de décrire la proximité de ces deux domaines, leurs divergences et leurs complémentarités, dans un format plus classique que le précédent exemple. Abordant également un thème unique mais de manière beaucoup plus approfondie, *Pli* accorde une importance toute particulière aux papiers utilisés et fait appel à de jeunes artisans imprimeurs pratiquant risographie et sérigraphie. L'intention de l'équipe d'édition étant de créer un objet à part entière, la matérialité et donc le choix du papier fait d'autant plus partie de l'ADN de la revue, peut-être même plus encore que les articles. Jouant sur les types de papiers, leurs grammages,

(fig. 26) Le 1, journal hebdomadaire, 2013. Page unique (phot. Bertrand Guay pour Belgamag)



LA SYRIE EST UNE FEMME FRAGILE EN TRAIN DE DIVORCER

LE JOURNAL ET MULTIMÉDIAS N° 15

Proclamation de l'indépendance de la République arabe syrienne. Le régime de Bachar el-Assad a été renversé. Le pays est divisé en zones contrôlées par différents groupes armés. La situation humanitaire est désastreuse. Des millions de personnes ont fui le pays. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique.

Faut-il vraiment renverser Assad ?

REGIS DEBRAY

Assad est un tyran. Mais est-il vraiment méchant ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses enfants ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses frères ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses amis ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses ennemis ? Est-il vraiment responsable de la mort de tous ?

"Il est urgent de trouver une solution pacifique"

JEAN-PIERRE FILIU

Le régime de Bachar el-Assad a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique.

REPERES SUR LA SYRIE

1952

BIG BANG

Assad est un tyran. Mais est-il vraiment méchant ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses enfants ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses frères ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses amis ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses ennemis ? Est-il vraiment responsable de la mort de tous ?

Le régime de Bachar el-Assad a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique.

"Le plus tôt sera le mieux"

JEAN-PIERRE FILIU

Le régime de Bachar el-Assad a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique.

REPERES SUR LA SYRIE

1952

BIG BANG

Assad est un tyran. Mais est-il vraiment méchant ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses enfants ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses frères ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses amis ? Est-il vraiment responsable de la mort de ses ennemis ? Est-il vraiment responsable de la mort de tous ?

Le régime de Bachar el-Assad a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique. Le régime a été remplacé par un conseil de transition. Le pays est en train de vivre une transition difficile. Les négociations de paix sont en cours. La communauté internationale appelle à une solution pacifique.

les techniques d'impression et les textures, le support détachable et la structure modifiable de la revue apportent une toute autre dimension d'attractivité et d'interactivité du support à l'heure du tout numérique et de la déchéance du format papier.

II.2.d_Pli et Signifiant

Des notions de ploiement ou de déploiement, de découverte, d'interactivité, d'ouverture, ou tout simplement d'organisation du propos, le pliage appuie ainsi la pensée de manière dynamique et réactive. Le travail de la surface ne se fait donc pas uniquement au niveau de sa structure physique interne, définie par sa plasticité et ordonnée par les plis. Il s'effectue également de par la signification même du pliage, son imaginaire, sa poésie, dépassant le cadre même des limites du support.

Ainsi, la problématique de la surface est un univers à part entière du pliage. La matérialisation de sa limite, de ses bords est intimement liée à celle du développement à la fois interne, c'est-à-dire dans l'épaisseur (bi-dimensionnalité de la surface), et externe, soit en profondeur (tridimensionnalité), du pli. C'est à la fois dans toutes dimensions qu'il se déploie.

La superposition des plis engendre ainsi inexorablement des questions de hiérarchisation de propos : mise en avant, en arrière, en exergue. La surface relève alors du phonème, exprimant des valeurs, portant des discours, déterminant la portée des plis-mots.

que peut-on plier ?

II.3

Formes et approche expérimentale du pliage

II.3.a_Nouvelles techniques de production et innovation du pli

Au-delà de toutes ces méthodes industrielles, la production même du pliage est aujourd'hui une question sans cesse renouvelée. Il existe ainsi de nombreuses inventions peu exploitées, des essais qui, malgré leur grande créativité n'ont pas encore trouvé d'application concrète. Lors de ses études à l'École Cantonale d'Art de Lausanne (ECAL), le suisse Christophe Guberan apporta quelques modifications à une imprimante jet d'encre classique. Le projet baptisé Hydro-Fold permet, en remplaçant la cartouche d'encre par un mélange bien spécifique à base d'eau, d'imprimer des gabarits de pliage sur du calque. Depuis un ordinateur connecté, il est possible de dessiner et concevoir divers motifs de plis plats ou courbes qui seront ensuite transmis à l'imprimante. La force capillaire de l'eau agira alors de manière autonome sur la surface et le pliage s'effectuera sans la moindre intervention extérieure et ce dès la sortie de la machine.

Le pliage par capillarité est ainsi une technique qui, en théorie, fonctionne parfaitement. Des méthodes technologiques et scientifiques ont même permis la mise au point de micro- pliages. Benoît Roman, Charlotte Py, José Bico, Charlers Baroud et leurs collègues à l'École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de Paris ont ainsi conçu des micro- pliages capillaires qui, grâce au dépôt de gouttes d'eau sur de fines membranes élastiques et aux forces alors engagées dans la réaction, provoquent une courbure naturelle de la membrane. Cette méthode ouvrirait ainsi le champ à la création de microstructures tridimensionnelles formées à partir de modèles et motifs en deux dimensions. Même si ces travaux ne sont qu'à un stade expérimental de développement, ils démontrent déjà de manière remarquable que de nombreuses possibilités restent à explorer dans ce domaine.

Translated Geometries est un projet de recherche suivi par trois étudiants de l'Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) et ayant révélé une toute autre méthode de pliage. Ramin Shambayati, Ece Tankal et Efilena Baseta proposent ainsi une *architecture de la transition*. Pour eux, la forme ne peut suivre la fonction qu'on ne peut d'ailleurs prédire. Elle s'adapte plutôt aux différentes phases successives de notre environnement, transformé par l'homme, la nature, le contexte urbain. Le collectif a ainsi travaillé avec des joints en polymères à mémoire de forme (Shape Memory Polymers - SMP) reliant des panneaux triangulaires en nœuds hexagonaux, de manière à développer un prototype adaptatif. Le concept étant basé autour de la notion d'évolution de l'architecture, il était ainsi nécessaire d'utiliser un matériau qui puisse initier une transformation depuis un stimulus extérieur à la construction. Les SMP sont ainsi capable de passer d'un état souple et flexible à un état solide de maintien uniquement grâce à un changement de chaleur (60 à 70°C) et, couplés à un système électronique autonome de chauffage appliqué aux différents nœuds de la tessellation ainsi qu'un assemblage en module, ils permettent une architecture libre et vivante.

Enfin, Tomohiro Tachi (professeur à l'Université de Tokyo), Motoi Masubuchi (Technische Universität Berlin) et Masaaki Iwamoto (Vo Trong Nghia, Vietnam) développent quant à eux le concept de *Rigid Origami Structures with Vacuumatic*. Leur étude propose ainsi une structure hybride dans laquelle des panneaux composites seraient liés entre eux par des membranes flexibles faisant office de charnières et pouvant être vidées de leur air par aspiration. Ces membranes permettent de rigidifier la structure et de la maintenir dans n'importe quelle position. La liberté d'un tel système permet ainsi d'utiliser n'importe quel motif de pliage rigide : travées, motifs bombe à eau, motifs de Miura, de Resch etc.

D'une certaine manière, la pratique du pliage peut également être synthétisée, théorisée, simulée. Jun Mitani, professeur à l'Université de Tsukuba au Japon, a soutenu le développement

que peut-on plier ?

parallèle d'outils numériques tout au long de sa carrière de plieur. Pour lui, concevoir de nouveaux origamis débute toujours par l'élaboration de nouveaux logiciels. S'il s'intéresse en particulier au pliage courbe, plus difficile à préfigurer sans ordinateur, chacun de ses programmes gère un domaine spécifique du pliage, depuis le pli droit (*ORIPA*) jusqu'au pli courbe (*ORI-REF*, *ORI-REVO*, *ORI-REVO-MORPH*). L'avantage principal étant de pouvoir étudier la faisabilité du pli. Quelques logiciels semblent s'attaquer à la tâche avec plus ou moins de succès. Tomohiro Tachi a ainsi développé des programmes (*Freeform Origami*, *Rigid Origami Simulator*, *Origamizer*) permettant d'interagir et de plier directement des gabarits virtuels toujours dans l'idée de préfigurer le pliage. Robotfold quant à lui est un projet de bras robotique analogue aux robots de l'industrie automobile permettant de plier le métal en courbe tout en prenant en compte des contraintes de fabrication et ce dès le début du processus de conception. L'équipe, dirigée par Gregory Epps, a développé plusieurs plug-ins (*KingKong*, *Unicorn*, *IO*) pour Grasshopper permettant de simuler d'abord et accompagner ensuite le pliage assisté par ordinateur. Ainsi, la plupart de ces outils informatiques se spécialisent de fait dans une fonction bien particulière. Mais l'outil numérique universel reste un fantasme en pratique très peu réalisable.

II.3.b_Expérimentations géométriques et préfiguration du pli

Si nombreuses en sont les pratiques, le pliage est avant tout une méthode très personnelle de réflexion, d'élaboration de la pensée. En configurant le pli, on taille son outil, on se procure « *un crayon pour dessiner dans l'espace*⁹. »

Pratiquer le pliage c'est donc concevoir des systèmes de pensée. Très tôt, le rôle de l'informatique dans la recherche morphologique fut mis en valeur. Véritable outil complémentaire, il permet d'assister la conception et la réalisation de modèles physiques de divers pliage. Pour son projet *The space curve as a folded*

⁹Thierry Berthomier

edge, Ron Resch développa dès 1971 un logiciel initialement appelé DEV (Developable Surfaces) qui permettait entre autres la génération d'images via des algorithmes de calcul, et donc la simulation. De fait, ses travaux émergeaient d'une considération toute particulière pour les potentialités de la distorsion minimale des surfaces. Resch, nous l'avons vu, était éminemment sensible à l'établissement de protocoles morphologiques regroupés en familles structurales plutôt que la simple création et la collection de formes isolées. L'idée principale était ici de pouvoir prédire la forme finale en trois dimensions, issue du pliage d'une courbe en deux dimensions. Apparaissait ainsi la nécessité de construire un outil capable de synthétiser théorie et pratique. Les distorsions dues à la courbure et au pliage de feuilles furent assidument étudiées, d'autant plus qu'elles présentent des intérêts structurels et esthétiques indéniables. La recherche et le développement d'une telle approche ont ainsi permis d'appréhender les potentialités de n'importe quelle courbe spatiale et de la considérer en tant qu'arête pliée. Fort de ces connaissances acquises lors de l'élaboration du programme, ainsi que de son exploitation, Ron Resch produisit un certain nombre de sculptures en papier définies préalablement sur ordinateur, comme la *White Space Curve Fold with 3-fold Symmetry*, et tous ces travaux furent rassemblés au Musée des Beaux-Arts de Salt Lake City en 1972 pour l'exposition *Ron Resch and the Computer*.

La courbe pliée dans l'espace est ainsi un domaine d'étude mathématique bien plus ancien qu'il n'y paraît. David Hilbert décrit en 1891 une courbe continue qui portera le même nom. La première étape consiste en l'occupation d'une surface carrée, espace bidimensionnel par essence, par un motif en U. En divisant l'espace par un quadrillage, et en y appliquant la même molécule connectée à sa voisine, la courbe occupera plus de surface. Ainsi, plus la division tend vers l'infini, plus la courbe fractale occupera l'espace. Henry Segerman, professeur au Département des Mathématiques de l'Université Fédérale de l'Oklahoma, démontre l'application d'un tel principe à un espace tridimensionnel. Utilisant principalement des modèles

que peut-on plier ?

imprimés en 3D, il présente la transition et la progression de la courbe à partir d'une simple ligne jusqu'à un espace complexe, au travers d'un certain nombre d'itérations. La surface plane se plie, se complexifie au fil des étapes pour venir occuper un espace différent selon la courbe d'origine, qu'il s'agisse de la courbe de Hilbert, celle de Sierpiński ou celle dite du Dragon.

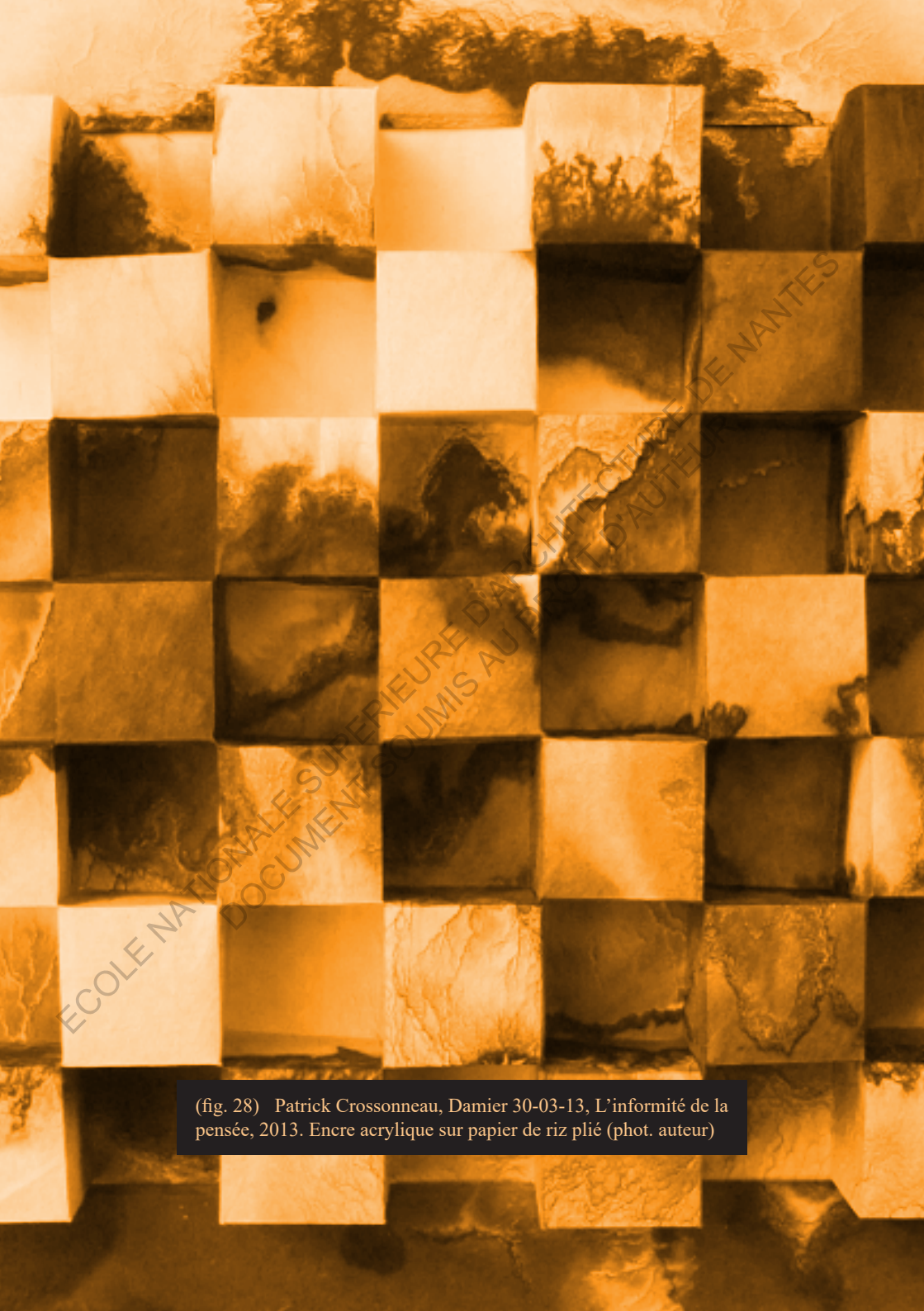
Mais concevoir le pli, c'est aussi produire un ensemble cohérent. Assembler, organiser, hiérarchiser des molécules en entre elles pour donner naissance à l'être. La frontière entre mathématiques, géométrie et pliage est ainsi d'une richesse incomparable. Thierry Berthomier, architecte de formation et ancien professeur à l'École d'Architecture de Paris-Villemin, a longtemps travaillé sur le pli d'une manière bien particulière. C'est en partant de simples bandes rectangulaires assemblées différemment qu'il parvient à créer des modèles inédits de polyèdres. Le pliage de cuboctaèdres et autres maquettes d'icosaèdres servait ainsi à vérifier des calculs d'angles auparavant réalisés. Si les bandes étaient peu pliées, avec quelques plis simples ou doubles seulement, les assemblages pouvaient tout autant être réalisés au niveau des arêtes du polyèdre qu'à celui de ses sommets. La molécule du pli structurait et stabilisait alors la forme de l'ensemble, dans lequel la moindre bande occupait un rôle capital, faisant resurgir le squelette même de polyèdres.

D'une manière tout à fait similaire, le britannique Richard Sweeney travaille la forme pliée tout en se concentrant davantage sur le pli courbe. Ses sculptures, moins géométriques, plus dynamiques et sensuelles entendent réinterroger la forme même de l'ensemble. L'intellect n'est pas familier de cette relation, entre surface plane continue et surface courbe, rendue possible par le pli. Des coins et recoins de ces différents modèles, entre logique structurelle et intuition de pliage, les surfaces se croisent et se recroisent en créant des univers éphémères qui glissent avec les mouvements du modèle.

Cette relation toute particulière aux mouvements de la surface est



(fig. 27) Ron Resch, White Space Curve Fold
with 3-fold Symmetry, 1971. Papier (phot. auteur)



(fig. 28) Patrick Crossonneau, Damier 30-03-13, L'infirmitté de la pensée, 2013. Encre acrylique sur papier de riz plié (phot. auteur)

élégamment le propre des travaux de Daniel Piker sur un concept qu'il a nommé les *surfaces rhéotomiques*, du grec -rheo (couler) et -tomo (coupure). Ces surfaces générées mathématiquement, inspirées de *La fonction oblique* de Claude Parent et Paul Virilio, proposent un espace ouvert perpétuellement oblique mais ne présentant aucun vide ou trou. Utilisant des principes géométriques complexes, la surface combine à la fois une forme architecturale dynamique unique et des performances structurelles importantes. Dispensant de l'usage de toits et de murs, ce système propose ainsi une alternative solide aux plans orthogonaux, plats et parallèles d'une architecture cartésienne plus classique.

Ainsi, concevoir le pli c'est aussi s'abstraire. Questionner la forme par le pliage, voilà l'objectif presque utopique que l'artiste Patrick Crossoneau s'est attaché à réaliser. *L'informité de la pensée* reflète sa réflexion. Il travaille à la fois l'encre et le papier, la tâche et le pli. L'encre ductile coule sur le papier mouillé, la tâche se déplie, se contorsionne, se déploie puis se fige sur la surface. Elle n'a pas de forme en soi. La technique du pliage et les gestes des mains sont précis, alors il plie la feuille, crée des motifs géométriques. Pourtant le résultat est sans maîtrise. De l'informe naissent les formes les plus improbables. L'absence de sens, l'absurdité de l'acte même s'impose alors pour tendre vers l'impression des choses, se substituer à l'intellectualisation de la forme, laisser place à l'imaginaire. Le pli devient prétexte au rêve. L'œuvre est alors inventée par celui même qui regarde la production. Quelque chose de simple permettrait à tout un chacun de se l'approprier. Elle constitue alors la quintessence même de la dualité grâce à laquelle elle confronte deux microcosmes pour mieux les questionner.

II.3.c_Pli et Signifié

Donner forme, ce n'est pas formaliser au sens scientifique du terme. Ce n'est pas réduire, conserver exhaustivement et justement toute la globalité d'une pensée. L'intention, le concept, le projet s'ils s'expriment uniquement par une forme finie unique

que peut-on plier ?

alors ne sont-ils pas assez *profonds* ? Un pli peut-il réellement être cristallin ? Quoi qu'il en soit, la forme n'est pas ce vers quoi la pensée tend. Elle est multiple. La Forme du pli, c'est l'univers de formes potentielles auxquelles il se prédestine, incluant une infinité d'états intrinsèques tous différents.

Formaliser le pli est donc un paradoxe. Celui de croire que, figé à un instant t et une position p , l'univers du pli puisse se dévoiler entièrement. Il est de facto bien plus intense. Le pli raconte l'avant et l'après à la fois. Il se déploie au-delà de lui-même, de ce qui n'est pas dit, *ce qui n'est pas pli*.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

II.4

La portée du Pli

Ainsi, imaginons ce qui n'est pas visible. Si un millier de formes surgissent d'une seule surface, alors le pli se ferait trace, mémoire de chacune d'elles. Mais pour toutes, il est également moyen de transgression. Il permet de passer d'un état à un autre, d'une dimension à une autre, d'une forme à une autre. Donnons Forme alors. Il s'agirait là plutôt de trouver un moyen d'expression du *Pli-Projet*. Un univers infini dans lequel il puisse s'exprimer pleinement.

« *L'œuvre d'art est un message fondamentalement ambigu, une pluralité de signifiés qui coexistent en un seul signifiant.* »

— *Umberto Eco, L'œuvre ouverte, Éditions du Seuil, 1965.*

Lorsque le pli est un *moyen* de projet, alors sa Forme exprime un choix dans le développement conceptuel, un parti pris dans l'élaboration d'une méthode. Mais dans le cas du Pli-Projet, la Forme du pli exprime *tous* les possibles. Alors, comme il le ferait en dehors des bords de sa surface, le pli se déploie au-delà de sa forme même, dans et en dehors de l'espace interstitiel de ses mutations. L'univers du pli est un univers libre, *ouvert*.

Ainsi, si le dépli n'est pas inverse du pli c'est que, bien au contraire, il en est l'extension. Pouvons-nous ici parler également d'extra-pli, même si le terme est moins élégant. Le Pli-Projet est et reste *espace infini*.

Mais alors, qu'est ce qui pourrait potentiellement *limiter* un espace infini ? Si, nous l'avons vu, les bords de la surface pliée n'empêchent absolument pas au pli de s'étendre (puisque il peut le faire au-dehors comme au-dedans), sa Forme n'est, elle non plus, pas problématique puisque'elle inclut une infinité de positions.

pt III

JUS-
QU'OU
PLIER ?

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

PARTIE III

JUSQU'OU PLIER ?

Le Pli-Urbain

Ainsi le pli s'exprime communément, nous l'avons vu, à des échelles bien différentes : du modèle à l'objet, du meuble à la micro-architecture, voire même parfois jusqu'à la construction à plus grande échelle. Mais, avec une telle logique scalaire, il semble qu'un élément majeur, lui aussi sujet à projection et construction, ne soit que très rarement évoqué. La Ville.

Serait-il ainsi possible de parler de pli urbain ? L'univers du Pli-Projet peut-il contenir quelque chose d'aussi vaste ? Dans les faits, de telles problématiques résultent en fait d'une autre, d'autant plus simple à poser qu'elle ne l'est à résoudre : jusqu'ou peut-on plier ? Il est évident que l'utilisation de *pouvoir* renvoie ici à la notion de pliage subjectal, c'est à dire un pliage sujet à conception. C'est donc naturellement dans la continuité des chapitres précédents qu'une telle problématique se pose.

III.1

Le pli comme une expression de l'urbain ?

III.1.a La ville pliée

La ville, en tant que telle, est un sujet bien trop complexe et profond pour pouvoir être totalement défini ici. Entre planification projetée et construite et occupation libre et ouverte, entre conditionnement et indépendance, ce *chaos organisé* ne peut être pleinement déterminé par dichotomie de concepts. Il n'y a ni pleins ni vides absolus, la dualité entre espaces publics et espaces privés n'est pas si évidente, le social est indissociable de l'urbain tout en y étant profondément opposé, la gestion planifiée de l'urbanité ne se confronte pas au chaos organique de la vie sociale. Il n'est également pas uniquement question de rapports humains au sein d'une société mais plus largement de rapport entre les hommes et leur environnement. *La ville n'est pas duale*. Il ne faudrait donc pas parler de limites de ces concepts et domaines, mais plutôt de jonction, d'intersection et de complémentarité. Ainsi se place la substance même de l'urbanité, dans cet interresct. La ville, tout comme le pli, est un système continu aux variables, états et positions intermédiaires infinies, qui puise toute sa matière dans *l'entre-deux choses*.

Mais la ville est bien plus encore. A la fois contenue dans un territoire, qu'il soit politique, économique ou géographique, tout en étant contenante de sociétés et habitats, la ville se déploie au dehors comme au dedans de ses limites. Mesurable et quantifiable (densité, poids démographique, étendue territoriale) la ville possède une épaisseur relative et se développe également en profondeur, quant à elle incommensurable (culture, héritage). Douée ainsi d'innombrables facettes et visages, possédant une infinité de coins et recoins, en transformation constante, la ville est sans nul doute, au même titre que l'homme, pliée par nature.

III.1.b La façade transgressive

Si le pli urbain semble purement objectal par essence, le véritable enjeu consisterait davantage à tenter de *donner Forme* à ce pli, l'exprimer, c'est-à-dire créer un protocole, un système dans lequel son univers puisse se projeter.

Qu'il s'agisse de pliage ou d'urbanité, ces deux systèmes semblent analogiques. Dans l'un comme l'autre, il existe une matière de l'*entre-deux*. Si l'on s'intéresse à l'expression la plus pragmatique et évidente de l'urbanité, l'opposition entre la masse construite, les bâtiments et l'espace public, quant à lui plus libre et ouvert, nous entraîne naturellement à considérer l'intersection, la matière intermédiaire de ces corps urbains. Et la projection directe que nous avons de cette masse urbaine, sa surface, sa matière n'est autre que *la façade* des bâtiments. Composées de trous et d'ouvertures, les façades agissent ainsi comme l'écran sur lequel toute cette masse est projetée, toujours changeante et vivante. Les ouvertures en sont les plus flagrantes indicatrices. Elles nous permettent de jeter un œil furtif, parfois pervers à l'intérieur même de la ville, en son cœur. En outre, les façades définissent les limites précises que l'on fantasme de voir tomber.

Mais la façade est et reste un espace *projeté*. Un espace bidimensionnel, intermédiaire, peu profond. Tout comme la feuille de papier, la façade est un espace aux dimensions réduites. Alors ne pourrait-on pas, au même titre, transgresser cette bidimensionnalité par le pli et se déployer dans une troisième dimension ? Nous l'avons vu, les bords d'une surface pliée ne signent pas la fin d'un univers mais en permettent l'extension. Le pli admet que n'importe quelle limite ne soit plus une fin en soi.

Alors l'idée serait ici de proposer une approche expérimentale qui, de par le pli, permette de déconstruire et disséquer l'espace de la façade. Ainsi, en plus d'être *moyen* de transgression spatiale, le pli serait également *l'expression* de l'univers de la façade. Entre

jusqu'où plier ?

pli-projet et pli-moyen, entre déconstructivisme et surréalisme, la façade pliée n'aspire alors plus qu'à déployer et étendre la matière urbaine aussi loin que le pli lui permette.

« La perturbation et la déformation sont ici recherchées pour elles-mêmes, étant admis toutefois qu'on ne peut attendre d'elles que la rectification continue et vivante de la loi. »

— André Breton, *La crise de l'objet*, 1936

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

*déconstruire l'espace
disséquer la matière*



III.2

Structure de la façade pliée

III.2.a Les ouvertures, atomes de la façade

Pour déconstruire, il faut s'enfoncer dans le pli, en chercher la structure. Maintenant que l'on sait *quoi* plier, il faut savoir *comment* plier. Qui plus est, la portée d'un tel pli-projet est double puisqu'étant à la fois contenant et contenu, il semble s'étendre intérieurement et extérieurement. *Contenant* d'une certaine matière (la masse construite) et *contenu* dans un espace urbain plus large (espace public, place, quartier), le projet doit conserver ces deux valeurs. Celle, à la fois, d'un déploiement spatial centrifuge poussant la façade à s'étendre au-delà de ses limites dans l'espace urbain, et celle de compression et de froissage, qui dans un mouvement centripète nous fait *entrer dans le pli*, dans la matière urbaine.

En pliant une façade, on en transfigure sa matérialité plastique la plus pragmatique, ses fibres les plus essentielles qui ne sont autre que les *ouvertures*, construites ou non : fenêtres, portes, passages, etc. Ces ouvertures ordonnent et caractérisent la façade, elles définissent cadres, bords et limites. En transformant alors la façade il serait essentiel de conserver l'image de ces ouvertures, de manière à en déformer l'arrangement, à en remanier la hiérarchie, redéfinir leur fonction.

A la fois œuf et à la fois graine, la façade pliée s'affaisse, se rabat, s'ouvre et se creuse dans un mouvement perpétuel d'éclosion. Naissant et renaissant indéfiniment, le projet conserve invariablement sa caractéristique génétique primitive et sa structure intrinsèque que sont les ouvertures tout en s'étendant aussi loin qu'il le peut.

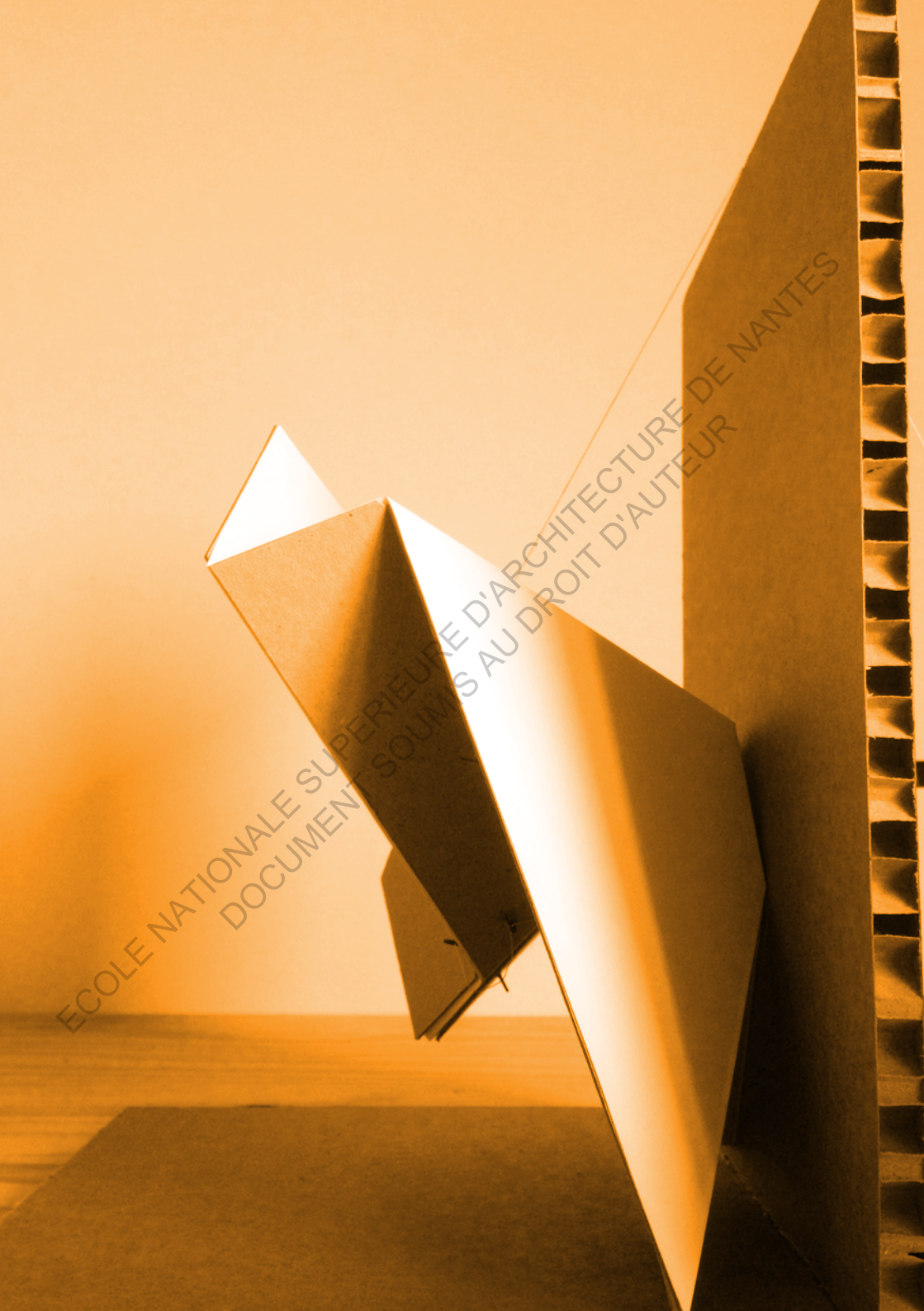
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENTS SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR





ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

1

2

2

2

8

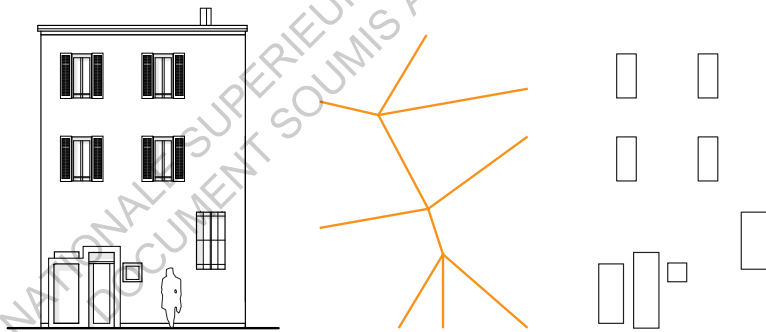
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

III.2.b_ Génèse du pli

Ainsi les plissés, les syllabes-mêmes de la façade pliée, se répandent et se répartissent autour des ouvertures mais de manière indépendante, sans les perturber. Ils viennent découper et diviser la façade en créant des regroupements, des cellules aussi bien que des nœuds et des directions.

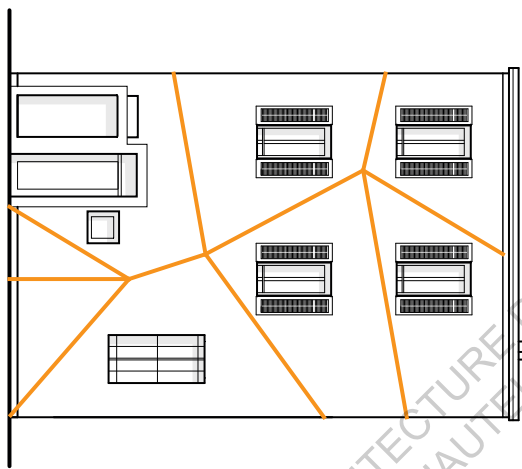
Ces plissés s'organiseraient selon une méthode spécifique de pliage déjà abordée dans ce mémoire¹⁰ : le théorème de Kawasaki. Ce système permet ainsi à n'importe quel motif de pouvoir être plié totalement à plat en se basant sur la somme alterné des angles des plissés autour des nœuds.

10_ I.1.b. Systèmes cohérents et plissés en V



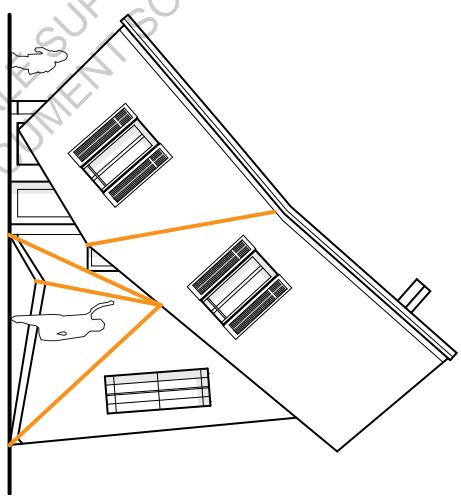
façade surface + *plis structure* + *ouvertures atomes*

de la façade



...

à la façade pitié



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Nous l'avons vu, une surface pliée selon cette méthode possède un fort caractère binaire. Totalement ouverte, la surface plane est bidimensionnelle et se dévoile entièrement. Totalement pliée, elle est tout aussi plane mais possède un nombre intéressant de couches superposées et une étendue minimale. Et tous les autres états intermédiaires sont quant à eux purement tridimensionnels, jamais totalement ouverts, jamais totalement fermés. Malgré sa forte dualité, le pliage de Kawasaki relève en fait davantage d'un travail sur le temps continu du pliage.

III.2.c La façade signifiante

La surface pliée de ce Pli-Projet n'est autre que la façade urbaine. Possédant format, bords, limites ainsi que plasticité propre, elle représente l'analogie idéale avec la feuille de papier. Mais plier *directement* n'importe quelle façade semble difficile, sinon impossible. Il s'agirait alors plutôt de travailler *avec* la façade, et dans un souci de pragmatisme, de proposer une construction qui en reprend les codes, structures, échelles, etc.

En se greffant ainsi sur les ouvertures, puisqu'en reprenant typologies et emplacement, l'idée serait ainsi de proposer une nouvelle couche, une sorte de revêtement, qui apporterait une stratification plus importante à l'ensemble. Plier ces couches superposées serait alors le moyen de les mettre en volume et d'apporter davantage de profondeur à la façade urbaine.

III.3

Énoncé et manière du pliage

III.3.a La libre expression de la façade pliée

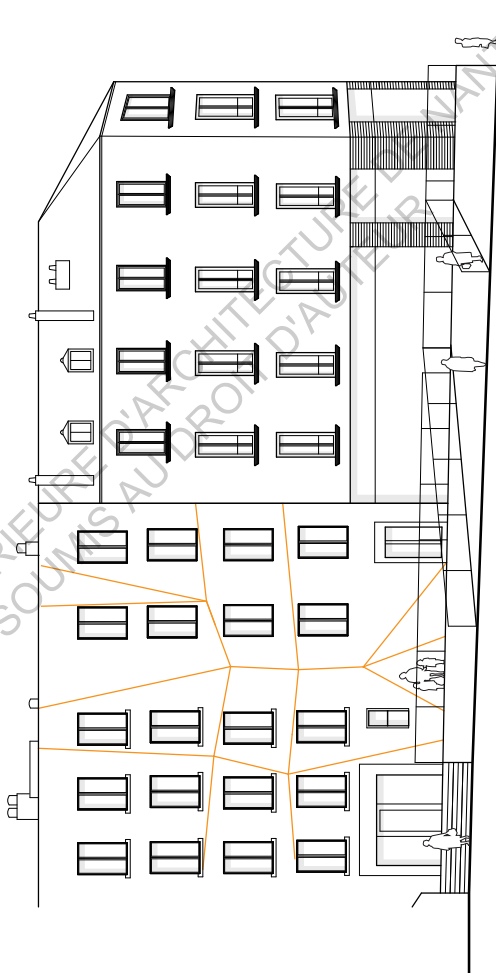
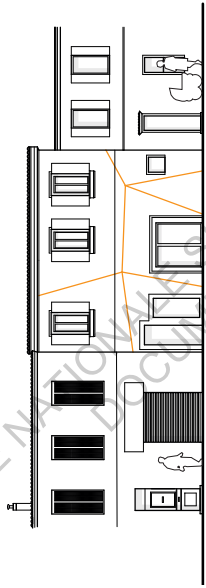
Écrire ainsi sur le temps continu du pliage nous conduit de fait à concevoir un système articulé réversible qui puisse permettre une grande liberté de mise en œuvre et d'utilisation. Le choix de l'articulation et de l'interactivité d'un tel projet, s'il semble fragiliser l'ensemble, révèle pourtant un aspect essentiel du concept. En fait, il s'agirait d'offrir la possibilité à tout un chacun d'interagir avec son environnement urbain quotidien, et ce le plus directement possible.

Le pliage de Kawasaki étant principalement un système nodal, une telle méthode peut en effet être adaptée sur des façades aux dimensions très variées : d'une maison individuelle avec un nœud, à un immeuble de banlieue comportant une dizaine de points convergents, en passant par une habitation collective en centre-ville à trois ou quatre nœuds, etc.

Avec des panneaux légers en structure bois de même type que les feuilles décors de théâtre, l'idée serait alors de proposer une méthode de construction générale qui puisse être appliquée largement. Mais si le protocole de construction reste globalement le même peu importe la façade, il est évident que les modules et la structure même du projet seront toujours redéfinis de manière à s'adapter à n'importe quelle surface.

Ainsi le projet se divise ainsi en deux couches : la première, fixée rationnellement et directement sur la façade, constitue une sorte d'infrastructure fine, solide et fixe supportant la seconde couche, quant à elle modulable et pliable, composée des panneaux articulés.

*protocole de dissection
pliage de kawasaki*



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DOCUMENT SOUS AUSDROM D'ART ET D'ARCHITECTURE

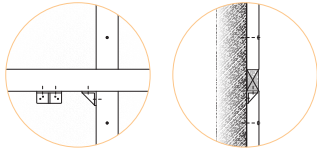
jusqu'où plier ?

III.3.b_Matériaux et construction

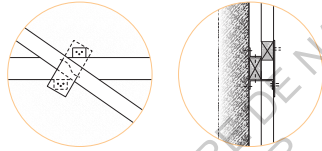
L'accrochage à la façade originale se fait donc par construction d'une structure intermédiaire. L'idée serait ainsi de compter sur une ossature bois autoportante, avec lisses, montants et muralières, maintenue par tirefonds et encorbellements. Ce système se doit d'être le plus rationnel possible, reprenant à la fois les charges hautes tout en s'adaptant au schéma dessiné par les ouvertures. Ainsi, sur cette ossature viennent alors se plaquer ponctuellement, par fers plats, certains panneaux assemblés. La possibilité de pouvoir s'accrocher à tel ou tel endroit de l'ossature bois doit permettre de distinguer des panneaux fixes et des panneaux mobiles, contraignant localement certains points. De ce fait, le pliage de la structure, en plus d'être défini par le type de pli, est également caractérisé par une autre variable, celle de l'accroche à l'ossature.

Ainsi les panneaux articulés sont eux aussi constitués d'une structure primaire en bois, maintenue par des montants et consolidée par des renforts métalliques dans les coins. Le contreventement de chaque panneau est assuré par plaquage de voiles sur les montants. Les panneaux sont alors assemblés entre eux grâce à des couplets ou charnières ainsi que des sauterelles métalliques fixées alternativement de chaque côté de l'axe de pli, permettant la mise en tension d'une guinde et consécutivement le pliage.

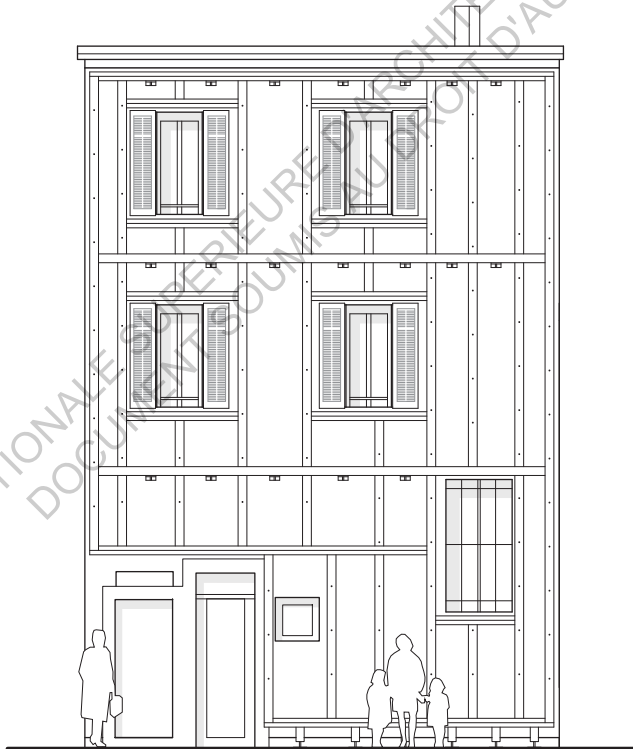
C'est en effet par un système de câble que l'articulation est effectuée. Une structure porteuse avec potences est construite en partie supérieure, dans l'aplomb de l'ossature bois. Des poulies de renvoi mouflées et pour certaines montées sur rail conduisent alors la ou les guinde(s) suspendant la façade pliée jusqu'à un système de poulie mère et de treuil de levage autofreiné.



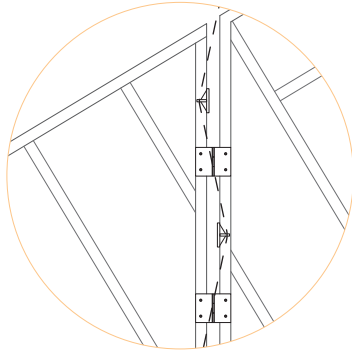
fixations sur la façade existante



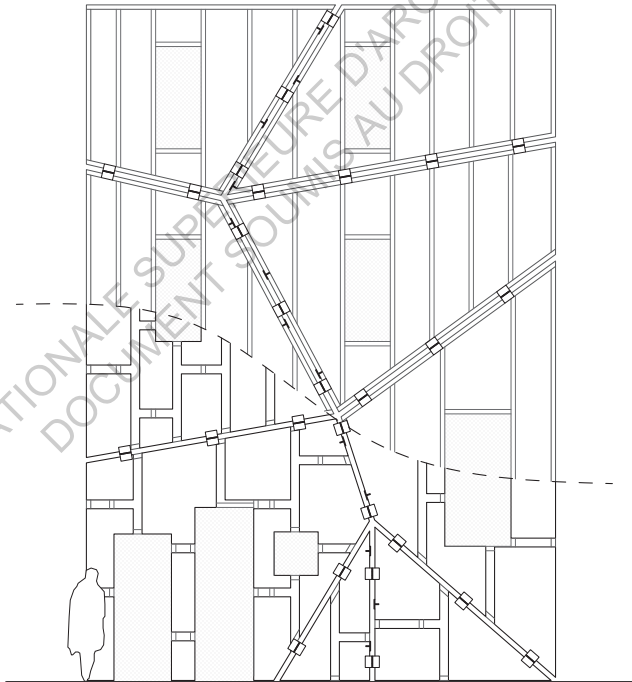
placage de la structure mobile



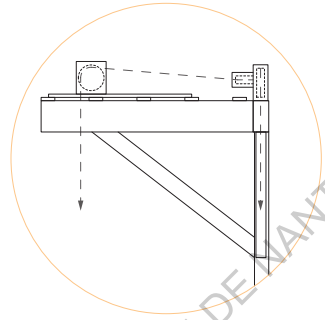
ossature bois permettant l'accrochage sur la façade



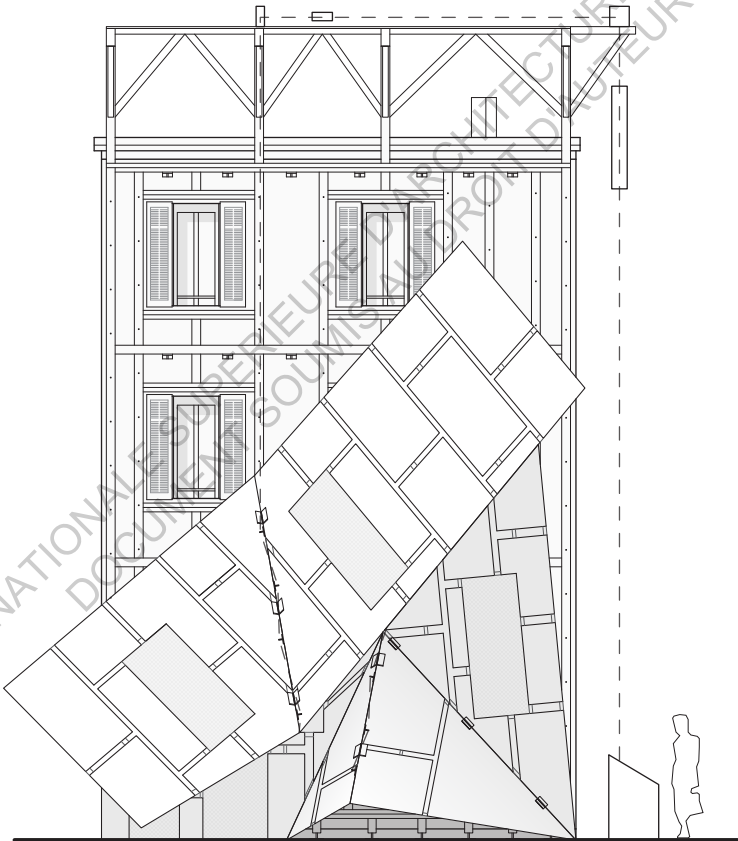
*système de sauterelles et
charnières*



articulation des panneaux et ouvertures



potences et poulies



système de pliage, guindes et suspentes

jusqu'où plier ?

III.4

Une Forme de Pli-Urbain

En fin de compte, l'idée d'un tel principe de pli est de s'adapter le plus largement possible à toutes les façades. Grâce à l'infrastructure porteuse, il ne nécessiterait pas réellement d'accroche au sol et pourrait potentiellement s'implanter indépendamment de contraintes d'occupation de l'espace public. De plus, le système articulé permet le ploieement et le déploieement incessant de l'espace de la façade en écho à l'urbanité toujours changeante. Ainsi, cette Forme de pli brouille les limites entre la masse urbaine et l'espace public. Le pli étendant le public dans le privé et *vice versa*.



Cependant, c'est justement cette infrastructure qui alourdit le pli. Même s'il prétend être libre, il est assujéti à des contraintes pragmatiques importantes et reste conditionné à diverses préparations préalables. *Le pli n'est ici pas spontané.*

Aussi, la maquettisation de ces concepts permet de rendre compte d'autres limites manifestes. Le pli possède une épaisseur relative inomissible qui se révèle pleinement lorsque l'on tente de plier la

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUS AUPOIT D'AUTEUR





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENTÉ JUSQU'AU DROIT D'AUTEUR



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



(fig. 45) Christopher Nolan, *Inception*, Warner Bros, 2010. Direction de la photographie : Wally Pfister.

façade totalement à plat. Telles seraient ainsi les limites réelles du pliage urbain. On pourrait plier aussi grand que la matière nous le permet.

Ainsi le Pli-Urbain serait déjà concept à lui tout seul, et non une fin en soi. Puisque plier c'est rabattre, rapprocher, ne serait-il pas envisageable par exemple de considérer chaque construction comme une facette de la ville pliée et de se concentrer davantage sur leurs relations ?

Finalement, cette expression du Pli-Urbain n'est qu'une Forme parmi l'infinité d'autres qui restent encore à inventer. Se pose ainsi la question de la légitimité de passer par le Pli-Projet pour pouvoir le raconter.

Plier la façade, c'est une manière de se narrer l'histoire du Pli-Urbain. Le livre de la ville étant, comme tout univers plié, infini.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE PARIS
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

bibliographie

JACKSON Paul. *Techniques de pliage pour les designers : Papier, plastique, métal, tissu : de la feuille à la forme*. Dunod, Paris, 2011, 224p.

RUTZKY Jeffrey et PALMER Chris. *Shadowfolds : Surprisingly Easy-to-Make Geometric Designs in Fabric*. Kodansha America, New-York, 2011, 128p.

RIVAS ADROVER Esther, *Deployable Structures, Small architecture series*, Laurence King Publishing, Londres, 2015, 160p.

VYSIVOTI Sophia. *Supersurfaces : folding as a method of generating forms for architecture, products and fashion*. BIS Publishers, Amsterdam, 2010, 144p.

GJERDE Eric. *Origami Tessellations: Awe-Inspiring Geometric Designs*. AK Peters, Wellesley, 2008, 128p.

TREBBI Jean-Charles. *L'art du pli*. Éditions Gallimard, collection Alternatives, Paris, 2008, 144p.

TREBBI Jean-Charles, GENEVAUX Chloé, BOUNOURE Guillaume. *Un nouvel art du pli*. Éditions Gallimard, collection alternatives, Paris, 2015, 178p.

DELARUE Jean-Marie. *Plis, Règles géométriques et principes structurants*. École d'Architecture Paris-Villemin, ADRI, Paris, 1992

DELARUE Jean-Marie, BROSSIN Jean-François. *Constructions Plissées, Figuration graphique et recherche structurale*. École d'Architecture Paris-Villemin, ADRI, Paris, 1987

DELEUZE Gilles. *Le Pli, Leibniz et le Baroque*. Éditions de Minuit, Paris, 1988, 191p.

bibliographie

LUMINET Jean-Pierre. *L'Univers chiffonné*. Folio, collection Essais, Paris, 2005, 496p.

TANIZAKI Junichirō. *Éloge de l'ombre*. Éditions Verdier, Paris, 2011, 90p.

CHATANI Masahiro. *Pop-Up Origamic Architecture*. Ondori-Sha Publishers Ltd, 1985, 87p.

MITANI Jun. *3D Origami Art*. A K Peters/CRC Press, 2016, 22p.

SCHMIDT Petra, STATTMANN Nicola. *Unfolded: Paper in Design, Art, Architecture and Industry*. Birkhäuser Verlag AG, 2009, 255p.

FUJIMOTO Shūzō. *Origami ajisaōri : fujimoto shūzō wārudo*. Seibundō Shinkōsha, collection Origami kōbō, Tokyo, 2011, 96p.

LANG Robert J. *Origami Design Secrets: Mathematical Methods for an Ancient Art, Second Edition*. A K Peters/CRC Press, 2011, 770p.

GARIBI Ilan. *Tessellations : A brief theory of warping paper*. Article en ligne, The Fold, 2011. Disponible sur <https://origamiusa.org/the-fold/article/tessellations-brief-theory-warping-paper> [novembre 2016]

The works of Ron Resch - Ron Resch official restored website. Disponible sur <http://www.ronresch.org/ronresch/> [octobre 2016]

PIKER Daniel. *Rheotomic Surfaces*. Article en ligne, Space Symmetry Structure - Journeys in the Apeiron, 2009. Disponible sur <https://spacesymmetrystructure.wordpress.com/rheotomic-surfaces/> [novembre 2016]

table des matières

INTRODUCTION

ÉCRIRE, EFFACER, RÉÉCRIRE	8
.1_De la feuille à la forme	9
.2_Une pratique du pliage	11
.3_Espace, Forme, Architecture	14

I_OÙ SE CACHE LE PLI ?

CONCEPTION ET PLIAGE SUBJECTAL	16
I.1_ Les plissés simples et les assemblages de plis	18
I.1.a_ Plissés basiques	18
I.1.b_ Systèmes cohérents et plissés en V	24
I.1.c_ Érémitisme et Pli-Individuel	26
I.2_ Les motifs et quadrillages: travées, paraboles et autres formes souples	28
I.2.a_ Motifs de pli et répétitions symétriques	28
I.2.b_ Structures déployables et principes mécaniques	34
I.2.c_ Cénobitisme et Pli-Social	39
I.3_ Un pli ou moins : des drapés aux breaks	40
I.3.a_ Drapés et plis textiles	40
I.3.b_ Le break, la courbe et le pli humide	42
I.3.c_ Le Pli-Contenant	47
I.4_ Le crumpling ou la compression du papier	49
I.4.a_ Techniques de crumpling et modelage	49
I.4.b_ Le Froissage comme processus	54
I.4.c_ Le Pli-Contenu	57
I.5_ Du Projet au Pli-Projet	58

II_ QUE PEUT-ON PLIER ?

SURFACES, MATÉRIAUX ET FORMES 60

II.1_Matériaux, explorations plastiques et production du pliage 62

II.1.a_Le pliage par formage 62

II.1.b_Le pliage par assemblage 71

II.1.c_Le pliage par moulage 76

II.1.d_Pli et Énoncé 78

II.2_Travail des surfaces et tessellations 81

II.2.a_Division de la surface 81

II.2.b_Constitution de tessellations et élaboration de motifs 85

II.2.c_Rapport entre fond et forme : le pli au service d'un message 90

II.2.d_Pli et Signifiant 93

II.3_Formes et approche expérimentale du pliage 94

II.3.a_Nouvelles techniques de production et innovation du pli 94

II.3.b_Expérimentations géométriques et préfiguration du pli 96

II.3.a_Pli et Signifié 101

II.4_La portée du Pli 103

III_JUSQU'OU PLIER ?

LE PLI URBAIN 104

III.1_Le pli comme une expression de l'urbain ? 105

III.1.a_ La ville pliée 105

III.1.b_ La façade transgressive 106

III.2_Structure de la façade pliée 110

III.2.a_ Les ouvertures, atomes de la façade 110

III.2.b_ Genèse du pli 117

III.2.c_ La façade signifiante 119

III.3_Énoncé et manière du pliage 120

III.3.a_ La libre expression de la façade pliée 120

III.3.b_ Matériaux et construction 122

III.4_ Une Forme de Pli-Urbain 126

BIBLIOGRAPHIE 133

TABLE DES MATIÈRES 135

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Explier, c'est aller au delà du pli, tenter d'en saisir la portée, l'impact.

Du pli comme moyen de prospection au pli comme expression même du projet, ce mémoire étudie l'importance et la place d'une telle méthode pour l'art, le design et l'architecture au travers d'une sélection de divers projets, tout en tentant de comprendre *jusqu'où* il est possible de plier.

« Plier la façade, c'est une manière de se narrer l'histoire du Pli-Urbain. Le livre de la ville étant, comme tout univers plié, infini par nature [...] »

Mémoire de Master

ENSA Nantes - UE 84

Séminaire Architecture en Représentation

(dir. L.Lescop, B.Suner, J-M.Beslou)

Clément GODRY, 2017