

A. Ermakov

Origami : l'Ecole des Maîtres

Traduit par Orifan (<https://www.flickr.com/photos/49958696@N06>)

TABLE DES MATIÈRES

1. MOT DE L'AUTEUR.....	6
2. NOTES.....	8
3. INTRODUCTION.....	9
"PATTERN" ET MODÈLE EN ORIGAMI.....	10
QU'EST-CE QUE L'ORIGINALITE EN ORIGAMI ?.....	11
CONCEPTS DE BASE ET DÉFINITIONS.....	14
RÈGLES DE KAWASAKI.....	17
4. "BOX PLEATING".....	19
RIVIÈRES ET CHAMPS EN "BOX PLEATING".....	21
LES PLIS EN BP.....	24
LONGUEUR DES VOLETS EN BP.....	25
RACCORDEMENT DES ELEMENTS DANS UN PATTERN BP.....	28
ROTATION DE LA FEUILLE EN BP.....	35
GRILLE UNITAIRE EN BP.....	38
CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE BP.....	41
5. "HEX PLEATING".....	52
RIVIERES ET CHAMPS EN "HEX PLEATING".....	53
LIGNES DE PLI EN HP.....	56
LONGUEUR DES VOLETS EN HP.....	57
GRILLE UNITAIRE EN HP.....	58
RACCORDEMENT DES ELEMENTS HP.....	64
CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE HP.....	71
6. "MIX PLEATING".....	85
RIVIERES ET CHAMPS EN "MIX PLEATING".....	87
LES PLIS EN MP.....	90
LONGUEUR DES VOLETS EN MP.....	92
RACCORDEMENT DES ELEMENTS HP.....	93
RACCORDEMENT DE BLOCS D'ELEMENTS MP.....	100
GRILLE UNITAIRE MP EN LOSANGE.....	102
COMBINAISON DE GRILLES UNITAIRES.....	111

PROCEDURE DE CREATION DE PATTERNS DE MODELES MP.....	126
7. GAUFRAGE.....	143
GAUFRAGES PLATS.....	144
GAUFRAGES CURVILIGNES.....	147
GAUFRAGE ET FORME DE REVOLUTION.....	150
LES GAUFRAGES DANS LES METHODES LINEAIRES.....	152
PROCESSUS DE CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE AVEC GAUFRAGE	155
8. MOSAIQUES DE PAPIER.....	160
SUPERPOSITION.....	162
ROTATION.....	164
RACCORDEMENT DES CELLULES.....	167
CONCEPTION DE MOSAÏQUES.....	168
UTILISATION DE MOSAÏQUES POUR DÉCORER LES MODÈLES.....	171
ADDITION DE MOSAÏQUES EN ÉTENDANT LES LIMITES DE LA FEUILLE... ..	172
INTÉGRATION DES MOSAÏQUES DANS LA STRUCTURE DU PATTERN... ..	175
VOLETS TRANSVERSES.....	179
PROCESSUS DE CRÉATION D'UN PATTERN DE MODELE AVEC MOSAÏQUE.....	191
9. SIMPLIFICATION DES PATTERNS	197
REPLACEMENTS DES ÉLÉMENTS DU PATTERN.....	199
PRINCIPES DE BASE DE LA SIMPLIFICATION DES PATTERNS.....	200
REPLACEMENT DE BLOCS DE SECTEURS.....	203
OPTIMISATION DES PATTERNS BP.....	204
SIMPLIFICATION DES PATTERNS HP ET MP.....	208
11. DIAGRAMMES :	
CHATON.....	216
SURICATE.....	219
STATUE DE L'ILE DE PAQUES.....	224
CHAPEAU.....	228
CASSE-TETE ETOILE.....	233
LEZARD.....	237
OISEAU DE FEU.....	242

RAT.....	256
ECUREUIL.....	262
GLOBE.....	269
ARBRE.....	275
GIRAFE.....	280
CHIEN.....	287
ARAIGNEE.....	294
SCOLOPENDRE.....	299
CHASMOSAURUS.....	307
RENARD.....	316
GRIFFON.....	326
CREVETTE-MANTE.....	354
PATTERNS	
CHOUETTE.....	365
COLLIE.....	366
LAPIN.....	367
DRAGONNE.....	368
ROBE DE POUPEE.....	369
MOUCHE.....	370
SAUTERELLE.....	371
MOUSTIQUE.....	373
CORBEAU.....	375
LANGOUSTE.....	376
MILLE-PATTES.....	380
TRILOBITE.....	382
12. LISTE DES RÉFÉRENCES UTILISÉES.....	384

MOT DE L'AUTEUR

Qu'est ce qui amène une personne dans le monde de l'art? Je pense que tout le monde a sur ce point sa raison particulière. C'est peut-être le désir de s'exprimer, de découvrir un monde inconnu et vivre dans une des innombrables "vies" imaginaires, ou le désir de rendre le monde un peu meilleur et donner à l'humanité un autre "2ème concerto" de Rachmaninoff ou une "Madone Sixtine" de Raphaël. L'origami n'est pas une exception - comme toute forme d'art, son étude est infinie, comme est infini tout ce qui touche à l'âme humaine.

Quand un nouveau venu à l'origami se met à maîtriser les premiers modèles, il commence immédiatement à se demander: "Que vais-je faire la prochaine fois?" Ou "Quelle sera ma prochaine étape dans l'étude de l'origami?" Parce que cette personne peut consacrer toute sa vie à l'étude de modèles. En règle générale, ces questions ne posent pas de difficultés dans les premières années – il y a assez de nouveaux livres ou magazines présentant des diagrammes d'origami (des modèles sont publiés gratuitement sur Internet de nos jours). Mais à un certain stade de l'expérience, la question du choix devient extrêmement complexe et ambiguë. Les modèles sont de plus en plus semblables les uns aux autres et celui qui était récemment considéré comme un chef-d'œuvre, ne semble plus aussi attrayant et intéressant. Le résultat final est soumis à une évaluation plus rigoureuse de l'apparence et moins souvent à un désir de restituer exactement le modèle publié. Un besoin de modifier, un désir d'améliorer, sont autant d'étapes dans le monde merveilleux des "modèles" et, bien sûr, l'envie d'être l'auteur de créations.

Malheureusement, on trouve très peu d'information sur le thème de l'origami dans la littérature nationale. C'est pourquoi la plupart des origamistes n'ont pratiquement aucune chance d'apprendre la conception sauf, bien sûr, s'ils ont acheté des publications étrangères spécialisées écrites par des maîtres japonais ou américains, ou si quelqu'un leur a enseigné. C'est ce que j'essaie de faire avec ce livre, qui décrit la structure de base des modèles d'origami.

Ce livre sera divisé en deux parties. La première moitié - théorique, est théorique et se compose de six chapitres, qui décrivent en détail les bases des méthodes linéaires, telles que: "Box Pleating", "Hex Pleating", "Mix Pleating". Bon nombre des aspects théoriques de la conception, ainsi que des algorithmes de simplification et de transformation des structures de modèles, sont publiés pour la première fois.

Des exemples de création, selon les différentes techniques, de modèles spécifiques seront décrits pas à pas, du début à la fin. La seconde moitié du livre est une partie pratique qui présente un ensemble de modèles créés dans la période 2009-2011, avec un temps de pliage d'environ 90 heures au total.

Peut-être que les méthodes ne vous sembleront pas toutes faciles à comprendre immédiatement et que les modèles ne seront pas tous réalisés au premier essai. Ce n'est pas un problème, c'est possible! – j'en suis sûr. On connaît la route en marchant, comme disent les Chinois, et chaque voyage commence par un petit pas. Dans la démarche que vous avez déjà faite, il y a eu la première grue. J'espère que ce livre vous aidera à progresser dans la maîtrise des lois de l'origami et vous donnera l'occasion de réaliser vos idées artistiques les plus audacieuses.

Pour toutes questions ou suggestions, contactez-nous, s'il vous plaît, à : anermak@mail.ru

NOTES

Avant de lire le contenu de ce livre, vous devez vous familiariser avec les symboles de base, qui sont couramment utilisés en origami pour décrire le processus de pliage.

[De gauche à droite et de haut en bas, NdT]

Plier

Plier, déplier

Plier en zig-zag

Retourner de l'autre côté

Faire tourner d'un angle - β (dans ce sens)

Tirer

Pousser

Déplier

Utiliser les points

Partie invisible du pli

Angles égaux

Considérer la région (zoom ou angle différent)

Parties égales

Enchaînement

" Open sink "

" Closed sink "

INTRODUCTION

Enfants, nous avons presque tous fait des avions et des bateaux en papier, ayant appris la séquence dans laquelle il fallait plier une feuille de papier. Cette séquence d'actions peut être représentée de plusieurs façons. La forme la plus commode pour l'origamiste novice est le diagramme. Dans le diagramme, tout le processus du pliage est dessiné étape par étape depuis le début - une feuille vierge sans lignes ni plis, jusqu'à la fin - l'image du résultat final. Bien sûr, cette façon de représentation montre tous les détails du processus de construction du modèle cependant, dans la succession des étapes du diagramme, il est extrêmement difficile d'imaginer la structure du modèle. À cet égard, une autre représentation des modèles* est récemment devenue populaire .

Les "Patterns" sont le résultat de l'évolution naturelle et de recherches sur l'origami, depuis 15 ans. Les auteurs d'origami n'ont pas tous le temps de créer des diagrammes pour leurs modèles, car pour créer un diagramme, vous devez soit bien dessiner, soit savoir utiliser les éditeurs graphiques informatiques. Les maîtres de l'origami ont trouvé une alternative à la représentation du processus de pliage du modèle. Ils ont constaté qu'il est beaucoup plus facile et plus rapide de décrire la structure du modèle en traçant des lignes qui forment le modèle lui-même plutôt que décrire chaque étape de la construction de manière séquentielle. Lorsque le premier CP est paru dans la presse, les premiers maîtres ont commencé à étudier la structure des modèles. A partir de ce moment, une nouvelle ère s'ouvrait pour le monde de l'origami ! Il n'a fallu que quelques années de dur labeur aux origamistes du monde entier, et des animaux de papier, des insectes, des figures humaines extrêmement réalistes ont commencé à apparaître dans les conventions ! Les maîtres ont commencé à créer des modèles dont la forme était prévue dès le départ, en pensant aux moindres détails. Ainsi, l'origami a atteint un niveau jusque-là inimaginable – parce qu'auparavant, la conception de modèles ne pouvait résulter que de d'une profonde connaissance des formes de base par l'auteur. La réalisation elle-même laissait une part à l'aléatoire, car le résultat, en règle générale, n'était déterminé qu'à l'étape finale du pliage.

En Russie, la popularisation des patterns a commencé il y a environ 5 ans et avant cela, les informations les concernant étaient extrêmement superficielles et, bien sûr, il n'était question d'aucune recherche.

* *Pattern, CP ou «Crease Pattern» - un procédé de représentation de la structure du modèle, dans lequel les plis qui forment la base du modèle ne sont pas décrits par une séquence d'actions, mais par les lignes elles-mêmes, permettant d'obtenir la base.*

Ceux qui ont commencé à étudier la structure des CP et les lois de l'origami ont du traduire des textes en langues étrangères et recueillir peu à peu des informations provenant de différentes sources. Au fil du temps, les gens ont commencé à partager leurs connaissances, acquises dans des clubs d'origami ou dans des forums spécialisés sur Internet. Peu à peu, "les petits ruisseaux font les grandes rivières", le blocus de l'information a été rompu, et l'origami national a atteint le niveau mondial.

"PATTERN" ET MODÈLE EN ORIGAMI

Prenons l'exemple de la grue classique que beaucoup connaissent dès l'enfance et considérons sa composition du point de vue du schéma structurel du modèle.

Figure : Diagramme de la grue japonaise classique

Si, après le pliage, nous déployons le modèle obtenu et que nous éliminons les lignes qui ne font pas partie du résultat final, ce genre d'image apparaît*, composé de nombreux plis, orientés de différentes manières par rapport au plan de la feuille et se coupant les unes les autres.

* Les cercles gris dans la figure de gauche indiquent les sections qui, par la suite, formeront la base du modèle plié: deux ailes, la tête, la queue et le dos.

Figure : Pattern de la grue classique japonaise (à gauche : évident, à droite : implicite)

Ce développement est appelé un pattern. De nombreux maîtres de l'origami de renommée mondiale ont travaillé sur cette base. Elle a été utilisée pour créer un grand nombre d'ailes, de têtes, de jambes, de cornes, de modifications des proportions du corps et bien plus encore. Et tout cela a été fait non seulement par hasard, mais aussi grâce à la découverte de différentes méthodes de conception, telles que "Box Pleating", "Hex Pleating", "Mix Pleating", "Circle Packing" etc.

Toutes les méthodes connues de création de modèles se distinguent les unes des autres et, en règle générale, chaque méthode a ses propres caractéristiques et nuances. Cependant, un examen plus attentif révèle un certain nombre de principes généraux qui permettent de présenter le processus de conception comme un monde intérieur holistique qui a ses propres règles et lois. Bien sûr, on peut les ignorer ou ne pas connaître leur existence, mais leur compréhension aidera certainement à répondre aux questions, : "Comment l'auteur peut-il créer un tel chef-d'œuvre ?" ou "Comment est-il possible de le réaliser à partir d'une seule feuille? ". Chacun se pose ces questions, au moins à un certain niveau de maturité. Ainsi, la théorie présentée dans ce livre peut, en partie, aider à répondre à ces questions et à fournir un bon point de départ pour concevoir vos propres modèles.

QU'EST-CE QUE L'ORIGINALITE EN ORIGAMI ?

Je pense que chaque auteur peut répondre à cette question à sa manière, car il y a beaucoup de facteurs indépendants qui interviennent.

Comme il n'existe pas deux personnes identiques, les œuvres de chaque artiste ont un style unique. L'approche individuelle de chaque œuvre oblige parfois à des solutions insolites, inattendues. Ce qui amène à la découverte de nouveaux éléments et techniques de pliage.

De mon point de vue, l'essence même de l'originalité en origami vient de la capacité à correctement décomposer la feuille en un ensemble de zones, à partir desquelles seront créées les parties du modèle et à la capacité à raccorder " proprement " ces parties zones elles puis à arranger par la suite les différentes couches pour créer une image conforme à l'idée créatrice. On pourrait croire qu'un modèle peut être fait instinctivement et que le décomposer en sections n'est pas obligatoire. Et pourquoi pas ? Dans ce livre, je ne décrirai que ce que j'ai mis en pratique et ce n'est que ma vision personnelle d'auteur d'origami.

Afin d'avoir une idée plus claire de la façon de créer des modèles à l'aide de ces méthodes, considérons un exemple simple - une figure humaine.

Nous choisirons les principaux traits du modèle : deux bras, deux jambes, un corps et une tête. Évidemment, pour plier chacun d'entre eux, il faudra une certaine surface sur la feuille de papier, Grâce à différentes techniques, ces zones peuvent être sélectionnées et réparties de manière à ce que tous les éléments se raccordent proprement, ce qui donne un ensemble plat. La feuille initiale est un carré (bien qu'il n'ait pas de rôle spécifique, en effet il est possible de diviser n'importe quelle forme).

Figure : Schéma fonctionnel des figures humaines

Comme vous l'avez probablement déjà compris à partir de la figure, nous avons choisi de plier les bras avec les zones "1" et "3", les pieds en "5" et "6", le corps sera dans la zone "4", et la tête en "2".

La structure du modèle est représentée schématiquement par un système de segments (*à droite dans la figure*), avec trois segments divergents dans la partie supérieure et deux dans la partie inférieure.

Si les zones spécifiées sont froissées de telle sorte que les zones sélectionnées forment des éléments mobiles, nous obtiendrons un ensemble de branches qui ressemblent visuellement à une figure humaine*. Il est possible de plier arbitrairement chaque partie dans n'importe quel ordre, le critère principal est d'obtenir l'ensemble souhaité de pointes. Dans notre cas, pour la formation du corps, nous froisserons la partie centrale de la feuille d'origine, formant un volet central qui joint les jambes à l'ensemble bras et tête

Figure : Obtention de figures humaines

Le résultat, bien sûr, aura l'air un peu "brouillon", aucune forme ne sera plate à moins de lisser les branches au fer à repasser. Mais cet exemple simple montre comment définir des zones sur la feuille pour obtenir des détails spécifiques du futur modèle, vous pouvez ajouter tout ce que vous voulez en augmentant la taille de la feuille d'une grandeur suffisante.

Maintenant voici quelques exemples de patterns, dont les structures donneront la même figure humaine, mais dont les méthodes de conception sont différentes.

* Accessoirement, certains maîtres de l'origami moderne utilisent ce type de froissage pour des modèles faits dans certains types de papier. Et, en dépit de l'approche non standard, c'est une technique très efficace pour donner une texture et une forme plus réaliste au résultat final. Des résultats particulièrement intéressants sont obtenus lorsque le dernier modelage est fait à l'état humide, lorsque le matériau est ramolli. Malgré le fait que dans de tels cas, le processus soit plus du modelage que du pliage, n'oubliez pas ces techniques pour étendre la gamme des moyens pour le traitement artistique final du modèle.

Figure : Patterns de figures humaines selon différentes techniques

À première vue, ces patterns peuvent sembler très différents les uns des autres, tant au niveau de la structure que de la forme du résultat final. Mais il ne faut pas se précipiter sur les conclusions, tous ces patterns donnent, une fois pliés, des formes plates avec les mêmes proportions et de plus, chaque CP peut être obtenu une par quelques manipulations simples. "Comment?" – Me demanderez vous. Pour le moment, cela n'est pas important, mais quand vous aurez fini de lire le livre, il est probable que cette question disparaîtra d'elle-même. Par la suite, des configurations plus complexes seront envisagées.

CONCEPTS DE BASE ET DÉFINITIONS

Avant de décrire les techniques elles-mêmes, définissons les concepts de base qui seront utilisés dans la partie théorique du livre.

- 1) **Montagnes et vallées.** Il y a deux types de plis en origami : convexes et concaves par rapport au plan de pliage. Ils sont appelés "montagnes" et "vallées", respectivement. Ces noms sont utilisés avec une orientation spécifique. Ainsi, la montagne deviendra vallée si vous regardez du côté verso de la feuille, et vice versa. Le plus souvent, l'orientation des lignes par rapport aux autres est importante pour plier le modèle à partir du pattern.

Figure : Orientation des plis, "montagne" à gauche, "vallée" à droite

- 2) **Patterns explicites et implicites.** Si le CP indique l'orientation relative des lignes du modèle les unes par rapport aux autres, que les différents plis sont représentés par différents types de lignes (montagnes et vallées pouvant différer par la couleur, l'épaisseur, la forme, etc), le CP est appelé CP explicite car il montre l'orientation des plis. Si l'orientation des lignes n'est pas indiquée, et que les lignes elles-mêmes ne sont pas différentes les unes des autres, le pattern est appelé implicite*.
- 3) **Nœud.** Un point sur le pattern où se croisent plusieurs plis.
- 4) **Forme de base.** Le résultat du pliage du pattern, toutes les parties se trouvent dans le même plan.
- 5) **Volet.** Élément mobile de la forme de base, résultat du pliage d'un champ. Les volets sont simples ou composés. Un volet simple consiste en une seule partie mobile, un volet composé consiste en plusieurs éléments mobiles ou branches.
- 6) **Arbre des volets.** Représentation schématique de la structure du modèle, qui a les mêmes dimensions entre les volets que la forme de base après le pliage du pattern. Il sert de référence, à partir de laquelle les proportions et la forme du modèle sont traduites sous forme de pattern.

Figure : Arbre des volets

* Voir la figure du CP de la grue classique pour des exemples de motifs "explicite" et "implicite".

- 7) **Champ.** Région du pattern formant un volet après pliage, avec des propriétés définies à l'avance. Les champs peuvent être simples ou complexes. Un champ simple forme un seul volet sans ramification de la structure, un champ complexe (bloc) forme des structures ramifiées, volets en éventail, etc. Selon différentes méthodes, des champs de formes différentes peuvent être utilisés pour donner des volets de même longueur.

Figure : champs : simple à gauche, complexe à droite

Pour définir les champs utilisés, on utilise souvent les points de repère qui sont situés aux nœuds des arbres. Par exemple, le champ complexe (bloc) à droite de la figure est appelé le champ $\{0 ; a\}$, où apparaissent dans l'accolade la racine du volet suivie du premier nœud.

- 8) **Rivière.** Tout comme les molécules sont constituées d'atomes, les champs sont constitués de rivières. Dans un champ, les rivières constituent l'intégralité de sa structure et déterminent sa forme définitive. Un champ peut être composé d'un nombre infini de rivières avec chacune ses propres paramètres et trajectoires. Sur le pattern final, les rivières peuvent être fermées ou ouvertes. Une rivière fermée se raccorde à elle-même, une rivière ouverte s'étend d'un bord à l'autre de la feuille.

Figure : Rivières dans la zone de pliage

- 9) **Méthode de conception.** Façon de créer un modèle plat selon un algorithme. Les méthodes sont divisées en trois grands types : linéaire ("Box Pleating", "Hex Pleating", etc), sectoriel ("Circle packing", "22,5 degrés", etc), et angulaire ("15 degrés", "22,5 degrés", etc.) Ce livre est presque entièrement consacré aux méthodes linéaires et leurs caractéristiques qui seront discutées en détail.

Une méthode est nécessaire pour simplifier le processus de conception en origami et aider l'auteur à obtenir un pattern dont le pliage satisfait le concept créatif. Bien sûr, les méthodes ne décrivent qu'une petite étape de la conception et il est peu probable qu'elles puissent aider au traitement final du modèle. Cependant, cette étape est extrêmement importante et constitue le fondement même d'une forme de base bien conçue et, en fait, de l'ensemble du futur modèle.

En fait, toutes les méthodes linéaires sont très similaires et ne diffèrent les unes des autres que par de petites nuances. Mais, malgré cela, avant de passer à la maîtrise de techniques sophistiquées, il vous faudra étudier la plus simple d'entre elles, le "Box Pleating".

RÈGLES DE KAWASAKI

Toutes les techniques qui sont décrites dans ce livre fonctionnent avec des pliage à plat. Fondamentalement, elles sont construites et dérivées de l'étude d'un certain nombre de conditions, sans lesquelles le champ et les lignes qu'il contient ne peuvent pas être pliés à plat. C'est ce qu'on appelle les "règles de Kawasaki " :

- *un nombre pair de lignes arrive à chaque noeud ;*
- *la valeur absolue de la différence entre le nombre de plis vallées et le nombre de plis montagnes est égale à deux ;*
- *à chaque nœud, la somme des angles aux positions paires est égale à la somme des angles aux positions impaires, elle-même égale à 180.*

Figure : Règles de Kawasaki

Les règles de Kawasaki sont utilisées, dans la pratique, principalement pour vérifier la précision des raccordements entre les éléments du pattern pendant le processus de conception.

Il arrive qu'après avoir effectué des manipulations avec les rivières et les champs, on constate que certaines lignes ne sont pas positionnées comme elles devraient l'être : elles vont d'un champ à l'autre avec des angles incorrects, se croisent etc. Il est alors nécessaire de contrôler la validité du travail de conception.

L'utilisation des règles Kawasaki ne peut être évitée s'il y a des difficultés à identifier l'orientation des lignes sur un pattern inconnu. Dans une telle situation, il est nécessaire de vérifier tous les nœuds problématiques pour déceler les erreurs que l'auteur lui-même n'a peut-être pas remarquées lors de la création du modèle.

Quoique, après avoir acquis quelques compétences dans les patterns de pliage, il soit possible de vérifier la plupart des modèles "à l'oeil", car vous rencontrerez de plus en plus d'éléments que vous aurez déjà pliés ou appris. Mais inévitablement vous trouverez des patterns qui seront formés à partir d'éléments complexes, nouveaux pour vous. Dans ces cas, vous ne pourrez pas avancer sans une analyse des noeuds, même un origamiste expérimenté doit parfois passer beaucoup de temps à choisir la bonne combinaison de montagnes et de vallées qui sortent des nœuds.

Les patterns d'intérêt augmentent en nombre chaque année, et élargissent les frontières de la recherche sur leur structure. Lors d'expositions, apparaissent des modèles supercomplexes, divers algorithmes mathématiques simplifiant la conception ont été publiés, etc. Mais il me semble que cela ne serait pas arrivé si les maîtres du passé n'avaient pas découvert les méthodes de conception en leur temps, et j'espère que dans ce livre, et plus précisément dans sa partie théorique, je pourrai en décrire les bases dans un "langage accessible".

"BOX PLEATING"

Box Pleating - la première des méthodes linéaires abordées dans ce livre. À mon avis, c'est avec elle qu'un futur auteur d'origami devrait commencer pour aborder la conception de ses modèles. Au cours de la dernière décennie, elle a gagné en popularité, en grande partie en raison de sa simplicité. Avec elle, vous pouvez facilement développer la compétence de séparer une feuille en zones destinées aux éléments du modèle. C'est extrêmement important pour une future carrière et c'est simplement nécessaire pour étudier des techniques plus difficiles, comme le "Hex Pleating" ou le "Mix Pleating".

Concevoir en Box Pleating (BP) est très semblable au jeu "Tetris", dans lequel des pièces ne comportant que des angles droits doivent remplir complètement le plan sans laisser de vides. C'est possible à cause du petit nombre de limitations qui déterminent la forme finale des champs et que le raccordement des éléments BP dans une base plate finale est simple et assez excitant. Le processus de raccordement des champs n'exige pas pratiquement aucun calcul supplémentaire, c'est pourquoi la conception même des patterns ne provoque généralement pas de difficultés. Cela vous permet de réaliser des créations imaginatives en origami sans recours aux mathématiques et sans avoir à improviser avec les formes de base. Après avoir construit les patterns de plusieurs modèles BP, il devient clair qu'il est possible de réaliser même les plus complexes d'entre eux, car la quasi-totalité des éléments BP sont produits de la même manière.

Néanmoins, le "Box Pleating" pur présente un inconvénient important : la perte d'une partie importante de la surface de pliage, qui s'accumule dans les volets et augmente considérablement leur épaisseur. Par conséquent, la qualité du résultat, comme dans toute autre méthode, dépend de la qualité du matériau choisi : il faut augmenter la taille de la feuille originale ou utiliser un papier ultra fin. Malgré cela, le faible temps requis pour la conception fait du BP la méthode favorite des auteurs débutants plus enthousiastes pour le processus de pliage que pour la création de motifs faciles à assembler, qui utilisent de manière optimale la surface de la feuille. Avec un peu de compétence, du papier millimétré ordinaire et un crayon, créer le pattern d'un futur "modèle BP" est tout à fait possible en quelques minutes. Même si, bien sûr, tout dépend de la complexité de l'arbre des volets.

Contrairement au "BP", d'autres méthodes demandent parfois des semaines, voire des mois, pour avoir un résultat satisfaisant.

Il n'est pas surprenant, alors, que le BP en "détourne" certains pour sa polyvalence, et que beaucoup s'arrêtent d'étendre l'éventail de techniques qui peuvent être empruntées à d'autres méthodes et, malheureusement, ils abandonnent l'étude de la théorie de l'origami. Mais, comme on dit, c'est "un choix personnel". En effet, même parmi les grands maîtres actuels, il y en a qui préfèrent choisir un pattern en "Box Pleating" pour une structure de base alors qu'ils maîtrisent déjà d'autres techniques à la perfection. En tout état de cause, la connaissance des fondamentaux du BP est très utile pour ceux qui ont décidé d'apprendre sérieusement à être auteur.

Figure 1.1 : Modèles conçus en "Box Pleating"

Grâce à certaines caractéristiques qui seront décrites en détail plus loin, le BP est très bien adapté à la conception de modèles avec un grand nombre de volets simples (*fig. 1.1*). Les amateurs de modèles spectaculaires (insectes, crustacés, etc.) le trouveront certainement "à leur goût".

Mais, quel que soit le succès vertigineux de vos premiers modèles, ne vous arrêtez pas là, car la méthode du BP n'est que la première étape. Ceci est équivalent à jouer un instrument de musique dans les limites d'une octave seulement ou même d'une note, d'un son ... Mais il y a plus !

Dans ce chapitre, nous allons étudier les bases de la conception avec la méthode BP pour le transfert des lignes, les plis de la surface de pliage et plus encore. Mais nous allons commencer par l'étude des constituants élémentaires des méthodes linéaires : les "rivières" et les "champs".

RIVIÈRES ET CHAMPS EN "BOX PLEATING"

Considérons plusieurs bandes de papier, s'étirant perpendiculairement à une suite de plis en "dents de scie" (fig. 1.2)^a.

Figure 1.2 : Ensemble de rivières ouvertes de la même largeur

Un maître a remarqué un jour que si on plie en accordéon une bande, à l'intérieur de laquelle il y a des lignes de pli perpendiculaires aux côtés, la largeur de l'accordéon sera égale à la largeur de la bande originale, quelle que soit la trajectoire de la bande. La figure montre la trajectoire par une ligne noire pointillée avec flèches. Le résultat du pliage dans le plan sera toujours le même, que la bande soit droite (fig. 1.2.1) ou sinueuse (fig. 1.2.2-1.2.3). De plus, si la largeur de la bande est constante, alors l'accordéon lui-même suivra les bords^b.

Ces bandes sont appelées "rivières" et les lignes délimitant la rivière sont les "**berges de la rivière**". La découverte de la rivière a marqué le début d'une nouvelle "ère" de l'origami : l'émergence des premières méthodes linéaires de conception de modèles. Dans l'origami moderne, la "rivière" est la principale composante d'un pattern quelle que soit la méthode.

^a Sur les patterns de la Figure 1.2 : trait pointillé signifie vallée, trait plein montagne.

^b Une ligne frontière, indiquée en gris dans les figures, formerait un seul point à la suite du pliage et, respectivement, l'autre ligne frontière, marquée en noir, un autre point.

Les éléments impliqués dans le processus de conception sont définis grâce aux rivières. Elle sert de bande de séparation entre les champs situés de part et d'autre de ses frontières. Autrement dit, si nous arrangeons n'importe quels éléments de forme arbitraire le long du périmètre de la rivière, alors après le pliage de la rivière, il restera un segment, égal à la largeur de la rivière, qui séparera les éléments de part et d'autre.

Une question évidente se pose: "Et si nous prenions une rivière arbitraire et la fermons sur elle-même?" La réponse est simple: rien ne changera fondamentalement, la seule différence est qu'elle séparera la zone intérieure de la zone extérieure de sa largeur. Dans ce cas, la rivière elle-même et le champ intérieur deviendront un seul champ qui formera un volet (*fig. 1.3*).

Figure 1.3 : Formation d'un volet

La figure 1.3 montre que la plage en gris foncé, après avoir connecté tous les points "0" sur le périmètre, forme la base d'un volet. Il peut être simple ou composite^a, mais à la suite du pliage, le segment "0-1" sera toujours à la base du volet intérieur.

De la même manière, on obtient toutes sortes de champs BP. En raison du fait que chaque nouvelle rivière, construite par dessus la précédente, va augmenter la longueur du volet de la "**largeur**" de la rivière^b, il est facile d'occuper la surface de la feuille. Pour plus de clarté, imaginez un parapluie ordinaire. Si l'on augmente le rayon de la coupole, il va augmenter en longueur lors du repliement. Si, au contraire, on coupe les bords, la longueur diminuera. La situation est très similaire, à la seule différence que les rivières peuvent avoir des trajectoires différentes lorsqu'elles se replient.

Il convient de noter que si, à l'intérieur d'une rivière fermée il n'y a aucun autre élément, elle devient un champ simple : la longueur du volet est égale à la largeur de la rivière (*fig. 1.4*).

^a Tout dépend de la structure de la zone intérieure.

^b Largeur de la rivière : distance la plus courte entre les deux berges.

Figure 1.4 : Rivières fermées formant des champs simples

La figure 1.4 montre des champs formant des volets de longueur identique "r", obtenus à partir de rivières fermées. Dans le cas 1.4.2, la rivière a été fermée suite à quatre rotations successives de 90 °, avec juste un point comme berge intérieure et la berge extérieure étant une figure géométrique convexe.

En origami, ces champs sont appelés "*de base*" et en BP c'est juste un carré. Vous apprendrez dans les chapitres suivants, les champs de base pour les autres techniques. Nous noterons seulement que, pour la simplicité du pliage et de la conception, un volet simple est représenté par un champ simple*.

En général, les techniques de conception linéaires ne diffèrent les unes des autres que par les angles sous lesquels une rivière peut tourner dans sa trajectoire. Dans le "Box Pleating" cet angle est de 90 ° pour "un pas", ce qui implique que, pour les *champs* de forme quelconque, tous les angles sont égaux soit à 90 °, soit à 270 ° (*fig. 1.5*).

Figure 1.5 : champs BP : champ simple à gauche, champ complexe à droite

* Cela permet d'éviter des difficultés inutiles au moment du pliage du pattern final, dues au fait que des champs qui ne sont pas «de base» augmentent de façon significative l'épaisseur des volets pliés.

LES PLIS EN BP

Les champs BP sont formés de deux types de lignes de plis. Pour les décrire, nous considérerons le champ de base, un quadrilatère (*carré*), dans lequel tous les côtés et les angles sont égaux (*fig. 1.6*).

Figure 1.6 : Lignes d'orientation et lignes de connexion d'un champ

Dans la figure 1.6.1 montre des lignes pleines noires (dans ce cas, des diagonales, car l'intérieur de la rivière est ici un point) qui traversent la rivière pour lui permettre de tourner et de poursuivre sa trajectoire*. Elles sont appelées "***lignes d'orientation***" et caractérisent la forme du champ, guidant le processus ultérieur de conception.

La figure 1.6.2 montre un autre groupe de lignes, qui sont l'une des principales caractéristiques des méthodes linéaires : les "***lignes de connexion***". Elles servent à raccorder les éléments du modèle.

Les directions des lignes de connexion et des rivières à l'intérieur d'un même champ sont toujours perpendiculaires les unes par rapport aux autres, mais en même temps, elles sont toutes les deux réfléchies par les lignes d'orientation. Au début, c'est difficile de s'habituer à ces particularités, ce qui mène parfois à des confusions : où sont les rivières, où sont les lignes de connexion, mais je suis sûr que vous réussirez, l'essentiel est de s'y faire.

Pendant le processus de pliage BP classique, les lignes de connexion adjacentes dans les champs ont, en règle générale, des directions opposées par rapport au plan de la feuille.

*Les flèches dans la figure 1.6.1 montrent la trajectoire. En outre, si la feuille après pliage du modèle a son sommet dirigé vers nous, la rotation de la rivière aura lieu en sens inverse des aiguilles d'une montre. Si le volet s'éloigne de nous la rotation de la rivière ce sera dans le sens des aiguilles d'une montre.

Ainsi, après pliage d'un élément BP, les lignes de connexion forment toujours une sorte d'accordéon (*fig. 1.7.4*). Grâce à ces parties en accordéon, toutes les parties du modèle sont reliées les unes aux autres, le long des bords et forment un tout cohérent.

*Figure 1.7 : Pliage des champs carrés en BP**

LONGUEUR DES VOLETS EN BP

Etant donné que le pliage est réalisé sur une feuille d'une forme spécifique, et non sur un surface infinie, la longueur des volets peut être modifiée à l'aide de ses bords.

Vous avez sans doute remarqué que presque tous les modèles ont des volets qui sont formés sur le bord de la feuille. En règle générale, ils sont plus minces, plus faciles à plier et à manipuler. Si l'on considère le champ lui-même, il peut donner l'impression que sa structure est un peu différente que dans les régions centrales : les lignes d'orientation sont dirigées d'une façon non usuelle ou sont absentes. En fait, il s'agit juste d'une partie du champ conçu initialement. Le reste se trouve juste à l'extérieur de la zone de pliage et donc tout ce qui est inutile a été retiré. En d'autres termes, il ne reste de toute la rivière fermée qu'une rivière ouverte qui coule d'un bord à l'autre de la feuille.

Le positionnement d'un volet sur le bord de la feuille économise considérablement le matériau papier : jusqu'à 75% en BP (pour un champ de base dont le centre se situe sur le bord, par rapport à un champ complètement sur la feuille). En général, la longueur du volet est égale à la largeur maximale de la rivière se trouvant dans la surface pliable. Par exemple, considérons différents cas de disposition de champs rectangulaires simples par rapport aux limites du carré (*fig. 1.8*).

*Dans la Figure 1.7, «*a*» est la largeur de la zone, comme mentionné précédemment. Elle est égale à la largeur totale de l'ensemble de ses rivières, ainsi que la longueur du volet formé. Pour le carré, c'est la moitié du côté.

Figure 1.8 : Implantation de champs BP par rapport aux limites de la feuille

Dans les cas 1 à 4, lorsque les centres des carrés sont à l'intérieur de la feuille ou sont placés sur le bord, la longueur du volet sera égale à la moitié du côté du carré. Cela est dû au fait que, dans chaque cas, une partie de la rivière, allant du centre du champ (la "*berge intérieure*") jusqu'au bord du champ (la "*berge extérieure*"), se trouve dans la zone de pliage.

Dans le champ 1, la rivière n'est pas interrompue du tout et tout le champ sera entièrement utilisé. Soit dit en passant, les volets centraux sont les plus difficiles à faire. L'excès de matériau est particulièrement critique pour les grands volets, ce qui entraîne une épaisseur de pliage qui parfois ne permet pas de traiter le modèle du tout. Par conséquent, si c'est possible, il est recommandé de placer les champs correspondant aux volets les plus longs sur le bord de la feuille, si cela n'interfère pas avec la structure globale du modèle.

L'économie de matériau est de 50 % pour le champ 2, 75% pour le champ 3 et 25% pour le champ 4, alors que la longueur du volet est restée constante.

Notez que le champ 5 est placé de telle façon que son centre se trouve en dehors de la feuille. Dans ce cas, la longueur du volet est la largeur du rectangle situé à l'intersection du champ avec la feuille, qui est, bien entendu, plus petite que la largeur du champ.

Et bien qu'il ne soit utilisé que 25% du matériau du champ, la longueur du volet sera la moitié.

Dans le cas 6, le champ est de forme rectangulaire sortant partiellement de la surface de pliage. Les mêmes règles s'appliquent et la longueur du volet est égale à la largeur maximale de la rivière à l'intérieur de la feuille.

Naturellement, tout ce qui précède s'applique également aux champs complexes, où la forme et la structure des volets sont déterminés par la rivière située dans la surface de pliage. Notez que la localisation des champs simples sur le bord de la feuille n'est pas du tout obligatoire : le principal est qu'ils forment la composition souhaitée d'éléments de base.

En général, tous les types de volets BP sont pliés comme dans la figure 1.7. d'abord les lignes de raccordement sont marquées, puis les volets sont formés en fonction de leur orientation par rapport au plan de la feuille. Par exemple, le pliage d'un champ rectangulaire apparaît ainsi (*fig. 1.9*).

Figure 1.9 : Pliage des champs rectangulaires en BP

Notez que la largeur des volets dépend uniquement de la distance entre des lignes de connexion adjacentes. La forme des champs n'a pas d'importance, donc, en définissant cette distance avant la conception, vous pouvez obtenir les bons paramètres pour les volets. Bien sûr, la largeur des volets n'est pas toujours aussi importante que leur longueur car il est possible de réduire sa largeur après le pliage d'un volet. Cependant dans certains cas, il est nécessaire de déterminer au préalable la largeur des volets dans le projet.

En revenant sur les lignes du pattern, on constate que dans la plupart des cas il n'est pas nécessaire de décrire le pattern BP explicitement, car les orientations des lignes de connexion sont alternées.

En ce qui concerne la détermination de l'orientation des volets par rapport au plan de la feuille, vous pouvez utiliser une règle simple, efficace pour tous les éléments :

***Le volet est dirigé du côté du plan de la feuille
où il y a plus de montagnes que de vallées.***

En d'autres termes, si vous regardez un champ qui a plus de montagnes que de vallées, le volet qu'il formera, sera dirigé vers vous. S'il y a plus de vallées que de montagnes, le volet s'éloignera de vous. Ainsi, nous pouvons prendre comme référence n'importe quel champ d'un pattern implicite, reconstituer facilement l'orientation de toutes les lignes et en même temps apprendre comment les volets sont dirigés les uns par rapport aux autres.

Lors de la conception de vos propres modèles, toutes ces questions seront résolues au fur et à mesure. Il est important de se rappeler que si la structure du modèle a des volets dans des directions différentes par rapport au plan du pliage, la mise en place peut être considérablement compliquée. Ceci est particulièrement critique si les volets "renversés" sont localisés dans la partie centrale de la feuille. De telles situations devraient être évitées, surtout si elles ne sont pas liées au concept créatif.

RACCORDEMENT DES ELEMENTS DANS UN PATTERN BP

La conception des modèles s'effectue selon la règle de base du raccordement des éléments :

Si les volets ont une forme de base et se touchent en un point, alors les champs correspondants doivent se toucher l'un l'autre en ayant une frontière commune.

Examinons comment les éléments se raccordent en BP sur un exemple. Pour cela, considérons l'arbre des volets suivant (fig. 1.10).

Figure 1.10 : Arbre des volets

Fondamentalement, le raccordement des éléments lors de la conception s'effectue de deux façons: "*séquentielle*" ou "*modulaire*".

Dans la première méthode, la procédure est exécutée séquentiellement, d'un élément à l'autre. Le raccordement modulaire implique une division préliminaire de l'arbre en grands blocs, incluant déjà plusieurs constituants élémentaires réunis pour des raisons logiques. Après avoir dessiné les blocs, ces parties sont interconnectées pour former un système de champs et de rivières.

RACCORDEMENT SÉQUENTIEL DES ÉLÉMENTS BP

Dans le raccordement séquentiel, le travail commence par la sélection du premier élément, auquel les autres parties de l'arbre des volets seront reliées ultérieurement.

Le raccordement séquentiel sera abordé plus en détail dans le chapitre "Mix Pleating", car il est nécessaire pour les méthodes spécifiques qui y sont décrites. Dans notre exemple (*fig. 1.10*), le raccordement en série commence avec les trois champs de gauche en éventail, puis atteint la rivière médiane et finalement, champ par champ, les éléments en éventail à droite.

L'éventail de gauche est composé de trois champs absolument identiques, qui "poussent" à partir d'un seul point. Selon les *règles de base des raccordements*, les champs doivent se toucher l'un l'autre sur le pourtour. La forme des champs peut être n'importe laquelle, mais, comme mentionné précédemment, si possible, on peut choisir la forme de base. Par conséquent, plaçons sur la feuille trois champs carrés de largeur "r", se touchant l'un l'autre par le périmètre.

Ensuite, raccordons la rivière de largeur "r" pour obtenir le segment "0-1", puis l'éventail de volets à droite. Il est fait de la même manière qu'à gauche mais couvrira la rivière sur la berge opposée. Ainsi, en raccordant tous les éléments en série les uns avec les autres, on obtient la combinaison suivante (*fig. 1.11.1*).

Figure 1.11 : Raccordement des champs et des rivières

Comme le montre la figure 1.11.2, la berge de la rivière en gris foncé, après pliage de toutes les lignes de connexion se rassemblera au point "1" et la noire au point "0", formant le segment "0-1" de l'arbre des volets.

Les champs liés les uns aux autres forment une surface commune et, par conséquent, après pliage l'éventail gauche se réunira au point "0" (*le point commun*), l'éventail droit au point "1", comme attendu.

Avant de choisir la position des carrés et de la rivière, il ne faut pas oublier qu'il faut déterminer la largeur des volets que nous voulons voir dans la base du futur modèle. La largeur des volets dépend de la quantité de lignes de connexion dans les champs. Plus il y a de lignes qui divisent un côté du champ, plus le volet est étroit. En même temps il est nécessaire de tenir compte de la continuité de lignes au passage d'une zone à l'autre.

Bien sûr, il est possible d'effectuer le raccordement simplement en joignant les lignes de connexion. Toutefois, en BP il est beaucoup plus commode d'effectuer la procédure par ce qu'on appelle "*la grille unitaire*" (*fig. 1.12*). Dans la pratique, vous pouvez utiliser lors de la conception un cahier ordinaire "à petits carreaux" ou du papier millimétré, sur lesquels on peut tracer facilement les lignes de pli.

Figure 1.12 : Raccordement de deux champs sur une grille unitaire

La grille unitaire joue un rôle très important pour le pliage des modèles conçus en BP. Avec son aide, les coordonnées de toutes les lignes d'orientation sont reportées sur le pattern. Ceci élimine également la nécessité de tracer les lignes de connexion, car elles font partie de la grille elle-même. Les principaux paramètres la feuille de grille unitaire sont la *taille* et le *pas*.

Taille de la grille : Paramètre du pattern final, il est égal au nombre de carrés unitaires qui sont créés en pliant la grille suivant des lignes à angles droits. La taille de la grille est représentée par le produit de deux nombres ("a" x "b" pour un rectangle et "a" x "a" pour carré), où "a" est le nombre d'unités le long de l'axe des "X", "b" le long de l'axe des "Y".

Pas de la grille : Paramètre qui détermine la largeur des volets, qui est égal à la distance entre les lignes de connexion parallèles adjacentes.

Dans notre exemple, nous avons choisi un pas de grille de "r/7". Cela signifie que, dans le plan du pattern de pliage (*fig. 1.13*), la largeur des volets sera constante et égale à "r/7".

Figure 1.13 : Pliage du pattern

Dans notre exemple (*fig.1.13*), nous avons trois volets orientés du même côté du plan de la feuille, et trois de l'autre. Cette orientation est utilisée dans les cas où vous souhaitez obtenir des volets de couleur différente lors du pliage d'un papier bicolore.

Il faut noter que la taille finale du pattern et, par conséquent, la taille de la grille ne peut pas être déterminé à l'avance. Dans le processus de conception, lors du raccordement, diverses manipulations des champs et des rivières sont effectuées. L'aspect final du CP dépend de la nature de ces actions. Les champs et les rivières sont des éléments très instables pendant la conception. Très souvent, le pattern final est tellement transformé après *optimisation*, que retrouver la disposition initiale des éléments est très difficile, tant la forme et l'emplacement des champs peuvent changer.

Optimisation : processus de transformation du pattern pour simplifier le pliage, et utiliser plus efficacement le matériau papier. Il s'agit, en règle générale, de la transformation de la forme des champs et des rivières et de leurs positionnements les uns par rapport aux autres. L'optimisation en BP sera discutée en détail dans le dernier chapitre, nous n'allons donc pas nous y attarder maintenant. Notez seulement que, dans notre exemple, le même ensemble de champs et de rivières peut être raccordé de manière plus rationnelle (*fig. 1.14*).

Figure 1.14 : Eléments raccordés en pattern

En général, les champs doivent être positionnés aussi près que possible de façon à ce que les rivières soient les moins sinueuses possible. Cela permettra de répartir les champs d'une manière plus compacte sur la surface de la feuille et le pliage du pattern optimisé sera beaucoup plus facile. Pour comprendre dans quelle mesure c'est important, votre propre expérience sera votre meilleur professeur. Personnellement, je me suis très vite rendu compte que les patterns devaient être simplifiés, particulièrement après la N-ième feuille de papier désespérément abîmée.

Revenons à notre arbre des volets (*fig. 1.10*). Considérons maintenant le raccordement modulaire des éléments du pattern, la méthode la plus couramment utilisée pour raccorder en "Box Pleating".

RACCORDEMENT MODULAIRE DES ÉLÉMENTS BP

Après analyse de la structure du modèle, le processus commence par la sélection d'un "point de référence" à partir duquel l'arbre est divisé en blocs complexes.

Supposons que nous ayons choisi le point "1" (*fig. 1.15*) et divisé l'arbre (*fig. 1.10*) en blocs "A" et "B".

Figure 1.15 : Décomposition de l'arbre des volets en composants

Après la division, commence le raccordement des volets simples dans chaque bloc séparément. Les éléments sont raccordés séquentiellement à l'intérieur des blocs.

Le bloc "A" se compose de trois volets simples, de longueur "r" et du segment "0-1". C'est-à-dire que la structure du bloc "A" sera composée de trois champs simples de largeur "r", entourés par la rivière "0-1" de la même largeur "r" (*fig. 1.16*).

Figure 1.16 : Bloc "A"

Conformément "au point de référence" choisi, les blocs complexes "A" et "B" se raccorderont en "1", le long de la berge extérieure (*fig. 1.16 gauche*). Maintenant, peu importe à quel endroit nous plaçons le bloc "B" le long des berges "1", notre arbre sera construit, même si les blocs n'ont qu'un seul point de contact.

La longueur de la partie supérieure du bloc "A" est égale à "6r" (*fig. 1.16 droite*), qui est trois fois plus grande que la largeur du champ carré de largeur "r". Il s'ensuit que l'unité "B" doit être composée de trois champs carrés (*pour des raisons de rationalité de raccordement*) (*fig. 1.17 gauche*).

Figure 1.17 : Raccordement final des blocs

Le raccordement des blocs n'implique que de tracer des lignes de connexion, en conservant leur orientation par rapport au plan de la feuille (*fig. 1.17*).

MARAIS BP

L'un des principaux problèmes qui se posent lors du raccordement par blocs d'éléments, est ce qu'on appelle les "*marais*". C'est un "vide" sur la feuille, qui peut se former entre des blocs complexes sur leurs frontières communes. C'est plus facile à imaginer si vous vous rappelez de "Tetris" : le jeu devient plus compliqué lorsque les blocs voisins ne s'imbriquent pas.

Si les patterns de modèles simples sont facilement réalisables sans marais, ce peut devenir un véritable casse-tête pour les modèles complexes, surtout pour les débutants. Il est souvent nécessaire d'ajuster la structure des blocs pour obtenir des connexions propres, ou de se débarrasser de volets superflus lors du raccordement. Et ces leçons sont loin d'être agréables.

Bien sûr, pour éviter de tels problèmes, vous pouvez joindre les éléments de manière séquentielle, c'est fiable, mais c'est très long. Heureusement, il existe un moyen plus simple : modifier la trajectoire des rivières situées à proximité du marais. Considérons un exemple simple où il faut se débarrasser d'un marais.

Supposons qu'un marais rectangulaire (*fig. 1.18.1*) a été formé à la jonction de deux blocs qui, si l'intégrité des lignes est normalement maintenue, forme un volet non planifié (*fig. 1.18.2*).

Figure 1.18 : Marais entre les blocs "A" et "B"

Pour se débarrasser du marais, il faut d'abord essayer de déplacer les champs adjacents à l'endroit où se trouve le vide, pour le remplir sans déranger la structure des champs et des rivières. Ceci rappelle le jeu de "taquin" : les champs se déplacent le long de directions perpendiculaires*. Par exemple, dans ce cas, vous pouvez déplacer le champ "B" du bas (*fig. 1.19*).

Figure 1.19 : Elimination d'un marais par le champ voisin

*En règle générale, lors de la conception réelle il y a souvent des limitations importantes à de telles manœuvres.

Mais, le plus souvent, le simple déplacement d'un champ ne suffit pas, particulièrement si la forme des blocs déplacés ne permet pas d'«entrer» dans le marais sans perturber la structure. Dans ce cas, il est nécessaire de changer la trajectoire de la rivière (ou des rivières) adjacente au marais.

Ainsi, pour le champ "B" du bas (*fig.1.18.1*), si nous transformons la rivière, large d'un pas de la grille unitaire, en augmentant sa largeur, alors nous remplissons le marais sans déplacement du centre du champ. La manipulation se présente comme suit (*fig. 1.20*).

Figure 1.20 : Elimination du marais par transformation de la rivière

Bien sûr, cet exemple n'est qu'un cas particulier des nombreuses options permettant de modifier la direction de la rivière. De même, on pourrait modifier la trajectoire d'autres rivières, par exemple la partie supérieure du champ "B" ou la rivière "0-1". Si vous voulez, vous pouvez essayer différentes options par vous-même. Dans chaque cas, la décision dépend de vos choix et préférences qui peuvent se développer avec la pratique. Cependant, malgré le large éventail de transformations possibles, obtenir un pattern "propre" sans augmenter la taille de la grille unitaire n'est pas toujours possible. Parfois, il est nécessaire d'ajouter des volets latéraux et de les cacher derrière le matériel disponible, lors du traitement final. Dans le pire des cas, nous devons revenir au tout début de la conception pour une répartition plus rationnelle des champs et aboutir au modèle prévu.

ROTATION DE LA FEUILLE EN BP

Pour la création de modèles en "Box Pleating", on peut utiliser une grille unitaire qui ne soit pas parallèle aux côtés du carré (*fig.1.21.1*).

Un grand nombre de modèles exceptionnels créés par des maîtres contemporains célèbres, ont été réalisés ainsi. Ceci est fait pour donner des propriétés particulières au bord de certains volets ou pour faciliter la distribution des champs et des rivières sur la surface de pliage.

Figure 1.21 : Rotation de la grille unitaire

Le processus de répartition des champs et des rivières n'est pas différent du "Box Pleating" sur une grille carrée unitaire parallèle aux côtés (*fig. 1.21*). Cependant, les champs qui dépassent les limites de la feuille, prennent une forme légèrement différente (*fig. 1.22.2*) de celles du BP classique (*fig. 1.22.1*). Il est ainsi possible de changer la couleur (*fig. 1.22.2*) ou de créer des volets supplémentaires sur le volet principal (*fig. 1.22.3*).

Figure 1.22 : Lignes de connexion au bord de la feuille

Très souvent, lors de la création des modèles symétriques, vous utiliserez une grille tournée de 45 degrés. Le choix de cet angle permet, non seulement de donner au volet les propriétés désirées, mais aussi de faciliter le transfert sur une grille unitaire.

Parlant de modèles symétriques, l'utilisation de la rotation d'une grille permet d'économiser du matériau papier sur les volets latéraux dont les champs sont placés dans les coins. Dans ce cas, la création de volets utilise seulement un quart du champ entier et il n'y a pas de lignes d'orientation dans la structure. Par conséquent, souvent les maîtres de l'origami utilisent plutôt souvent la symétrie diagonale pour créer des modèles d'animaux, de dragons, de dinosaures et autres.

Dans ce cas, il est beaucoup plus facile de plier et faire ressortir une tête et une queue car il y a beaucoup de papier non surchargé grâce à la rotation des lignes de connexion.

Quant à la répartition des champs, tout se fait de la même manière que pour une grille orientée normalement, sauf que les plis dans les champs sont tournés (*fig. 1.23*). Les flèches noires et grises indiquent les parties séparées par la rivière, positionnée pour le pliage de l'arbre des volets.

Figure 1.23 : Obtention du pattern BP quand la grille est tournée de 45 degrés

Parfois, pour faire des volets aux propriétés différentes, il est plus commode de ne pas faire tourner toute la grille mais seulement une partie. Elle s'effectue par rapport à des lignes pré-sélectionnées. Par réflexion, on obtient la projection du "Box Pleating" rebondissant sur les côtés de la feuille. Par exemple, voici à quoi ressemble un système de rivières et de champs (*fig. 1.24*).

Figure 1.24 : MP : champ raccordé à des lignes de connexion "rebondissantes"

On obtient un côté de la feuille qui présente les propriétés requises avec réflexion des lignes de la grille. Le champ est également composé d'une rivière fermée, mais sa description est au-delà de la portée du BP. Nous reviendrons plus en détail sur cette question. Nous reviendrons plus en détail sur cette question dans le chapitre "Mix Pleating".

GRILLE UNITAIRE EN BP

Comme indiqué précédemment, tous les champs impliqués dans la création de modèles BP sont reliés les uns aux autres par des lignes qui ont une position fixe sur la grille unitaire. Lors du pliage d'un modèle, la première étape du modèle à plier est le problème d'appliquer la grille elle-même. D'un point de vue pratique, cela signifie qu'il est nécessaire de diviser le côté du carré en un nombre désiré en parties égales. Comment fait-on?

Il y a plusieurs façons de construire une grille unitaire. En pliant, d'après les diagrammes, des modèles de différents auteurs, vous avez probablement rencontré beaucoup de divisions du carré en différents nombres de parties égales. Il y a beaucoup de moyens, et chaque maître choisit ceux qui lui conviennent. L'un préfère mesurer la longueur de la feuille avec une règle, et la diviser un nombre requis de parties pour obtenir le pas de la grille ; un autre utilise des constructions supplémentaires à l'intérieur du carré. Dans diverses sources, telles que "Tanteidan Magazine", vous pouvez trouver bon nombre de ces techniques de division et je considère qu'il est inutile de les répéter ; je ne citerai que celles que j'utilise moi-même.

Tout d'abord, considérons le cas courant où la grille unitaire est formée en divisant le carré en " 2^k " parties, où « k » est un nombre entier naturel arbitraire*.

La préférence du choix d'un tel pas vient de la simplicité et la commodité de la mise en place de la grille sur la surface de pliage. L'ensemble du processus de division en parties est réduit à la formation périodique de lignes parallèles (*fig. 1.25*). Naturellement, pour terminer la grille, il faut diviser le carré de la même manière horizontalement.

Figure 1.25 : La division du carré en " 2^k " parties égales

Dans le cas où il est nécessaire de diviser les côtés du carré en un nombre arbitraire de parties, la situation est un peu plus compliquée. Par exemple, pour diviser le côté du carré en trois parties égales, il faut tout de suite utiliser des constructions géométriques (*fig. 1.26*).

*Nombres entiers naturels : les nombres qui apparaissent naturellement dans le comptage des objets.

Figure 1.26: La division du carré en 3 parties égales

La division en un nombre de parties plus grand nécessite des constructions plus complexes. Étant donné que ce problème a toujours une importance particulière, des algorithmes généraux de division en un nombre quelconque de segments égaux ont été inventés. Il y a eu beaucoup travaux sur ce sujet, on peut les trouver facilement sur Internet. De nombreux mathématiciens origamistes du monde entier ont mis au point de telles méthodes. Considérons l'une d'elles.

Cet algorithme peut être considéré comme l'une des propriétés du théorème généralisé, énoncé par l'origamiste et scientifique américain Robert Lang "www.langorigami.com" (fig. 1.27.1).

Pour plus d'informations, référez vous aux "Tanteidan Magazine" n^{os} 55-56, qui décrivent en détail sa découverte, celle-ci est utilisée avec succès par les maîtres du monde entier. Donc, si l'on considère le cas où "a" = 0, on obtient l'équation $KN/NB = (x - y) / y$ (fig. 1.27.2).

Figure 1.27: Algorithme de division du carré en un nombre quelconque de segments égaux

Grâce à cette propriété géométrique du carré, il est très facile de diviser le côté d'une feuille en un nombre requis de parties en utilisant l'algorithme suivant:

- Choisir un nombre arbitraire "x" > "y", de sorte que son addition à "y" donne le nombre requis de parties. La manière de diviser en "x" parties doit être connue, de préférence une puissance de deux (fig. 1.25);

- Diviser le côté KB du carré en "x" parties;

- Compter " y " parties à partir du point B , nous obtenons le point N (fig. 1.27.2);
- Tracer la droite NL et obtenir le point M (il partage la diagonale en deux segments AM et MB);
- Comme le rapport des longueurs de AM / MB est le rapport des longueurs des projections sur les côtés du carré, et que la division en " x " parties est connue, il est possible de construire la grille avec le nombre requis de parties.

Par exemple, utilisons cet algorithme pour une grille "23-23" (fig. 1.28)

- 1) Choisir " x " (puissance de deux) $>$ " y ". Comme $23=16 + 7$, alors " x " =16, " y " =7;
- 2) Diviser le côté du carré en " x " = 16 parties;
- 3) Compter " y " = 7 parties depuis le côté droit;
- 4) Plier
- 5) Construire la grille à partir du point M .

Figure 1.28: Obtention d'une grille 23-23

Bien sûr, cet algorithme ne s'utilise pas toujours à la lettre, en particulier pour les grilles avec un grand nombre de divisions. Tout d'abord, il faut regarder selon le type de nombre. En règle générale, le processus d'obtention d'une grille peut être simplifié. Par exemple, pour des nombres de type " $r2^k$ ", où " r " et " k " sont des entiers arbitraires. Dans ce cas, le côté du carré est divisé d'abord en un petit nombre " r " de parties puis chacune des " r " parties est divisée en 2, " k " fois (fig. 1.25).

Il est parfois pratique d'utiliser juste des ciseaux pour la construction de grilles, surtout pour celles de plus de 70-70 cm de côté. C'est raisonnable dans les cas où l'algorithme nécessite de nombreuses étapes. Ainsi, en ayant une simple division du type "2ⁿ" ou "3x2ⁿ", il suffit de découper le long des lignes qui entourent la grille souhaitée. Il n'y aura pas de construction inutile sur la feuille et l'erreur de grille sera minimale.

Par exemple, pour réaliser une grille de "27x27" avec l'algorithme, il faut des constructions supplémentaires, comme dans la figure 1.28. Cependant, si nous coupons une partie d'une grille "32x32" à une distance de cinq pas du bord de la feuille, nous obtenons la grille "27x27" sans recours à la géométrie, et il n'y aura aucun pli de construction supplémentaire (fig. 1.29).

Figure 1.29: Obtention d'une grille 27-27

Naturellement, la manœuvre n'est pas toujours rationnelle, et parfois on perd trop de matériau, mais pour des grilles telles que "31x31", "63x63" et ainsi de suite, c'est tout à fait acceptable.

Alors que des constructions supplémentaires peuvent créer beaucoup de problèmes, une coupe d'une bande de l'épaisseur d'une cellule sur une grille de "32x32" ou "64x64" se fait en un clin d'oeil.

CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE BP

Dans cette partie, nous résumerons les résultats de l'étude du "Box Pleating" et nous examinerons un exemple de création de pattern à partir de l'arbre des volets du modèle.

Pour cela, nous choisissons d'abord l'objet dont nous voulons obtenir la forme. Un bon exemple est la forme d'un arbre réel. Dans la nature, il n'y a pas deux arbres identiques donc nous pouvons arbitrairement compliquer notre modèle et diversifier les nuances techniques.

Supposons que nous ayons choisi l'arbre des volets ci-dessous (*fig. 1.30*). Les principales composantes seront: les racines, composées de 3 volets composites, le tronc de l'arbre de longueur "2r"; le système de branches.

Figure 1.30: Arbre des volets du modèle "Arbre"

Le processus de création d'un pattern de modèle comprendra les principales étapes suivantes:

- *Choix du pas de la grille de BP, et de la méthode de raccordement des éléments*
- *Construction des blocs du modèle;*
- *Raccordement des blocs principaux;*
- *Optimisation de la structure du modèle et obtention du CP final.*

CHOIX DU PAS DE LA GRILLE DE BP ET DE LA MÉTHODE DE RACCORDEMENT DES ÉLÉMENTS

Le choix du pas de la grille unitaire dépend de la largeur des volets que nous voulons voir dans le résultat final. Ce modèle suppose des volets assez étroits. Toutefois, la réduction excessive de la largeur peut provoquer des problèmes dans le pliage, ça exigera une feuille plus fine ou de format plus grand.

En tout cas, si nous analysons l'arbre des volets, nous voyons que la longueur minimale des volets entrant dans sa composition est "0,5r". Si nous choisissons cette valeur comme le pas minimal de la grille, l'aspect d'un volet de longueur "r" aura un ratio de (1:2). Visuellement, on peut estimer qu'un volet de cette longueur et de cette structure ne sera pas très facile à plier pour faire une branche d'arbre et qu'il est souhaitable de réduire. Pour un volet de longueur "r", le rapport de (1:4) conviendra. Cela signifie que l'intervalle minimum de "0,5r" nécessite 2 cellules de grille.

Pour raccorder, la meilleure façon est de procéder par blocs. Comme mentionné plus haut, c'est le plus pratique pour un modèle BP symétrique. Ne vous laissez pas embarrasser par l'asymétrie de la partie supérieure du modèle, les deux volets "asymétriques" peuvent tout à fait être bien disposés l'un à côté de l'autre et la structure générale du modèle sera symétrique.

CONSTRUCTION DES BLOCS DU MODELE

***Pattern structurel** : un pattern constitué de champs et de rivières distribués conformément à l'arbre des volets, sans lignes de connexion.*

***Pattern final** : un pattern composé de toutes les lignes de pli.*

Pour commencer, il faut décomposer l'arbre des volets en composants: les volets "C" et "D" sont les branches latérales, "B" est le sommet de l'arbre, "A" le tronc et les racines (fig. 1.31). Ils correspondront aux blocs "A", "B", "C" et "D".

Figure 1.31: Schéma en blocs du modèle

Ensuite, nous passons à l'obtention du pattern structurel de chaque bloc.

1) Bloc "A"

Figure 1.32: Bloc "A"

L'arbre 1.32 montre que le volet complexe $\{0 ; 1\}$ est constitué de trois volets $\{1 ; a\}$, $\{1 ; b\}$ et $\{1 ; c\}$, séparé par un bras "2r" du reste du modèle.

Les volets $\{1 ; a\}$ et $\{1 ; b\}$ ont la même structure, chacun se compose de deux volets simples de largeur "1,5r" et d'un bras de "0,5r". Cela signifie que leurs blocs sont composés de champs simples de largeur "1,5 r", entourés par une rivière de "0,5r" (*fig. 1.33, à droite*).

Figure 1.33: Patterns structureaux des blocs : $\{1 ; c\}$ à gauche, $\{1 ; a\}$ et $\{1 ; b\}$ à droite

De même, le bloc $\{1 ; c\}$ est constitué de champs de largeur "r", entouré par une rivière de largeur "r" (*fig. 1.33, à gauche*).

Maintenant, il faut raccorder les blocs. Compte tenu du fait que le point "1" est relié aux trois volets, les blocs entrent en contact les uns avec les autres à n'importe quel point le long de leurs frontières (*fig. 1.34a*).

Quels que soient les volets raccordés (simples ou complexes) la "règle de connexion" doit toujours être respectée !

Figure 1.34: Différentes options pour raccorder les champs $\{1 ; a\}$, $\{1 ; b\}$ et $\{1 ; c\}$

La largeur de ces champs complexes est la même: $r + 2r + r = 0,5 r + 3r + 0,5 r = 4r$, ce qui signifie que si nous les organisons comme indiqué dans la figure 1.34.3, le résultat est un champ rectangulaire. Pourquoi est-ce important ?

Lors du raccordement des champs en "Box Pleating", il est recommandé de placer les blocs dans des structures rectangulaires, pour éviter des difficultés lors de la résolution de marais. Par conséquent, la préférence pour le raccordement correspond à la figure 1.34.3. Il est plus important de noter l'orientation identique des volets par rapport au plan de la feuille car les centres de tous les champs principaux se trouvent sur la même ligne. Cette particularité est souvent utilisée dans la conception des modèles. En disposant les champs de cette façon, il est possible de réduire considérablement la taille de la grille unitaire. Pour les petites grilles, ce n'est pas essentiel, mais pour simplifier des grilles de "128 x 128" à "32 x 32", vous voyez que c'est tout à fait raisonnable. La forte épaisseur des volets après pliage est réglée par la division en deux de la largeur des volets de base.

Ensuite, il faut obtenir la structure correspondant au bras "0-1". Comme on peut le voir sur l'arbre des volets, le point "1" est à une distance de "2r" du point "0". Donc, pour la forme finale du bloc "A", il est nécessaire d'entourer l'éventail $\{1 ; a\}$, $\{1 ; b\}$ et $\{1 ; c\}$ d'une rivière de largeur "2r" (*fig. 1.35 haut*).

Figure 1.35: Pattern structural final du volet "A"

La figure 1.35 (bas) présente le pattern final du bloc "A", qui a été obtenu à la suite de l'application de toutes les lignes de connexion sur une grille unitaire.

Plus tard, quand les patterns des blocs seront finis, le raccordement des blocs sera réalisé pour donner le CP. Il est nécessaire de contrôler la bonne orientation des lignes de connexion à la transition d'un bloc à l'autre.

2) Bloc "B"

Figure 1.36: Bloc "B"

Le bloc "B" se compose de quatre champs : trois champs simples et un champ complexe {0 ; a}.

Comme pour le bloc "A", en utilisant les valeurs des longueurs des branches de l'arbre on définit tous les champs inclus dans le bloc "B" (fig. 1.37).

Figure 1.37: Champs du bloc "B"

Comme pour le bloc "A", le bloc "B" est formé par le raccordement de tous les champs.

L'algorithme de construction est le même, l'essentiel est d'assurer la continuité des lignes de connexion. Veuillez noter qu'il n'est pas nécessaire d'entourer ce bloc par une rivière car tous les volets touchent le point "0". Le résultat est le pattern structural final du bloc "B" (fig. 1.38).

Figure 1.38: Pattern structural final du volet "B"

3) Blocs "C" et "D"

Figure 1.39: Bloc "C"

Les blocs latéraux ("C" et "D") sont de composition identique et sont formés de deux volets simples et de deux complexes, et sont reliés au point "0" par le long bras "2r". Ils sont symétriques par rapport à la verticale passant par le point «0», il suffit donc d'obtenir le bloc "C", le bloc "D" étant son image dans un miroir.

Vous savez déjà comment construire ce bloc : les champs correspondant à l'arbre des volets sont reliés en "1" et entourées par une rivière de largeur "2r" pour obtenir le bras "0-1", etc. Les résultats sont comme suit (*fig. 1.40*).

Figure 1.40: Pattern structural final du volet "C"

RACCORDEMENT DES BLOCS BP PRINCIPAUX

Suite aux actions précédentes, nous avons obtenu les modèles structurels des quatre blocs qui forment principales parties du modèle. Maintenant, nous devons les réunir.

En général, le raccordement des blocs est effectué dans les mêmes conditions que pour les champs conventionnels. C'est à dire que pour les raccorder, il suffit qu'ils se touchent les uns les autres aux frontières extérieures. Ce faisant, ils doivent être disposés de sorte qu'il y ait entre eux le moins de marais possible. En effet, bien que le raccordement soit simplifié et réalisé le long des lignes d'une grille unitaire, il reste à préserver la continuité des lignes de connexion à travers ces espaces vides.

Figure 1.41: Pattern structural final du modèle

OPTIMISATION DE LA STRUCTURE DU MODÈLE ET OBTENTION DU CP FINAL

Optimisation : processus de déplacement des éléments du pattern les uns par rapport aux autres dans le but de simplifier la structure du modèle et l'exécution du pliage.

Optimiser un pattern en "Box Pleating" est beaucoup plus facile que dans les autres méthodes. Un chapitre séparé est consacré aux questions d'optimisation dans ce livre. A ce stade, notons ce qui suit. Parfois, surtout si le résultat du raccordement des principaux blocs forme un ensemble de marais, le processus d'élimination peut prendre beaucoup de temps (voir "marais"). Dans notre exemple, il reste seulement à trouver la taille optimale du carré qui couvrira une certaine superficie des champs du pattern structural et tous les centres des champs,.

Notez que le carré (la forme la plus couramment utilisée et traditionnelle dans l'origami) est toujours facultatif : il est possible de recouvrir avec un hexagone ou un cercle, etc. D'une façon générale, la forme de la feuille de pliage est libre.

En examinant les blocs de pliage pour notre arbre des volets, on voit que si nous intervertissons les positions des deux champs supérieurs du bloc «B» avec le champ juste en dessous (*fig. 1.41.1*), le rectangle réunissant les bords des champs extrêmes devient un carré, ainsi que le bloc global (et aussi la base du modèle), mais que les caractéristiques du bloc ne changent pas (*fig. 1.42.2*). Faisons le donc.

Figure 1.42: Optimisation de la structure du pattern

Donc, ayant fait l'interversion, nous avons finalement défini la surface de pliage. Cela signifie que vous pouvez "couper" tout ce qui se trouve à l'extérieur. Étant donné que tous les éléments qui forment la base auront été placés à l'intérieur du carré.

Calculons maintenant le nombre de sections élémentaires de largeur "0,5r" dans chacune des parties pour déterminer les paramètres de la grille unitaire, que nous allons utiliser pour plier le modèle.

Au tout début du processus de conception, nous avons défini que nous avons besoin de deux cellules de la grille pour l'intervalle minimum de "0,5r". Il s'ensuit que si la longueur du côté est égale à "16r", le nombre de sections élémentaires sera deux fois plus grand ($16 : 0,5 = 32$), et le nombre de divisions de la grille sera $32 \times 2 = 64$. Ainsi, pour les proportions que nous avons choisies, le paramètre taille de la grille est "64x64". Cette division est acceptable pour une feuille de grammage 30-40 g/m² et une taille d'environ 50x50 cm. Il faut d'abord marquer ces lignes, les lignes de quadrillage deviendront par la suite des lignes de connexion. Ceci termine le processus de conception du modèle de "L'Arbre"* (*fig. 1.43*).

*Le pliage de ce modèle se trouve dans la partie pratique du livre.

Figure 1.43: Le pattern final du modèle

"HEX PLEATING"

Cette technique a été utilisée pour la première fois il y a quelques années par l'origamiste américain Robert Lang (www.langorigami.com). Récemment, elle est devenue très populaire parmi les maîtres de l'origami grâce à la diversité des éléments techniques, et une relativement faible complexité à transférer un pattern sur une zone de pliage sur. Comme pour le BP, la structure du "Hex pleating" (HP) est formée par l'utilisation de champs et de rivières, raccordés les uns aux autres. De même, le raccordement de certains éléments à d'autres, au moyen des lignes de connexion, est contrôlé par la largeur des volets, et ainsi de suite. Si l'on fait abstraction des différences apparentes et de la forme des champs utilisés, la similitude des deux méthodes est tout à fait évidente. Si vous comparez le contenu de ce chapitre avec les bases du BP, décrites plus haut, vous pourrez le constater par vous-même.

Hex Pleating - une technique fascinante. Pour concevoir en HP, il suffit d'avoir un crayon, une règle et des gabarits de grilles unitaires (ce point sera discuté en détail ci-dessous), ou de compétences avec les éditeurs graphiques vectoriels informatiques. Bien sûr, la conception en HP est un peu plus compliquée qu'en BP, mais une utilisation plus rationnelle du pliage (naturellement, avec une bonne sélection des champs) compense largement ce point. En outre, si vous le souhaitez, les méthodes peuvent très bien être utilisées ensemble, ce qui permettra d'élargir l'arsenal technique des fans du BP standard.

Figure 2.1: Modèle conçu en "Hex Pleating"

Dans ce chapitre, les bases de conception en HP seront examinées, par exemple les règles de raccordement, le déplacement des éléments les uns par rapport aux autres, l'utilisation de grilles unitaires, l'utilisation rationnelle des champs, le raccordement des éléments ainsi que plusieurs d'autres choses. Mais pour commencer, considérons les "composants élémentaires" du HP.

RIVIERES ET CHAMPS EN "HEX PLEATING"

Les principaux composants du HP (ses particules élémentaires) sont les rivières qui forment la structure de par leur position dans le modèle. Lors de l'étude de la rivière en BP, nous avons examiné la bande (*la rivière*) qui changeait de direction, faisant seulement des virages à 90 degrés pour tourner. Quand elle est pliée le long des lignes de connexion, nous obtenons les éléments de même taille, qui sont ensuite utilisés dans la construction.

Il n'y a pas de différence fondamentale en HP, nous trouvons les mêmes éléments mais les angles de rotation des rivières sont des multiples de 60 degrés (*fig. 2.2*).

Figure 2.2: Ensemble de rivières ouvertes de la même largeur

Toutes les méthodes linéaires utilisent la même terminologie que celle présentée au début du premier chapitre. Rappelons les concepts de base du HP (*fig. 2.2*). Les lignes noires et grises (*berges de la rivière ou côtes*), se rassemblent sur les points blancs et gris, respectivement, lorsqu'elles sont pliées selon l'*arbre des volets*. La distance entre les deux berges est appelée la *largeur de la rivière*. Elle est constante tout au long de sa trajectoire et sert d'élément de séparation des parties du pattern situées de part et d'autre de ses berges. Si la rivière HP se referme sur elle-même, cette rivière est appelée *fermée*, sinon, elle est *ouverte*. Comme en BP, les rivières HP ouvertes font elles-mêmes partie de rivières fermées qui se referment au-delà de la zone de pliage, elles n'affectent pas la longueur des volets générés.

À première vue, il peut sembler que la rivière HP se comporte selon des règles légèrement différentes : les lignes d'orientation sont plus difficiles à définir et les virages eux-mêmes semblent différents. Mais il faut s'habituer aux manipulations sur la grille unitaire utilisée en HP, car la conception est à peine plus difficile qu'en BP. Toutefois, il est très important de comprendre comment tournent les rivières (*fig. 2.3*), considérons cette question en détail.

Figure 2.3: Virages d'une rivière HP

Supposons qu'à un certain moment nous ayons besoin de changer la direction de la rivière, en fonction des contraintes d'orientation imposées par la technique du "Hex Pleating". Les angles de rotation possibles pour le pas 1 sont 60° (fig. 2.3.1) et 120° (fig. 2.3.2a) dans le sens horaire ou antihoraire. La ligne d'orientation passera par le point d'intersection des berges, reflétant les parties adjacentes de la rivière. Un minimum de 2 pas sont nécessaires pour effectuer un virage d'un angle de 180 degrés et ils seront effectués autour d'un point (fig. 2.3.2b, en gris).

Lorsqu'une rivière se ferme sur elle-même, elle isole la région intérieure de l'extérieur, en formant ainsi un *champ* ou un *bloc* dont la limite extérieure coïncide avec la berge de la rivière. Si la région intérieure se compose d'un champ simple, le résultat sera un volet simple (fig. 2.4.1), si le champ interne est complexe, le volet sera composé (fig. 2.4.2). Lorsque l'intérieur d'une rivière fermée est réduit à rien, la longueur du volet est égale à la largeur de la rivière.

Figure 2.4: Champs simple et complexe en HP

Contrairement au BP, le "Hex Pleating" abonde en champs de base*. Ceci augmente de manière significative l'ensemble des champs qui sont utiles pour la conception (fig. 2.5).

* Les champs où la berge intérieure est un point et l'extérieure une forme géométrique convexe. Utilisés pour simplifier le traitement final du modèle.

Figure 2.5: Quelques champs HP de base ayant la même largeur

Parmi les différents champs de base, l'hexagone régulier est le plus petit, le plus grand est le triangle équilatéral. Même si leur pliage donne des volets qui auront les mêmes paramètres, la formation du premier champ demandera 1,5 fois moins de papier que le second. Donc, pour économiser le matériau papier et faciliter le traitement final des volets, il est plus approprié d'utiliser des champs HP en forme d'hexagones réguliers.

Notez que le HP et BP sont souvent combinés, ce qui permet d'utiliser simultanément les avantages des deux techniques. Du BP, le raccordement simple, et du HP un large éventail de techniques et une économie du papier.

Dans le cadre d'une telle combinaison de méthodes, un certain nombre de nouveaux champs de base apparaissent. En plus des angles aux sommets standards de la HP, 60° et 120° , est ajouté l'angle de 90 degrés. C'est facile de construire un tel champ. Le fait est que, d'après les caractéristiques de leur structure, il est possible d'inscrire un cercle de rayon égal à la largeur de la rivière dans les champs de base. Donc, si on trace une tangente au cercle, perpendiculaire à des côtés du champ HP, on peut obtenir un champ HP - BP mixte (*fig. 2.6*).

Figure 2.6: Champs de type mixte

Cette manipulation de la forme est pratique pour effectuer le travail d'optimisation, car déplacer des champs HP est beaucoup plus compliqué que des champs BP. Néanmoins, il faut comprendre que le côté du carré et le côté de l'hexagone ne peuvent pas être simultanément divisés en un nombre entier de parties égales, puisque leur rapport est un nombre irrationnel. Par conséquent, le raccordement de ces éléments et le remplacement des champs HP standard par des champs mixtes ne devrait être effectué qu'après une analyse approfondie de leurs positions relatives.

LIGNES DE PLI EN HP

Comme il a été déjà mentionné, les méthodes linéaires standard utilisent seulement deux types de lignes de pli : *connexion* et *orientation*.

Leurs fonctions et caractéristiques restent, quel que soit l' algorithme de conception. Mais comme la forme des champs varie selon les différentes méthodes, les positions relatives des lignes d'orientation peuvent changer. Ainsi, si les lignes d'orientation se croisent seulement à angle droit en BP, il y a plusieurs variantes d'intersection en HP. Les différences apparentes ne doivent pas vous empêcher de trouver des similitudes entre les lignes des plis BP et HP, car le principe de leur construction est le même (*fig. 2.7*).

Figure 2.7: Lignes d'orientation et de connexion dans un champ HP

La figure 2.7.1 montre les lignes d'orientation en noir. Elles déterminent également le changement de la trajectoire de la rivière pour former les éléments du modèle. Dans ce cas, les lignes d'orientation traversent les coins opposés de l'hexagone. Cela est dû au fait que la rivière effectue sa rotation par rapport à la berge intérieure (le centre du champ), en préservant sa largeur. *Par conséquent, pour n'importe quel champ de base, les rivières, en dehors des sections droites, suivent un cercle dont le centre coïncide avec le centre du champ et les bissectrices tracées dans les angles deviennent des lignes d'orientation.*

En ce qui concerne les lignes de connexion, elles servent (comme dans le BP) à raccorder les éléments les uns aux autres et sont toujours perpendiculaires aux berges de la rivière en s'étendant de l'une à l'autre (*fig. 2.7.2*). Et, au point d'intersection avec les lignes d'orientation, les lignes de connexion sont réfléchies, selon les règles de Kawasaki.

Dans le processus de pliage des champs HP, il y a la fameuse «carte de visite» des méthodes linéaires : les plis en "accordéon" des volets (*fig. 2.8.4*), qui sont formés par suite de l'orientation alternée de lignes de connexion. Bien que la présence d'un certain nombre de couches augmente l'épaisseur des volets, avec une bonne sélection des champs l'épaisseur n'est pas aussi importante en HP qu'en BP, et le matériau est moins dépensé (*fig. 2.8*).

Figure 2.8: Pliage du champ HP de base

Notez que si le rapport du côté "b" d'un champ BP à la longueur "a" du volet est de 2, ici "b/a" n'est que d'environ 1,15 et si ceci n'est pas pris en compte, vous pouvez avoir des difficultés à choisir les bonnes proportions des formes de base.

Toutes les sortes de volets se plient de la même manière en "Hex Pleating" mais la forme de leur sommet peut être différente pour une même longueur de volet. Cela n'a pas d'effet particulier pour les volets amincis (surtout dans les cas où, leur amincissement a lieu après pliage de la base : pattes d'insectes ou de crustacés, cornes, etc), mais si les volets sont utilisés en maintenant leur aspect (parties du corps des animaux), il faudra considérer cet aspect.

LONGUEUR DES VOLETS EN HP

Figure 2.9: Emplacement des champs HP de base par rapport à la zone de dessin

La longueur des volets peut être ajustée à l'aide des bords de la feuille à plier. C'est pendant les dernières étapes de la conception que l'on peut modifier les propriétés et les longueurs des volets dont les champs sont situés sur les zones extérieures de la feuille (*fig. 2.9*). La figure montre des champs HP de formes différentes qui, une fois pliés, forment des volets de même longueur.

Les champs qui se trouvent entièrement à l'intérieur de la feuille (1,2,3) forment des volets avec tout le matériau papier. C'est une situation standard pour des volets situés dans le centre. Quand il n'y a qu'une partie du champ (4-10) à l'intérieur de la feuille, alors la longueur du volet dépend la partie du champ. Ainsi, les champs de base (5,6) perdent une partie de leur surface mais leurs centres sont situés dans la feuille. Dans ce cas, le matériau papier est économisé lors du pliage et les volets ont une taille maximale. Le volet ne perdra pas de longueur si le centre du champ est placé sur le bord de la feuille (4,7)*.

Grâce aux coins, il est possible de réduire la quantité de matériau nécessaire pour un volet, et, comme mentionné dans le premier chapitre (BP), il est donc recommandé de placer les plus longs volets dans les coins. Si le centre du champ est à l'extérieur de la surface de la feuille (8,9), la longueur du volet diminue à mesure que le centre du champ s'éloigne de la bordure (*elle sera inférieure à la longueur d'une rivière située dans la surface de pliage*). Dans notre cas, les perpendiculaires maximum entre les points de coupure des lignes d'orientation et les limites du champ (8, 9, *gris pointillé*).

Les champs étirés (3,10) sont pliés de la même manière que les champs rectangulaires "Box Pleating" (*fig. 1.9*) : d'abord les lignes de connexion centrales et ensuite tout le reste. En ce qui concerne leur longueur, il faut rechercher les conditions les plus "favorables" pour tous les centres du champ. C'est-à-dire, si un centre est situé à l'intérieur de la feuille, et que l'autre ne l'est pas, le volet sera formé complètement avec toute sa longueur.

Il est à noter que s'il y a une intersection entre les plis en accordéon et le bord de la feuille, son apparence peut être différente (*fig. 1.22*). Ainsi, il est possible de donner différentes propriétés aux volets, en choisissant la forme désirée des champs et en les plaçant au bord de la feuille sous le bon angle.

GRILLE UNITAIRE EN HP

Pour concevoir et transférer les éléments sur la feuille, le "Hex Pleating" utilise des grilles triangulaires. Les angles entre les lignes de guidage sont égaux à 60 degrés. Cela rend plus facile le positionnement des champs et des rivières, ainsi que leur raccordement le long des bords. Il y a plusieurs façons de construire ces grilles, voyons certaines d'entre elles.

* La position du champ 7 dans la figure 2.9 est la plus préférable une faible dépense de papier, on obtient la même longueur de volet mais sans ligne d'orientation, contrairement aux autres situations.

Il est plus facile de tracer une grille triangulaire équilatérale sur la surface d'un hexagone régulier, dont la forme peut être obtenue sur papier avec un compas et une règle (*fig. 2.10*).

Figure 2.10: Obtention d'un hexagone régulier

De la même façon que l'on crée une grille orthogonale BP, en reliant les côtés opposés, on peut obtenir un maillage triangulaire de taille " $2^n-2^n-2^n$ " sur la surface de l'hexagone (*fig. 2.11*).

Figure 2.11: Tracé d'une grille triangulaire sur un hexagone régulier

Ces grilles sur des hexagones sont souvent utilisées lors du pliage de tessellations. En coupant les bords superflus, de manière similaire à la figure 1.29, vous pouvez obtenir une *taille de grille* arbitraire. Il n'y a pas besoin de faire ceci si l'hexagone est choisi comme forme de feuille de pliage, quoiqu'il soit également possible de découper n'importe quelle forme dans la grille.

Nous pourrions nous limiter à la méthode décrite ci-dessus mais le plus souvent la grille triangulaire est tracée directement sur un carré pour des modèles HP, et la construction de la grille devient un peu plus compliquée. En effet, l'orientation de la grille par rapport aux bords du carré et sa division peuvent rendre son tracé complexe.

C'est pourquoi, pour la conception, il est plus facile d'orienter une partie des lignes de la grille parallèlement à un côté du carré et aux éléments du modèle lui-même. Ce sera plus facile à la fois pour la conception et pour le transfert du dessin sur la feuille de pliage. Pour construire une grille sur un carré, qui remplisse cette condition, vous devez d'abord diviser le côté du carré en " n " parties égales, puis reconstituer le reste des lignes de la grille (*fig. 2.12*).

Figure 2.12: Tracé d'une grille triangulaire sur un carré

Il reste maintenant à transférer les lignes d'orientation du projet sur la grille pour qu'il soit possible de plier. Mais ici, pour connaître la manière de procéder, vous devez tenir compte de la structure de la grille elle-même un peu plus en détail (*fig. 2.13*).

Figure 2.13: Grille unitaire triangulaire

La grille triangulaire se compose de trois groupes de lignes parallèles tournés de 60 degrés les uns par rapport aux autres (*fig. 2.13 à gauche*). Le choix d'une telle grille, dans laquelle la distance entre les lignes adjacentes reste constante, permet non seulement de raccorder des champs entre eux, mais aussi d'obtenir des lignes de connexion avec un espacement égal. Les limites des champs de HP seront toujours placées sur les lignes (*fig 2.13 à droite*).

Par analogie avec les grilles de BP, les grilles triangulaires utilisent les mêmes paramètres, comme le *pas de la grille "a"*. Le choix du pas de la grille influence la longueur et la largeur des volets. Par exemple, dans la figure 2.13 (à droite), le pliage des champs donne des volets de longueur $r = 2a$. Notez que cela permet de positionner les champs et les rivières en stricte conformité avec l'arbre des volets.

Figure 2.14: Raccordement d'éléments HP sur une grille triangulaire

La figure 2.14 (à gauche) montre un ensemble d'éléments satisfaisant l'arbre de volets spécifié avec toutes les limites des champs sur les lignes de grille. Les longueurs des volets $\{a; 1\}$, $\{a; 2\}$ et $\{b; 5\}$ sont égales à deux pas de la grille, $\{b; 3\}$, $\{b; 4\}$ et $\{a; b\}$ à un seul pas. Toutes les lignes de connexion sont perpendiculaires aux bords des champs, et donc ils apparaîtront comme suit sur la grille (fig. 2.14 à droite).

Ensuite, faites attention, *un point très important* ! Après avoir terminé la conception du modèle (*c'est-à-dire après les lignes d'orientation*), mais avant de "couper" toutes les parties inutiles hors des limites de la zone de pliage, il est nécessaire de faire pivoter la grille unitaire de 30 ou 90 degrés par rapport à l'une des intersections, pour réduire le pas à la valeur de la distance entre les lignes de connexion. En d'autres termes, si nous avons une grille de pas "a" (fig. 2.15.1), alors après l'avoir tournée, le pas serait "b", où $b = 0,577 a$ (fig. 2.15.2). Cette nouvelle grille sera ensuite utilisée comme système de coordonnées pour transférer les lignes sur une feuille**.

* Pas d'une grille HP : distance minimale entre les lignes parallèles sur la grille unitaire.

** La grille unitaire initiale, sur laquelle sont positionnées les lignes d'orientation, est appelée grille d'orientation, la grille unitaire transformée sur laquelle seront disposées les lignes de connexion sera appelée grille de connexion. Ce point sera discuté plus en détail dans le chapitre suivant, dans la section "Grille en losange".

Figure 2.15: Rotation de la grille unitaire

Pourquoi cette manœuvre de rotation de l'orientation de la grille ?

- **la grille d'orientation** convient à la plupart des processus de conception : elle peut être facilement tracée au-delà des berges des rivières qui sont impliquées dans le processus de construction, pour le raccordement des éléments entre eux. En outre, la grille d'orientation peut permettre de se débarrasser de marais et d'obtenir les lignes d'orientation finales.

- **La grille de connexion** est optimisée pour le pliage ultérieur du modèle par le fait que, après rotation, toutes les lignes de connexion sont exclusivement placées dessus. Cela signifie que, après avoir appliqué la "transformation" de la grille sur le pattern, il suffira de fixer l'emplacement de la zone de pliage*.

Naturellement, beaucoup diront que vous devez concevoir un modèle directement sur la grille de *connexion* "tournée". Je ne discuterai pas ceci, c'est une affaire individuelle. Je ne décris dans ce livre que les méthodes que j'utilise moi-même et avec lesquelles je suis à l'aise. Je note seulement que, sans optimisation, une rivière peut parfois prendre une forme si complexe qu'un créateur novice ne puisse pas la tracer. D'autant plus que la rotation décrite ci-dessus n'est pas trop difficile, surtout si vous utilisez un logiciel vectoriel tel que «*Inkscape*» ou «*CorelDRAW*». Si vous concevez avec les moyens du bord, il suffit de faire, une fois pour toutes, deux grilles de pas différent ("*a*" et "*b*" = 0,577 "*a*" (fig. 2.15)) sur un matériau opaque, et de les utiliser à chaque fois. Ensuite, il est très facile de réaliser le tracé sur un papier calque placé au-dessus de la grille (photo 2.16).

* Les centres des champs correspondront aux noeuds de la grille.

*Figure 2.16: Application d'une grille triangulaire**

* La première étape est faite sur la grille de pas "a", la structure des champs et des rivières y est construite (photo 2 et photo 3). Ensuite changement de grille (pas "b" = 0,577 "a"), tournée d'un angle de 30 ou 90 degrés (photo 4). Puis tracé des lignes de connexion (photo 5) et le pattern final est prêt (photo 6). Il restera à tracer les lignes d'orientation et, bien sûr, à choisir la forme de la feuille de pliage par rapport à la grille et la partie conception est terminée.

Alors, décidez vous-même de la méthode à appliquer dans la pratique, et de celle qui est la plus pratique pour vous. Plus loin, lors du raccordement des éléments, tout l'agencement sera réalisé sur des grilles unitaires, mais le processus de rotation ne sera pas décrit, donc vous devrez faire l'opération vous-même.

RACCORDEMENT DES ELEMENTS HP

Comme pour le BP, le raccordement des éléments peut être effectué de manière séquentielle ou modulaire, conformément à la règle de base du raccordement (section "*raccordement des éléments dans un pattern BP*"). Ceci est illustré par un exemple concret, comme nous avons vu dans le chapitre précédent (*fig. 1.10*).

Raccordement séquentiel des éléments HP

Le raccordement séquentiel consiste en un raccordement en série des éléments entre eux, commençant par un point extrême sur l'arbre des volets et allant jusqu'au dernier, champ après champ, en tenant compte de la structure du modèle.

Bien sûr, en HP, c'est le raccordement modulaire qui est principalement utilisé, parce que cette technique permet de se débarrasser des marais. Mais pour des modèles simples et des modèles de complexité moyenne, décomposer le modèle en blocs n'a pas de sens et il est plus pratique de raccorder les éléments séquentiellement.

En utilisant l'algorithme décrit dans le chapitre précédent, nous raccorderons, champ par champ, les volets de gauche en premier, puis 0-1 et enfin les volets de droite (*fig. 2.17.1*).

*Figure 2.17: Raccordement des champs et des rivières HP**

Par analogie avec ce qui a été vu en "Box Pleating", après pliage, les groupes de volets adjacents sont formés à partir de trois champs HP reliés les uns aux autres sur le pourtour.

* La première étape est faite sur la grille de pas "a", la structure des champs et des rivières y est construite (photo 2 et photo 3). Ensuite changement de grille (pas "b" = 0,577 "a"), tournée d'un angle de 30 ou 90 degrés (photo 4). Puis restauration des lignes de connexion (photo 5) et le pattern final est prêt (photo 6). Il restera à tracer les lignes d'orientation et à choisir la forme de la feuille de pliage, bien sûr, par rapport à la grille, et la partie conception est terminée.

De même, le raccordement de la partie centrale est réalisée à l'aide de la *rivière* qui divise les groupes HP. Mais ici, elle aura un aspect différent*.

Il faut noter que les angles des champs doivent toujours être situés sur des lignes de connexion, afin de permettre de construire le pattern. Autrement dit, si vous n'utilisez pas de grille unitaire pour le raccordement arbitraire des champs (*comme dans notre cas*), ce sera suffisant pour le pliage de la base. Même si, bien sûr, l'orientation des volets sera incertaine. Pour la contrôler, vous pouvez ajouter des *lignes de connexion* intermédiaires (*fig. 2.17.3*) à proximité du centre des champs. Grâce à elles, les volets changeront de direction par rapport au plan de la feuille sans perturber la structure globale de l'arbre des volets. Dans notre cas, le pliage du pattern 2.17.3 devrait ressembler à ceci (*fig. 2.18*).

Figure 2.18: Pliage de la forme de base

Bien que le processus lui-même prenne plus de temps, toutes possibilité d'erreur à la transition d'un élément à l'autre sont exclues, ce qui permet de garantir la résolution du problème des marais. Par ailleurs, le processus de raccordement séquentiel s'applique également lors de la création des raccordement modulaire des éléments du modèle.

Comme vous avez pu le constater, les figures 2.17 à 2.18 ne sont pas représentatives du "pur HP" parce que la distance entre les lignes de connexion adjacentes n'est pas constante. Le but principal de cet exemple est de montrer toutes les lignes nécessaires pour le pliage de la base. Bien sûr, ce genre d' utilisation est rare, et n'est pas aisé dans la pratique car le transfert de chaque noeud sera effectué sur les coordonnées qui restent encore à déterminer.

* Ne vous laissez pas embarrasser par la forme de la zone à plier, nous ne considérerons pas maintenant l'utilisation de formes spécifiques sur la feuille, nous verrons cela dans la partie pratique, donc nous n'examinons que des champs et des rivières qui sont directement impliqués dans la formation du modèle.

Mais en utilisant les grilles unitaires triangulaires (décrites plus haut), ce problème sera résolu automatiquement, puisque la position des éléments du pattern final sera facilement déduite de la grille de connexion.

Raccordement modulaire des éléments HP

Comme il a été mentionné à plusieurs reprises dans le chapitre précédent, le positionnement des blocs suit les mêmes règles que le positionnement des champs simples, puisque les règles de raccordement doivent s'appliquer partout à l'intérieur d'une composition. Ceci se retrouve dans toutes les structures quelles que soient les méthodes, pas seulement les méthodes linéaires. Dans d'autres méthodes, les champs et les rivières peuvent avoir une autre forme, les lignes de connexion peuvent être absentes mais, dans tous les cas, si les volets "partent" d'un point, les rivières qui les forment sont en contact.

Donc, nous avons divisé notre arbre des volets, comme auparavant, en deux groupes de volets "A" et "B" (*fig. 1.15*). Ensuite, nous pouvons commencer à dessiner les éléments HP du bloc "A". Dans ce cas, il s'agit de trois champs, entourés par une rivière (*fig. 2.19*).

Figure 2.19: Construction du bloc A

Puisque le raccordement des champs à l'intérieur d'un bloc est réalisée de manière séquentielle, nous raccordons un à un les champs correspondant au groupe de volets de gauche. Les trois volets partent d'un même point, et donc leurs champs se touchent sur le pattern. Pour cela nous choisissons trois champs de base et nous disposons leurs centres à des intersections de lignes de connexion (*fig. 2.19.1*). Ensuite, selon l'arbre des volets, nous entourons le groupe de champs par la rivière $\{0, 1\}$. Ainsi, nous avons obtenu la structure du bloc "A" (*fig. 2.19.2*). Maintenant, pour le pattern final du bloc, il ne reste qu'à tracer les lignes de connexion conformément à la largeur de volet choisie (*fig. 2.19.3*).

Traçé du bloc "B". Comme la composition du bloc de droite est la même que le bloc de gauche, nous raccordons de la même manière trois champs identiques en ligne de sorte que le raccordement ne forme pas de marais. Nous obtenons l'image miroir du groupe de gauche est parfaitement adaptée (*fig. 2.19.1*). Ainsi, nous pouvons facilement mettre ensemble les deux blocs le long du bord gauche du bloc "A" (*fig. 2.20.1*).

Figure 2.20: Raccordement final des blocs

Dans le cas présent, un ensemble de trois champs de base sera plié en un seul ensemble de volets et les champs à l'extérieur de la rivière dans un autre. La rivière sera formée par des lignes de connexion le long du périmètre (comme pour le "Box Pleating"), créant une liaison entre les deux groupes de volets latéraux. La forme finale du pattern ressemblera à la figure 2.20.2.

Notez comment l'emplacement du bloc "B" a été choisi : les centres des champs ont été placés en vis-à-vis des autres, assurant la même orientation des volets par rapport au plan de la feuille. En outre, la distance entre les lignes de connexion est plus grande qu'un pas sur la grille d'orientation, $b = 4 \times 0,577 a = 2,3$ puisque nous avons choisi une distance entre les lignes de connexion quatre fois plus grande que dans le cas décrit précédemment (*fig. 2,15*).

Le HP et le BP sont très similaires entre eux et étudier le "Box Pleating" peut, bien sûr, tout à fait permettre de découvrir le HP par analogie. Toutefois, le HP dispose d'une caractéristique très utile, qui ne se trouve pas en BP, dans sa forme pure : les virages des rivières ont des angles différents le long de la trajectoire. Par la suite, en étudiant le "Mix Pleating", vous apprécierez l'expérience de la conception en HP. Et quoique les manipulations des rivières soient mises en œuvre avec des règles identiques dans toutes les techniques, il est difficile au début de comprendre que pour la formation du même arbre des volets, l'ensemble des rivières BP présentées sur la figure 2.21.1, n'a pas une structure différente de l'ensemble des rivières HP de la figure 2.21.2.

Sans parler du pattern HP final (*fig. 2.21.3*), qui sera ardu pour les débutants. Faites preuve d'un peu de patience et après avoir connecté une paire d'éléments identiques tout va se clarifier.

Figure 2.21: Patterns pour les arbres des volets

Marais HP

Généralement, le raccordement des blocs complexes rend inévitable l'apparition de marais. Ce problème est résolu par les mêmes moyens que dans le "Box Pleating", à savoir :

- le déplacement des champs les uns par rapport aux autres ;
- le changement de la trajectoire des rivières.

S'il y a des vides, il faut d'abord reconsidérer l'emplacement d'origine des champs et des rivières, c'est parfois suffisant. Si le réaménagement ne fonctionne pas, essayez de changer la trajectoire de tout ou partie des rivières voisines. Cette manœuvre est effectuée par la manipulation des lignes d'orientation. Alors les rivières commencent à sortir de la trajectoire normale pour donner les formes nécessaires à l'élimination des marais (*fig. 2.22*).

Figure 2.22: Deux champs HP simples donnant des volets de longueurs égales

Par exemple, considérons le champ HP de base (*fig. 2.22.1*). Comme on l'a vu, la rivière forme un volet de longueur égale à la largeur de la rivière, et se compose en même temps d'un nombre infini de rivières élémentaires. Leur décomposition peut être arbitraire, la figure 2.22 montre le choix d'une décomposition " a_1 ", " a_2 ", ..., " $a_{(n-1)}$ ", " a_n ". Il est très facile de combiner des rivières voisines pour se débarrasser des marais, sans introduire de champs supplémentaires formant de nouveaux volets. Notez (*fig. 2.22.2*) qu'au point de virage, toutes les rivières situées à l'extérieur de la rivière à transformer changeront également leur trajectoire mais que toutes les rivières intérieures resteront inchangées. Dans ces transformations, après un changement de mouvement les rivières retournent à leur trajectoire normale.

Voyons un exemple d'un pattern, construit à partir d'un arbre des volets (*fig. 2.23*) et considérons en détail la suppression des marais.

Figure 2.23: Arbre des volets

Nous avons devant nous une arborescence avec trois nœuds "1", "2", "3" et deux bras "1-2", "2-3". Sur la base de cette structure, les deux champs émanant du point "1" sont séparés du nœud "2" par la rivière "1-2" et des 3 champs issus du nœud "3" par la rivière globale "1-3". Nous dénommerons le pattern } comme premier bloc, le pattern correspondant aux deux volets "d" et "a" et au segment "2-3" comme le deuxième et le pattern comme le troisième bloc. Supposons nous obtenions le résultat de connexion suivant (*fig. 2.24.1*). Pour plus de clarté, la figure ne fera apparaître que les lignes nécessaires au pliage, sans tenir compte du pas de la grille.

Figure 2.24: Marais à l'interface des blocs

Avec cet arrangement, les champs aux frontières des nœuds 2 et 3 forment deux marais triangulaires (*marqués "?"*, *fig. 2.24.1*). Avec un simple remplissage des zones vides (*fig. 2.24.2*), on obtient un pattern avec deux volets non planifiés "x" et "y". Si le pliage rend possible l'utilisation des volets qui en résultent, nous pouvons tout laisser tel quel. Toutefois, si nous voulons obtenir une forme de base propre, il faudra se débarrasser des marais. Et nous mettrons ceci en œuvre en modifiant la trajectoire des rivières et de certains éléments du pattern (*fig. 2.25*).

Figure 2.25: Elimination de marais sans modifier l'arbre des volets

Nous pouvons effectuer les opérations suivantes (*fig. 2.25.1*). Choisissons les champs correspondant aux volets "c" et "e" (*fig. 2.24*) pour remplir les marais formés avec leurs rivières. Le champ "c" remplira le marais de gauche, et "e" le droit. Nous désignerons les champs transformés par "A" et "B" (*fig. 2.25.1*).

Notez que le marais "x" (*fig. 2.24.2*) a la forme d'un triangle équilatéral, cette condition permet de détourner toute la rivière complètement à l'intérieur du marais. Ainsi, non seulement nous assurons l'intégrité de la structure, mais nous obtenons aussi un nouveau champ de base "A". Pour obtenir le champ "B", c'est un peu plus compliqué, parce que le détournement de la rivière ne fonctionne pas, et il est nécessaire de transformer seulement une partie de celle-ci. Dans notre exemple, la partie transformée de la rivière est indiquée par des lignes noires en pointillé dans la figure 2.25.1. Il reste à tirer des lignes de connexion manquantes (*fig. 2.25.2*) et le travail préparatoire est terminé.

Sans une grille unitaire, il est difficile de produire de telles constructions, mais en HP, où la conception est faite sur des maillages triangulaires, les problèmes sont rares. L'essentiel est de surveiller la conservation de la largeur de la rivière, lorsqu'elle est détournée vers une nouvelle trajectoire et de contrôler précisément les tournants au moment du passage à travers les lignes d'orientation.

CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE HP

Dans cette section, nous résumons les résultats de l'étude du "Hex Pleating" et nous montrons par l'exemple le processus de création d'un pattern basé sur un arbre des volets déterminé. Nous prendrons un objet suffisamment complexe ("*Cerf*", *fig. 2.26*) de sorte que vous puissiez vous familiariser avec tous les subtilités et difficultés de la conception en HP.

Figure 2.26: Arbre des volets du modèle "Cerf"

Comme il a été déjà mentionné dans la partie pratique du "Box Pleating", il est nécessaire de déterminer d'abord la longueur des volets qui seront utilisés pour former les éléments du modèle, puis de définir le pas de la grille de connexion. Pour cela, nous examinerons les parties les plus minces du modèle, les "bois", et nous considérerons les champs qui participent à leur formation. Ensuite, nous choisissons le nombre de lignes de connexion qui nous convient le mieux (*fig. 2.27*).

Figure 2.27: Champ simple impliqué dans la formation d'un volet des "bois"

Supposons que nous ayons choisi les formes suivantes pour les volets (*fig. 2.27*). Leur longueur sera respectivement 2, 3, 4, selon le nombre de divisions que nous avons appliqué aux champs hexagonaux. La forme des volets pliés est indiquée par la couleur foncée, mais après le pliage du pattern, il ne restera que la moitié pour la base aplatie. Nous choisissons donc le pas de la grille de connexion. La grille d'orientation aura un pas égal à la longueur du volet simple, "r".

Ensuite, nous séparons notre arbre des volets en composants et nous commençons la réalisation de chacun des blocs (*fig. 2.28*).

Figure 2.28: Diagramme des blocs du modèle

Les blocs "B" et "B' " sont symétriques par rapport à la ligne médiane, il est donc plus pratique de considérer que l'un sera le reflet de l'autre. Les lignes en pointillés connectent les blocs par leurs points communs.

Maintenant, considérons successivement tous les blocs pour former leurs patterns structurels et finaux pour les connecter plus tard.

1) Bloc "A"

Figure 2.29: Bloc "A"

Notez que (*fig. 2.29*), deux volets de longueur " r " proviennent du point " a " à une distance " $3r$ " du sommet (*ou " r " du centre du bloc*). Ceci implique que leurs champs doivent se toucher l'un l'autre le long de leurs frontières communes (*fig. 2.30.1*). Les champs choisis sont un hexagone et deux triangles équilatéraux, dont le rapport des longueurs des volets sera 3:1.

Figure 2.30: Bloc $\{0 ; a\}$ sur la grille d'orientation

Comme le groupe de volets est séparé du nœud "0" par un bras " $0-a = r$ ", alors le bloc de champs est séparé des autres champs par une rivière de largeur " r " (*fig. 2.30.2*). Ceci étant fait, le reste est placé sur le périmètre, c'est à dire un volet de longueur " $4r$ " et deux volets de longueur " $2r$ " (*fig. 2.31*).

Il est possible que la distribution initiale des champs soit modifiée ultérieurement (pendant le raccordement des blocs ou l'optimisation). A ce stade, l'essentiel est de maintenir la symétrie de l'arbre des volets par rapport à l'axe , car ce bloc est situé au centre de la zone de pliage.

Figure 2.31: Bloc A sur les grilles d'orientation et de connexion

Pour la commodité du pliage futur, tous les volets de l'ensemble du modèle doivent être dirigés du même côté du plan de la feuille car il n'y a pas de changement de couleur pour les éléments du modèle. Cela signifie que les lignes de connexion de même orientation doivent passer par les centres, comme dans la figure 2.31 (à droite).

2) Bloc "B"

Figure 2.32: Bloc "B"

Les champs doivent être raccordés depuis la fin vers le début, avec les bras "a-b", "b-c", "d-e", "e-0" (fig. 2.32), c'est plus facile de construire le pattern séquentiellement, en entourant les éléments raccordés de nouvelles rivières. Cela signifie que nous définissons la berge "0" de la rivière "0-e" est la dernière à être définie.

Commençons par le volet complexe {a, b}, le point "a" est à la jonction des deux volets "2r".

Par conséquent, sur le pattern, nous plaçons la berge "a" à la frontière des deux champs de largeur « $2r$ ». Ensuite, selon l'arbre des volets, nous définissons la berge "b", située à une distance " $2r$ " du point "a". Pour cela nous traçons une rivière de largeur " $2r$ " autour du groupe de volets issus de "a" (*fig. 2.33*).

Figure 2.33: Pattern structural final des volets {b ; a}

Retournons à l'arbre des volets. Un autre volet de longueur " $4r$ " est situé au point "b". Cela signifie que le champ de largeur $4r$ doit s'accoler sur la berge "b" (*fig. 2.34.1*) du champ précédent {b ; a} (*fig. 2.33*). En outre, le point "b" est séparé du point "c" par un segment de $3r$, d'où la rivière {c ; b} (*fig. 2.34.2*).

Figure 2.34: Pattern structural du volet {c ; b} du modèle

Remarquez comment la rivière "c-b" est divisée en deux parties. Cette transformation est due au fait que, après avoir entouré le champ complexe (*fig. 2.34.1*), la topographie de la rivière de largeur " $2r$ " change, donc le reste de la rivière "c-b" suivra une nouvelle trajectoire (*fig. 2.34.2*).

De la même manière, nous construisons séquentiellement les champs restants, passant de nœud en nœud. D'abord "d", puis "e" et enfin "0". Voici une des variantes possibles d'une telle distribution de champs qui sera utilisée pour la conception ultérieure (*fig. 2.35*).

Figure 2.35: Pattern final du volet {0 ; e}

Compte tenu de la composition identique des volets de "B" et "B' " par rapport à la ligne centrale, la structure du bloc "B' " sera obtenue de la même manière. Et, comme mentionné plus haut, pour la commodité du raccordement, le bloc "B' " sera l'image miroir du bloc "B". Ce qui fournira un pattern symétrique par rapport à l'axe vertical, à la condition que les autres parties soient aussi symétriques. Bien sûr, le pattern du second bois peut ne pas être le reflet du premier et avoir sa forme propre. Cela n'aura pas d'effet sur le résultat du pliage, mais le processus de traçage des lignes sur la zone de pliage pourra être considérablement compliqué. Puisque les coordonnées de tous les nœuds seront différentes.

Donc, à ce stade du projet, nous avons obtenu trois blocs : "A", "B" et "B' " ", qui doivent être raccordés et, à la suite du pliage, former la tête et les bois. Dans le "Hex Pleating", en raison de la plus grande complexité du processus de raccordement par rapport au BP, les blocs doivent être assemblés et optimisés à toutes les étapes intermédiaires de la création du pattern final, et au passage être débarrassés des marais formés (*en changeant la forme des champs ou la trajectoire des rivières*). Ce cas n'est pas une exception, et donc nous unissons les trois blocs en un seul, sans oublier que les lois du raccordement sont les mêmes que pour le raccordement des champs.

Puisque le pattern du modèle, que nous avons choisi de plier, sera symétrique par rapport à l'axe, les lignes reliant les blocs "AB" et "AB' " seront symétriques par rapport à l'axe de symétrie du bloc "A". Donc, il suffit de connecter le bloc de la tête avec l'un des blocs des bois, puis effectuer la même opération en miroir de l'autre côté. Par exemple, prenons le raccordement des blocs "A" et "B' " et examinons la frontière de connexion (*fig. 2.36*).

Figure 2.36: Raccordement des blocs "A" et "B' "

La figure 2.36.1 montre les positions initiales des blocs "A" et "B' ". Si vous déplacez le champ "1" du bloc "A", libérant ainsi de la place pour le champ "2" du bloc "B", les blocs "A" et "B' " se raccordent de sorte que les sommets de tous les champs des deux blocs donneront des volets ayant la même orientation par rapport au plan de la feuille. Cet arrangement est approprié dans notre cas, puisque nous n'avons pas à changer la couleur de certains des volets. Ainsi, le déplacement du champ "1" est effectué le long du périmètre du bloc "A", et la structure du bloc "B' " ne change pas.

Après avoir choisi la position indiquée dans la figure 2.36.2, nous avons deux marais, un interne (*à l'intérieur du bloc*) et un externe (*à l'extérieur du bloc*). Ces marais sont situés dans les zones concernées respectivement en bas et en haut. Avant de continuer le raccordement, nous allons nous en débarrasser.

Pour éliminer les marais, nous devons nous rappeler les méthodes décrites précédemment. Ici, nous utilisons le changement de trajectoire des rivières voisines (*fig. 2.37*).

Figure 2.37: Élimination du marais interne

Marais ABCD (*fig. 2.37.2*) : parallélogramme avec des angles de 120 et 60 degrés, et un rapport d'aspect $AB / BC = 1/2$.

Il n'est pas difficile de montrer que le point "E" (le milieu de "AD") est à l'intersection des bissectrices de $\angle ABC$ et $\angle BCD$, ce qui signifie que la distance entre "E" et "AB", "BC" ou "CD" est la même [\angle signifie "angle", NdT]. En d'autres termes, la rivière peut passer autour du point "E", étant reflétée par les bissectrices de $\angle ABC$ et $\angle BCD$. Les dessins "3-4" montrent une possibilité de rivière et de lignes de connexion à l'intérieur de celle-ci. A la suite de ces opérations, nous avons un champ avec la même longueur de volet.

Cette méthode est utilisée avec succès en "Hex Pleating". Elle enlève non seulement les marais *internes*, mais aussi les marais *externes*. Ce que nous allons faire avec le marais du haut (fig. 2.36.2)(fig. 2.38).

Figure 2.38: Élimination du marais externe

Dans le cas de ce marais, le changement de la trajectoire de la rivière du bloc "A" est encore plus simple que dans le cas précédent (fig. 2.38.2). Il est facile de montrer que la distance entre les points "A", "B", "C" et "D" et les berges de la rivière est la même et égale à la distance initialement sélectionnée pour la transformation de la rivière du bloc "A". Il reste à tracer les lignes de connexion, comme indiqué dans les dessins 3-4 et le pattern résultant du raccordement des blocs sera prêt.

3) Volet "C"

Figure 2.39: Volet "C"

Les champs du bloc "C", donnant les pattes avant, sont symétriques par rapport à "1", ce qui signifie qu'on peut utiliser les images en miroir des champs latéraux pour faciliter leur raccordement.

Nous commencerons à former le pattern avec $\{1 ; a\}$ (fig. 2.40) de la même manière que pour le volet $\{b ; a\}$ du bloc "B" (fig. 2.33).

Figure 2.40: Pattern final du volet {1 ; a}

En théorie, la prochaine étape consiste à relier au champ $\{1; a\}$, le même champ, mais en image miroir, $\{1, b\}$, puis à entourer le bloc résultant avec une rivière de largeur " $8r$ ". Mais si nous regardons l'arbre des volets, on voit que $\{1 ; a\}$ et $\{1 ; b\}$ sont séparés de la tête par le même segment " $0-1$ ", c'est-à-dire que les blocs de ces volets sont séparés par une rivière " $8r$ ". Bien sûr, si nous agissions selon l'algorithme décrit, nous devrions inclure cet épaulement depuis le début de la composition du bloc de la tête. Mais nous devrions ensuite raccorder de plus grands blocs en utilisant beaucoup de matériau supplémentaire pour le pliage. Nous agirons d'une autre façon : nous allons placer une rivière " $8r$ " entre le bloc de la tête et les blocs $\{1 ; a\}$, $\{1 ; b\}$ (*fig. 2.41*), en coupant évidemment la partie superflue de la rivière " $0-1$ " en dehors de la future feuille de pliage. Nous allons diviser la rivière elle même en 8 composantes élémentaires de largeur " r ".

Figure 2.41: Séparation du bloc de la tête par une rivière "0-1"

Notez que le bord supérieur des champs latéraux du bloc "C" latéral est une ligne droite, alors que le bord inférieur du bloc de la tête change très fréquemment de direction. Par conséquent, une transformation des rivières est nécessaire pour le raccordement des blocs.

La première couche de la rivière, de largeur "r", couvrira la surface des 2 recoins à angle aigu (*fig. 2.41*). Cela n'a aucun sens de changer la trajectoire des rivières dans les blocs "A" et "B" afin de donner le relief désiré à sa frontière (*il est plus facile à combler les vides par une rivière externe que de changer la forme des champs dans la structure des blocs*). C'est pourquoi, à l'aide de notre rivière de largeur "8r", nous transformons le bord inférieur du bloc de la tête en ligne droite (*fig. 2.42 et 2.43*). Pour plus de facilité, nous examinerons la transformation des rivières dans deux zones distinctes (*fig. 2.41*).

Figure 2.42: Transformation de la frontière du bloc de la tête en une ligne droite (zone "1" de la fig. 2.41)

Regardons la zone "1". Notez que suivre le bord avec une rivière de largeur "r", ainsi qu'ajouter des couches supplémentaires à la rivière couvrant cette partie de la frontière, ne nous donnera pas l'effet désiré, une ligne droite. A chaque couche, il y aura toujours une largeur d'un "pas", comme indiqué dans la figure 2.42.1, ce qui donnera toujours un décrochement égal à la valeur "r". Pour se débarrasser des décrochements, nous utiliserons une petite astuce (*fig. 2.42.2 ou 2.42.3*). Dans le premier cas, nous avons une rivière de largeur "2r" à l'entrée et de "3r" à la sortie*. La figure 2.42.3 montre un exemple de transformation d'un groupe de trois rivières, à travers laquelle la largeur "3r" à l'entrée, devient "4r" à la sortie.

* De telles manipulations sont souvent utilisées en "Box Pleating", avec la différence que les changements de trajectoire des rivières se produisent avec des angles de 90 degrés.

Les variantes de cette transformation sont nombreuses, et le nombre de rivières "supplémentaires" n'est limité que par votre imagination. Les quatre autres rivières seront des couches parallèles pour éloigner le bloc de la tête, le bord inférieur est une ligne droite, ce que nous voulions.

Analysons la région "2" plus en détail (*fig. 2.43*).

Figure 2.43: Conversion de la frontière du bloc de la tête en ligne droite (zone "2" dans la Fig. 2.41)

Nous façonnons la surface des rivières de manière séquentielle, comme indiqué aux étapes 1-4, tous les recoins à angle aigu sont remplis et tous les recoins à angle obtus permettent d'augmenter la largeur de la couche de la rivière.

Après avoir utilisé une rivière de largeur "r" pour nous débarrasser des recoins à angle aigu (*fig. 2.43.1*), le reste de la frontière du bloc "2" se déplacera parallèlement d'une distance "r". Nous avons en réserve 6 rivières simples de largeur "r" et elles devraient être suffisantes pour transformer la limite inférieure du bloc de la tête en ligne droite. Evidemment, une stratification simple ne suffit pas, il faudra donc transformer certaines parties des rivières.

Nous ne présentons qu'une variante possible d'une telle transformation. Tout d'abord, nous allons réduire le nombre de car les bords des recoins marais externes seront des images miroir les uns des autres par rapport à l'axe de symétrie. Cela signifie que pour un certain nombre de couches de rivières comblant les recoins, il viendra un moment où les lignes d'orientation latérales se croiseront, expulsant les marais sans changer la forme des rivières. Dans notre exemple (*fig. 2.43.2*), nous nous débarrassons des deux premiers recoins avec les rivières "4r" et "r".

En conséquence, il ne nous reste qu'une seule rivière de largeur "r" en réserve et nous devons remplir avec elle un marais en angle obtus plutôt volumineux de profondeur "2r". Pour cela nous transformons la rivière, comme le montre la figure 2.43.3. Ayant commencé la rivière de cette façon, on se retrouve avec un petit recoin en angle aigu (*secteur sombre, fig. 2.43.4*). Ce recoin pourra être couvert par une rivière de largeur "r", ceci est tout à fait acceptable, car le raccordement des blocs suivants mettra jusqu'à "11r" à notre disposition, ce qui est plus que suffisant pour cette manipulation.

Après le raccordement des blocs "B", "A" et "C", vous devrez tenir compte du fait qu'un petit recoin à angle aigu doit pouvoir être rempli par une rivière. Dans notre cas, cela peut contribuer à la forme du champ sous les pattes avant. Les blocs peuvent maintenant être raccordés librement et sans transformations supplémentaires.

3) Volet "D"

Figure 2.44: Volet "D"

Selon l'arbre des volets, nous devons créer un pattern en raccordant trois champs dont deux complexes (*pattes arrières*), celui du bas (*queue*) et les entourer avec la rivière "11r" (*tronc*). Mais, comme dans le cas du bloc "C", il est préférable de couper la partie de la rivière ne participant pas au modèle, séparant les blocs avec une rivière ouverte de largeur "11r". Cela permettra non seulement de séparer ces champs du reste de la forme de base, mais aussi de combler le creux du bloc précédent "C". C'est cette rivière que nous attendions pour remplir le petit marais à angle aigu en bas au centre du bord (*fig. 2.43.4*).

Notez que les dimensions des pattes avant (bloc "C") et arrière (bloc "D") sont identiques, c'est-à-dire que vous pouvez choisir la même composition et le même ordre des champs et des rivières formant ces volets. C'est ce que nous ferons, puis nous raccorderons le bloc "AB'C" et les volets en éventail du bloc "D" à l'aide de la rivière ouverte "11r" (*fig. 2.45*).

Figure 2.45: Raccordement des volets "C" et "D"

Prenons une couche "r" de notre rivière "11r" pour couvrir la surface du petit marais à angle aigu du bloc "C" (*fig. 2.43.4*). Le reste, "10r" peut être disposé comme le montre la figure 2.45.1 (*zone sombre*) de sorte que le bord inférieur soit une ligne droite (*convenable pour le raccordement*) (*fig. 2.45.2*).

Ensuite, connectez les champs restants de l'arbre des volets (*pattes arrière et la queue*). La limite inférieure de la rivière "11r" est une ligne droite, ce qui signifie que le bord à accoler doit également être droit. Plaçons les champs des pattes arrières directement sous ceux des pattes avant, cela aidera à préserver l'orientation de lignes de connexion. Dans ce cas, il y a un marais formé en bas au centre (*fig. 2.46.1*). Nous nous en débarrasserons quand nous définirons les limites du carré à plier à partir de l'ensemble de la surface du projet (*ligne noire pointillée*), en préservant les longueurs de tous les volets (*fig. 2.9*).

Figure 2.46: Choix de la zone de pliage et découpage du pattern en "excès"

Suite au tracé du carré minimum sur les blocs raccordés, on se retrouve avec une zone vide. Il faut en faire une queue de longueur "2r". Nous pourrions, comme auparavant, utiliser une rivière de largeur "2r" pour remplir le marais externe, ou utiliser des rivières adjacentes. Mais il y a plus simple.

Si nous couvrons la surface intérieure de cette zone avec une rivière de largeur "1r", il reste un champ triangulaire de largeur "4r" (*fig. 2.46.2*), à partir duquel notre volet peut être obtenu après un simple pliage en deux. Cela ne causera pas de difficultés, car ce champ se trouve sur le bord de la feuille. Par conséquent, le pattern final, après l'élimination des lignes inutiles*, est le suivant (*fig. 2.47*).

Figure 2.47: Pattern final du modèle

*Des lignes peuvent être exclues afin d'augmenter la largeur de certains volets. Ici, les jambes, le corps et le museau.

"MIX PLEATING"

En approfondissant l'étude des techniques BP et HP et en accumulant de l'expérience, le concepteur a des idées nouvelles et audacieuses. Il arrive un moment où les ressources limitées, spécifiques à ces techniques, ne suffisent pas à mettre en œuvre ses plans. Alors inévitablement la question se pose : "Est-il possible de généraliser la méthode linéaire en un seul système intégré, qui ne sera pas aussi strictement dépendant de la trajectoire des rivières ?". Imaginez comme vous pourriez étendre la gamme des techniques de construction de la structure du pattern, s'il n'y avait pas une "contrainte" limitant les angles de rotation des rivières, comme dans le HP et le BP. En choisissant arbitrairement des trajectoires de rivières, vous pourriez obtenir absolument toute forme de champ de base. Cette possibilité ouvre des perspectives énormes pour créer les volets d'un modèle, de forme prédéfinie. Ainsi le problème de l'utilisation rationnelle du matériau papier qui est d'une valeur primordiale pour les techniques linéaires, serait résolu très efficacement. En effet, regardez la figure 3.1.

Figure 3.1: Dépendance entre la longueur de volet choisie et la surface du champ sur la feuille

La figure 3.1 montre comment utiliser moins de matériau papier pour des volets de même longueur "r", en augmentant le nombre de côtés ("n"). Ici, «Sn» est une zone décrite par n secteurs.

Pour une même longueur de volet, la plus grande surface est occupée par un champ de forme triangulaire, puis carrée, et ainsi de suite. En passant, ceci est une autre confirmation du fait que, malgré sa facilité, le "Box Pleating" est la technique la plus gaspilleuse, mais nous en avons déjà parlé auparavant.

Telles sont les considérations conduisant à l'apparition de la technique du "Mix Pleating". L'algorithme de conception en MP est différent des autres algorithmes linéaires, parce que les "cadres" qui servent de points de départ en BP et HP n'existent pas dans cette méthode.

Donc, la résolution du problème de raccordement des champs nécessite une approche légèrement différente. Les constructions qui étaient faites auparavant automatiquement à partir des conditions de rotation des rivières, seront maintenant le résultat de certaines vérifications.

Le "Mix Pleating" est une technique récente et encore en évolution. Toutefois, certains éléments du MP sont très fréquents sur les patterns de maîtres de l'origami moderne. De la même manière, les origamistes ont utilisé un élément connu sous le nom d'Elias Stretch, avant la formalisation du BP. Dans ce domaine de l'origami, il y a beaucoup de "régions inconnues" et de possibilités de recherche, de sorte que le MP peut fournir de la "matière à penser" pour les innovateurs et les explorateurs de nouveaux horizons.

Le nom "Mix Pleating" n'a pas été choisi par hasard. La combinaison de ces deux mots, exprime l'essence de la technique, comme "Box" ou "Hex" "Pleating". "Mix" indique que le modèle est conçu à l'aide d'éléments divers. Le choix dépendra uniquement de vos idées créatives. "Pleating" indique que la méthode est linéaire, c'est à dire que la conception est réalisée en utilisant l'ensemble des lignes de connexion nécessaires pour la formation de la structure du modèle avec des analogues de "plis en accordéon".

Après avoir examiné les principes de la conception en MP, nous aurons terminé l'examen des méthodes linéaires. Dans les chapitres suivants, nous allons explorer les techniques de décoration et de simplification des modèles. En fait, elles peuvent être comprises sans connaissance des bases du MP mais de nombreuses questions importantes ne seront accessibles qu'après la maîtrise de l'information énoncée dans la présente partie. Cela peut sembler un peu compliqué, à cause d'un certain approfondissement des aspects mathématiques de la transformation du plan. N'abandonnez pas, vous pouvez le faire ! Une chose est sûre : une fois que vous aurez compris le MP, vous pourrez concevoir si ce n'est pas "tout", alors "presque tout", à partir d'une structure prévue à l'avance (*la photo 3.2 montre deux modèles MP*).

Figure 3.2: Modèles MP

Le "Mix Pleating" sera certainement utile aux auteurs pour éviter de « perdre du temps » lors de la conception. Il n'est pas nécessaire de changer toute la structure d'un pattern, parfois il suffira de transformer la frontière des champs, pour donner aux volets du modèle la forme désirée. Mais, il est tout de même nécessaire de savoir comment le faire.

Après avoir maîtrisé les bases, même les adeptes du BP les plus exclusifs pourront découvrir plusieurs techniques utiles. En effet, il est parfois nécessaire d'alléger une structure en retirant un volet ou même des blocs entiers. Bien sûr, ce n'est pas perceptible sur les modèles simples, mais le gain sera tout à fait considérable quand on travaillera avec un arbre des volets complexe comme, par exemple, la forme du cerf dans le chapitre précédent. Si vous n'effectuez pas une optimisation compétente lors de l'élaboration de tels modèles, de sérieux problèmes peuvent surgir. Dans ce cas, la connaissance du "Mix Pleating" entre des mains expertes transformera un travail long et laborieux en un passe-temps agréable.

Commençons à nous familiariser avec le "Mix Pleating" et, par analogie avec les précédents chapitres sur le BP et le HP, examinons les concepts de base de la technique, et leurs propriétés.

RIVIERES ET CHAMPS EN "MIX PLEATING"

Le composant élémentaire du "Mix Pleating", comme dans les autres algorithmes linéaires, est la rivière ordinaire, mais avec une trajectoire libre. Les rivières en MP ne sont pas différentes des rivières dans les autres méthodes. Elles servent à former les volets, à éliminer les marais et à séparer les éléments du pattern entre eux.

D'un point de vue pratique, la rivière MP ne change pas et tout ce que nous avons appris sur les propriétés des rivières dans les autres techniques linéaires s'applique aussi. De même, les rivières MP sont des bandes de papier librement transformables. Si vous découpez cette bande dans la zone de pliage et que vous la pliez le long des lignes de connexion, alors il en résultera un accordéon de papier de hauteur égale à la *largeur de la rivière*, la distance entre les bords latéraux parallèles (fig. 3.3).

Figure 3.3: Rivières MP sinueuses de même largeur

Ces bords sont appelés les *berges de la rivière* et après avoir été repliés, ils se regroupent en deux points. Sur la figure 3.3, la ligne noire va se condenser au point blanc, la ligne grise au point gris. La rivière MP peut être ouverte ou fermée. Fermée, elle est située à l'intérieur de la surface de pliage, ouverte, elle en dépasse le bord. Lorsque l'intérieur d'un champ ne comprend qu'une rivière, alors ce champ est appelé simple, s'il y a plusieurs rivières, il est complexe. Les virages sont réalisés selon la forme de la surface à entourer. Comme dans le HP et le BP, la rotation de 180° se fait au moins en deux étapes (*fig. 3.4*), le nombre maximum d'étapes est illimité.

Figure 3.4: Rotation à 180° d'une rivière MP

La figure montre un virage à 180° en deux étapes successives: d'abord de $\angle A^\circ$ (*fig. 3.4.1*), puis de $\angle B^\circ$ (*fig. 3.4.2a*), avec $\angle A^\circ + \angle B^\circ = 180^\circ$. Notez que l'angle entre les deux lignes d'orientation adjacentes est égal à 90° (*fig. 3.4.2b*). Cette caractéristique est souvent utile pour la conception. Par exemple, lorsqu'il est nécessaire de laisser la rivière "serpenter" pour combler des vides ou changer la forme des champs. En outre, grâce à ces lignes d'orientation, il est possible d'utiliser une "*grille en losange*" en MP, mais nous verrons ceci en détails plus tard.

En généralisant, lors d'un virage en deux parties de la rivière d'un angle $\angle C^\circ = \angle A^\circ + \angle B^\circ$, l'angle entre les lignes d'orientation sera égal à $\angle C^\circ/2$ (*fig. 3.5*)*.

Figure 3.5: Virage d'une rivière MP

* Dans le BP, la rotation de 90° est toujours utilisée, donc l'angle $\angle C^\circ$ entre les lignes d'orientation est toujours égal à 45° .

Si la berge intérieure d'un champ est un simple point et que sa berge extérieure est une forme convexe, alors ce champ est appelé champ de *base*, comme pour toutes les méthodes linéaires (fig. 3.6).

Figure 3.6: Champs MP de base

Le champ de base est une forme quelconque, dans laquelle vous pouvez inscrire un cercle touchant tous les côtés. Le volet aura une longueur égale au rayon du cercle inscrit, le sommet du volet coïncidera avec son centre. Comme dans les méthodes BP et HP :

- *les lignes de connexion sont perpendiculaires aux côtés du champ et sont réfléchies quand elles touchent une ligne d'orientation ;*
- *une rivière à l'intérieur de la structure du champ peut changer sa trajectoire.*

Cependant, la transformation de la trajectoire des rivières MP peut être autant que vous voulez et, par rapport aux autres techniques linéaires, ceci vous donne une plus grande liberté de manipulations. La figure 3.7 montre un exemple de deux champs identiques (*par la longueur des volets formés*), dans le premier cas toutes les couches de la rivière sont parallèles, tandis que dans le second chacune change de direction indépendamment. De cette manière la zone résultante correspond à la forme désirée pour le champ MP. Notez qu'il est préférable d'utiliser des formes régulières, ce qui facilitera le transfert des lignes d'orientation sur la feuille de pliage.

Figure 3.7: Deux champs MP de base, donnant des volets de même longueur

LES PLIS EN MP

Les lignes d'orientation (*fig. 3.8.1*) et de connexion (*fig. 3.8.2*) sont utilisées dans le "Mix Pleating". Le premier type de ligne est utilisé pour modifier la forme des champs en changeant la trajectoire des rivières. Avec le deuxième type de ligne, on règle la largeur des volets et on raccorde les éléments du pattern entre eux. Autrement dit, les lignes des plis dans le MP ont les mêmes fonctions que dans le BP et HP, mais la construction des lignes de connexion est plus complexe. Principalement, en raison du fait que, en général, il n'y a pas de grille unitaire, sauf cas particuliers.

Figure 3.8: Lignes d'orientation et lignes de connexion d'un champ MP

Malgré le choix du champ en forme de polygone quelconque, la berge externe se rassemblera à la base du volet, donnant à l'intérieur de la structure des plis en accordéon le long des lignes de connexion. Bien entendu, cette situation n'est vraie que si l'ensemble du champ se trouve dans la zone de pliage.

Le champ MP se plie le long des lignes de connexion (*fig. 3.9*).

Figure 3.9: Pliage du champ MP de base

Malheureusement, la distance entre les lignes de connexion adjacentes n'est pas toujours constante en MP. Il est souvent nécessaire soit de "sacrifier" l'exactitude des dimensions, soit de faire des calculs supplémentaires. Tout dépend des types de champs choisis et de la façon dont ils sont raccordés. Par conséquent, la création des tracés de raccordement est très problématique en "Mix Pleating" (*les exceptions sont des œuvres basées sur certaines grilles unitaires : en losange et combinée*), mais les patterns se plient de manière standard et simple.

Le processus sera grandement facilité si l'on place les centres des champs sur des coordonnées précises, même quand il s'agit de champs irréguliers (*champ simple constitué de plusieurs rivières*). Le pliage de ces champs se fait de manière similaire (*fig. 3.10*).

Notez comment le champ irrégulier, comprenant un champ de base et une rivière, forment un volet de longueur $L = R + r$, c'est-à-dire une augmentation de la longueur du volet "r" de la valeur "R". Ceci est similaire aux changements des champs HP et BP par les rivières, vus dans les chapitres précédents, à la différence que les changements de direction des rivières se produisaient selon des angles fixes.

Figure 3.10: Lignes d'orientation et de connexion dans un champ MP

Les champs complexes sont traités de manière similaire : d'abord construire séparément les bords de chaque champ simple, ensuite les blocs de volets sont créés en fonction des lignes d'orientation. Les éléments de base sont pliés du centre vers le bord, cela aidera à créer les champs centraux de manière cohérente, en les adaptant dès les étapes intermédiaires, ce qui aura certainement un effet sur la simplicité des volets. C'est à dire, vous devez d'abord essayer de créer les lignes brisées qui relient tous les sommets centraux, puis les utiliser pour former les autres parties du pattern. Sinon, vous pourrez finir avec une disposition très défavorable lorsque vous devrez assurer le pliage simultané de tous les volets, ce qui aboutit souvent à une impossibilité de pliage et à du papier gaché. En outre, ça ne vaut pas la peine de prendre de mauvaises habitudes, même si le modèle n'est pas très compliqué. Par la suite, quand une telle séquence d'actions sera exécutée automatiquement, même le pliage des patterns les plus compliqués sera accessible.

LONGUEUR DES VOLETS EN MP

En plus des méthodes standards de modification de la structure à l'intérieur de la zone de pliage (*fig. 3.7*), la longueur des volets MP est souvent ajustée en changeant la position des champs par rapport aux bords de la feuille. Ainsi, vous pouvez non seulement changer la longueur du volet, mais aussi lui donner les propriétés désirées tout en minimisant la quantité de matériau papier.

La figure 3.11 montre huit champs qui produisent des volets d'égale longueur (sauf le "2" et le "5"), parce que la largeur des rivières pour chaque figure est la même (*fig. 3.11*).

Figure 3.11: Positionnement des champs MP par rapport aux bords de la feuille

Bien que tous les champs puissent former des volets identiques, dans certains cas, la bordure de la feuille a réduit leur longueur. Cela dépend de l'endroit où se trouve le centre du champ - le point coïncidant avec le sommet du volet après pliage. Si le centre du champ est dans la surface de la feuille (*cas 1, 3, 4, 6, 7, 8*), la longueur du volet est préservée. Si le centre du champ est située en dehors de la feuille (*cas 2 et 5*), la longueur du volet qui en résulte est égale à la largeur maximale de la rivière dans la zone de pliage, à savoir les distances "a" et "b", respectivement.

Il est à noter que certains de ces champs (*cas 1, 2, 5, 6, 8*) débordent de la surface de pliage.

Dans de tels cas, la partie du champ, qui se trouve sur le bord de la feuille va changer d'apparence, mais sans affecter la longueur finale du volet. Cela arrive avec tous les algorithmes de conception linéaire, car les lignes de connexion qui traversent le côté du champ sont parallèles entre elles. Autrement dit, les volets changeront visuellement d'aspect au bord de la feuille. Des exemples de tels changements ont été décrits dans le premier chapitre (*fig. 1.22*). De telles transformations des bords des champs peuvent être utilisées pour créer des modèles avec des changements de couleur fréquents sur la surface du corps (tigres, zèbres, poissons coralliens, etc.)

RACCORDEMENT DES ELEMENTS MP

Les règles de raccordement sont les mêmes pour toutes les techniques, et le MP ne fait pas exception. Ainsi, la direction et l'orientation des lignes de connexion doivent être préservées, les champs correspondant à des volets situés au même niveau de l'arbre des volets doivent se toucher sur leur périmètre, etc.

Cependant, contrairement aux autres techniques, le raccordement séquentiel est principalement utilisé en MP, même si cela dépend de la situation, bien sûr. Cela s'explique principalement par les problèmes qui apparaissent fréquemment pendant l'élimination des marais intérieurs, en particulier pour les modèles complexes. Alors qu'il [le raccordement séquentiel, NdT] vous permet de choisir n'importe quelle forme de champs pour la conception, il augmente néanmoins le temps consacré à la création du CP. Voyons de plus près le raccordement "séquentiel" et les "blocs".

Raccordement séquentiel des éléments MP

A titre d'exemple, étudions l'arbre des volets déjà vu dans les premiers chapitres (*fig. 1.10*).

Donc, les deux groupes de volets en éventail sont séparés l'un de l'autre par un bras "r", ce qui signifie que les blocs sur les côtés seront séparés par une rivière de largeur "r" constante sur toute la trajectoire. Sur la base des paramètres définis par l'arbre des volets, vous devez déterminer la forme des champs, ainsi que leur disposition. Les champs peuvent être placés arbitrairement, bien sûr, mais vous devez toujours vous rappeler de la règle : *les lignes reliant les centres des champs aux angles sont des lignes d'orientation*. Ceci garantira leur continuité et permettra d'établir une base plate à partir du pattern final.

Voici un exemple d'arrangement arbitraire de champs pour notre arbre des volets, sans tenir compte de la structure des lignes de connexion, avec une rivière ouverte. Bien sûr, la notion d'une rivière MP fermée ou non fermée n'existe que par rapport à la surface de la feuille. Mais il ne faut pas oublier qu'en ce qui concerne les limites de la forme de pliage utilisée, les rivières MP ouvertes ont les mêmes propriétés mais une forme légèrement différente.

Voici l'une des variantes possibles du pattern pour l'arbre des volets, où les champs ont des formes arbitraires (*fig. 3.12*).

Figure 3.12: Raccordement de champs et de la rivière MP

La planification du raccordement des éléments du modèle est standard. Les champs sont raccordés un par un, conformément à l'arbre des volets. Remarquez la forme non convexe de certains champs, il n'y a rien de nouveau dans leur structure. Leur structure est irrégulière, mais permet d'assurer que la largeur de la rivière le long de sa trajectoire soit préservée, donc toujours égale à "r". Cette manœuvre est souvent utilisée en MP pour donner des éléments faciles à raccorder. En prenant un peu d'avance, notons que la formation des éléments en MP se produit en deux étapes. Tout d'abord, créer les blocs principaux comme en BP et HP, puis commencer à transformer les champs pour que les frontières communes aient un nombre minimal de virages ou, mieux, pas du tout. Ici, à la suite de telles manipulations, la rivière "0-1" se repliera aux noeuds "0" et "1" de la forme de base (*fig. 3.12.2*).

La figure montre un choix de connexion, dans lequel tous les sommets auront la même orientation par rapport au plan de la feuille (*fig.3.12.3*). Cela signifie que si un papier bicolore est utilisé pour le pliage, tous les volets seront de la même couleur. Le pliage est effectué normalement, bien entendu les lignes voisines auront une orientation opposée (*fig. 3.13*).

Figure 3.13: Pliage de la forme de base

A la fin du pliage, nous obtenons une forme de base qui satisfait à l'arbre des volets choisi. Nous n'avons pas cherché à contrôler la largeur des volets, de sorte que la distance entre les lignes de connexion adjacentes est variable, en tenant compte uniquement de l'orientation des lignes d'orientation dans les champs concernés. La plupart de ces lignes peuvent être exclues du tracé du pattern. Il est même recommandé de le faire en laissant un minimum de lignes de connexion à la jonction des champs. Mais dans ce cas, en plus de créer une orientation identique pour les volets par rapport au plan de la feuille, cela montre que, si les champs sont répartis arbitrairement, on peut utiliser différents pas entre les lignes de connexion dans différents secteurs, dits secteurs d'orientation.

Secteur d'orientation : Un secteur d'orientation est une partie du champ, il est la zone délimitée par des perpendiculaires abaissées du centre vers des côtés adjacents et le bord du champ entre elles (*fig. 3.14.1*). La notion de secteur d'orientation joue un rôle très important dans la conception et doit donc être expliquée à part.

Il arrive que la largeur de certains volets devrait être diminuée ou, au contraire, être augmentée. Par exemple, la figure du cerf décrite dans le chapitre précédent : les bois doivent avoir une largeur, les pattes une autre, etc. Pour cela, nous devons modifier la distance entre les lignes de connexion adjacentes à certains endroits. La connaissance des secteurs d'orientation aidera à réaliser ces objectifs.

Le paramètre principal du secteur d'orientation est sa **largeur**, elle est égale à la distance entre la base de la perpendiculaire issue du centre du champ et le coin du champ. Par construction, le secteur d'orientation est symétrique par rapport à la ligne d'orientation, c'est-à-dire qu'à l'intérieur du secteur, la distance entre les lignes de connexion entrant par un côté et celles sortant par l'autre est identique (*fig. 3.14*).

Figure 3.14: Secteurs d'orientation

Notez que, dans des champs connectés, les secteurs d'orientation forment un système fermé (*fig. 3.14.2, zones claires*), la distance entre les lignes de connexion à l'intérieur peut être choisie arbitrairement, il peut même ne pas y avoir de ligne du tout.

A noter que les secteurs d'orientation fermés sont à la base de techniques de conception comme le "*Circle Packing*" et "*22.5°*". Comme ce livre est consacré à l'étude des méthodes linéaires, nous allons nous concentrer uniquement sur les principes de base relatifs à l'utilisation des secteurs d'orientation en MP. La méthode des secteurs est détaillée dans "*Origami Design Secrets*", le livre du maître d'origami américain Robert Lang.

Considérons la construction du pattern à partir de l'arbre des volets (*fig. 3.15*).

Figure 3.15: Union de secteurs MP

Union de blocs de secteurs : à partir de l'arbre des volets désiré, nous obtenons un *système de secteurs* (*fig. 3.15.1*) composé de 4 secteurs et d'une rivière ouverte. Si vous l'entourez de couches uniformes jusqu'à la largeur "L" (*fig. 3.15.2*), alors la longueur de tous les volets de l'arbre augmentera de "L" et la largeur de la rivière ouverte restera inchangée. Ainsi, en ajoutant les blocs de secteurs aux systèmes initiaux de lignes de connexion et d'orientation, il est possible d'obtenir la bonne configuration de champs et de rivières.

Les blocs de secteurs peuvent aussi être placés côte à côte, sans couches intermédiaires. Dans ce cas, les rivières se raccordent les unes aux autres (*fig. 3.16*) et pourront fusionner à nouveau à l'extérieur ou former de nouveaux champs.

Figure 3.16: Raccordement de blocs de secteurs

Vous pourrez initialement rencontrer certaines difficultés à changer de point de vue entre les blocs de secteurs et les champs et les rivières, la conception prenant en considération ces deux aspects très différents. Mais avec l'expérience, vous pourrez facilement combiner les techniques et décomposer les parties du pattern. grâce aux compétences que vous aurez développées.

A propos des propriétés des blocs de secteurs, il faut mentionner le *volet en hauteur*. En effet, le pliage d'un bloc de secteurs s'élèvera au-dessus du plan de la feuille s'il n'est pas divisé en couches. Alors, sa hauteur maximale sera égale au rayon du cercle inscrit (*fig. 3.17*), et le contour externe du volet sera défini par les lignes d'orientation. Voyez, par exemple, à quoi va ressembler le bloc de secteurs présenté plus tôt, après pliage.

Figure 3.17: Pliage du volet en hauteur

Avec de tels *volets en hauteur*, il est facile de transformer certaines parties du modèle. Par exemple, en joignant les frontières de deux blocs de secteurs au sein d'une structure linéaire, il sera possible de les déplier par la suite le long des lignes de connexion pour avoir, d'un côté, la forme souhaitée et, de l'autre, le raccordement à la "pleating". Donc, vous pouvez prévoir d'obtenir n'importe quelle forme en divisant la surface de la base en grand volets en hauteur adjacents.

Pour en revenir au raccordement des éléments MP, nous allons traiter de la manière de contrôler la distance entre les lignes de connexion. Pour le BP et le HP, tout était très simple, il suffisait de placer le modèle sur une ou deux grilles unitaires respectivement et tous les éléments se mettaient en place d'eux-mêmes. Le MP est un peu plus compliqué parce que la forme des champs n'est pas initialement définie, et donc il n'y a aucune grille unitaire universelle, à l'exception de grilles en losange ou d'autres de forme combinée plus complexe, dans certains cas particuliers. Vous pouvez également ne pas utiliser de grille du tout (*fig. . 3.12*) mais c'est trop gênant dans la pratique lors du pliage. Comment faire ?

Cette formulation du problème exprime le besoin de trouver quelque chose en commun, unifiant tous les types de champs, indépendamment de leur forme. Heureusement, la réponse est très simple, c'est la largeur choisie pour les volets.

Je vais l'expliquer plus en détail. Si, pendant le processus de conception, vous utilisez une grille variable qui change constamment son orientation au cours du raccordement de nouveaux champs, la nécessité d'une grille fixe disparaîtra partiellement. Autrement dit, si l'on construit un nouveau champ ou un bloc complexe, uniquement sur la continuation des lignes de connexion du précédent, la région entière forme une structure linéaire correcte dans laquelle la distance entre les lignes de connexion est constante. Par exemple, nous allons effectuer le raccordement de champs arbitraires (*fig. 3.18*) et examiner la position de leurs centres pendant le raccordement.

Tout commence avec le premier champ "R₁" qui est placé arbitrairement dans le dessin (*fig. 3.18.1*).

Figure 3.18: Raccordement des champs MP

Pour raccorder le prochain champ MP, "R₂", et préserver la distance entre les lignes de connexion adjacentes, il est nécessaire que le centre du nouveau champ se situe sur l'une d'elles* (*fig. 3.18.1*).

Ensuite, nous traçons les tangentes au cercle passant par les points d'intersection entre les lignes de connexion et le bord du champ. Donc, en traçant ces perpendiculaires, nous obtenons le champ "R₂" lui-même (*fig. 3.18.2*).

Pour obtenir le centre de "R₃", vous pouvez choisir arbitrairement un emplacement sur le prolongement des lignes de connexion ou sur leurs intersections (*fig. 3.18.2*). Notez que vous ne pouvez pas ajuster la longueur des volets, à moins que vous utilisiez la technique MP d'extension de champ à un point fixé. Cette technique est expliquée en détail dans la partie pratique de ce chapitre et nous allons en rester là, pour le moment. Après avoir accompli ces opérations, nous obtenons le pattern final (*fig. 3.18.3*).

Une question se pose naturellement : "Avec quels outils puis-je raccorder des champs MP ? (*photo 3.19*)

* Tout d'abord, choisissons la ligne "de grille" sur laquelle nous voulons placer le centre du cercle et nous reportons la distance "R₂", le résultat est le centre du champ à raccorder.

Photo 3.19: Utilisation d'un gabarit de grille variable pour le raccordement des champs MP.

Pour commencer, vous devez choisir la largeur d'un volet simple et faire un gabarit en traçant des lignes parallèles et une perpendiculaire. La distance entre les lignes doit être égale à la largeur du volet. Pour les autres constructions, nous aurons besoin de compas, règle, crayon et papier calque :

- choisir la largeur du champ initial (3.19.2), sa forme (3.19.3) et tracer toutes les lignes de connexion à l'aide du gabarit* (3.19.1) ;

- mettre le gabarit sous le dessin de sorte qu'un côté de la figure coïncide avec la ligne perpendiculaire du gabarit et que l'une des lignes de connexion passe par le centre du champ ;

* Le champ initial MP peut être de forme arbitraire, dans le cas de 3.19 c'est un pentagone

- tracer les lignes de connexion au crayon en dépassant ;
- effectuer la même opération pour tous les côtés (3.19.4) et obtenir le pattern final du champ initial ;
- choisir un autre champ à raccorder* ;
- dessiner un cercle dont le rayon est égal à la longueur du volet (3.19.5) ;
- établir les lignes de connexion, tout d'abord d'un côté, puis sur l'ensemble du champ (3.19.6). Le raccordement des champs est terminé.

Le raccordement des champs suivants, ou même de blocs entiers, est effectué de la même façon. Il est recommandé de tracer chaque bloc sur un calque séparé en utilisant la grille unique.

RACCORDEMENT DE BLOCS D'ELEMENTS MP

Le raccordement modulaire de blocs d'éléments MP purs (champs de forme libre, sans marais) est assez rare. La seule exception est le raccordement de blocs construits sur des grilles séparées. La principale raison est la complexité de l'élimination des marais qui apparaissent lors de la conception MP. Par conséquent, lorsqu'il s'agit de faire un raccordement modulaire de blocs, il est nécessaire d'en modifier les bords en une forme pratique, avant que les blocs ne soient raccordés.

Considérons le raccordement d'un bloc MP en prenant l'exemple de l'arbre des volets (*fig. 1.10*), divisé en blocs (*fig. 1.15*). Pour cela, nous construisons le bloc "A" avec les proportions et les largeurs choisies pour les volets (*fig. 3.20*).

Figure 3.20: Construction du bloc "A"

Pour commencer, connectons les trois champs MP de base le long de leurs frontières** (*fig. 3.20.1*) et entourons le champ résultant avec une rivière de largeur "r", conformément à l'arbre des volets. À l'état brut, le bloc va ressembler à la figure 3.20.2.

* Si le champ a une forme fixée, le pattern peut être fait sur un document distinct du tracé initial et raccordé en assurant la continuité des lignes de connexion. Si la forme du champ n'est pas définie mais que seule la longueur du volet soit connue, la première étape consiste à sélectionner une ligne de connexion, y placer le centre du champ à la distance de la longueur du volet.

** C'est nécessaire pour obtenir les volets en éventail du bloc "A".

Maintenant, nous devons transformer une partie du bord de la rivière, afin rendre droite la ligne de frontière en vue des connexions ultérieures. Nous allons raccorder le bloc "B" en haut, donc il est nécessaire de changer la berge externe de la rivière "0-1"* (*fig. 3.20.3*).

Continuons avec le bloc «B». L'éventail se compose de trois volets identiques, donc nous connectons trois champs de largeur "r" et rendons leur un bord inférieur rectiligne (*pour faciliter le raccordement des blocs*) (*fig. 3.21*).

Figure 3.21: Raccordement de blocs MP

Les champs du bloc "B" sont construits en utilisant la même grille que les champs du bloc "A". Grâce à cela, les deux blocs complexes sont raccordés sans perturber l'intégrité des lignes de connexion, il suffit de les raccorder le long des frontières (*fig. 3.21.1*). Ainsi, après le raccordement des blocs, le pattern ressemblera à celui représenté à la figure 3.21.2.

Il n'est pas difficile de remarquer qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser uniquement des blocs MP pendant la conception. Ceux qui préfèrent le BP ou le HP peuvent utiliser des formes de champs similaires et les raccorder sur le bord du dessin, sur le prolongement des lignes de connexion.

Dans ce cas, il est possible d'économiser une partie du papier pour le raccordement mais aussi d'utiliser comme référence une grille unitaire BP ou HP. Par exemple, dans le chapitre précédent, nous avons vu comment juxtaposer du HP et du BP** (*fig. 2.21*). Ainsi, à l'aide de champs MP, vous pouvez obtenir une configuration similaire, adaptée au BP (*fig. 3.22.1*) ou à une autre structure (*fig. 3.22.2*).

* Dans certains endroits, la distance entre les lignes de connexion peut ne pas être la même, si elles traversent des lignes d'orientation qui ne les concernent pas. Il faut donner une attention particulière à ces endroits, en essayant de réduire leur nombre au minimum.

** Voir la définition de "mosaïque plane".

Figure 3.22: Juxtaposition avec des éléments MP

Par la suite, lorsque vous étudierez les mosaïques et que vous les combinerez avec les techniques linéaires, vous serez en mesure d'apprécier tous les avantages de ces configurations. Je tiens ici à mentionner des avantages comme l'économie de matériau pour le raccordement et comme la diversité des formes utilisées. Bien sûr, d'autres difficultés peuvent surgir lors du raccordement de champs MP, que nous n'avons pas décrites plus tôt. Afin de décrire les moyens de les surmonter, nous devons considérer des éléments MP beaucoup plus complexes, un peu plus loin, dans la partie pratique de ce chapitre, sur l'exemple du modèle du "Papillon".

GRILLE UNITAIRE MP EN LOSANGE

Comme mentionné précédemment, il est parfois possible d'utiliser en MP une grille unitaire en forme d'un réseau de losanges qui se distingue des grilles HP et BP. Elle se présente comme suit (*fig. 3.23*).

Figure 3.23: Grille MP en losange

La figure 3.23 montre une grille MP en losange composée de cellules identiques en forme de losanges. Tout comme dans les autres méthodes (BP et HP), il est nécessaire d'introduire un paramètre, qui sera utilisé pour choisir individuellement l'emplacement des champs. En l'occurrence, le paramètre est l'angle d'*orientation de la grille* " α " (fig. 3.23.1), *l'angle le plus petit de la cellule*. Donc, d'après les propriétés du losange, les diagonales se croiseront toujours à un angle droit : $\angle AOB = \angle BOC = 90^\circ$ (fig. 3.23.2).

Quelles possibilités nous offre une telle grille ? Nous pouvons évidemment y construire des champs et des rivières configurés à l'avance en fonction de l'arbre des volets, de manière analogue à la grille unitaire BP. Par exemple, regardez le champ MP en forme de losange ABCD dans la figure 3.23.2. Si nous regardons la structure, nous voyons une sorte de rivière fermée, effectuant une rotation complète de 360° par rapport au centre "O". Chaque étape de rotation individuelle est réalisée en traversant une des diagonales du losange qui sont aussi les bissectrices des angles. Si nous compliquons la configuration de la rivière en lui faisant suivre une trajectoire plus complexe, rien ne changera fondamentalement. Dans tous les cas, la rivière tournera en passant par des lignes d'orientation adjacentes perpendiculaires, comme le montre la figure 3.4.

À première vue, la conception à l'aide d'une grille en losange semble incroyablement simple, les éléments à raccorder s'associent naturellement, comme en BP, "sans se faire des ampoules aux mains". Cependant, en parlant des rivières et de leurs trajectoires, nous avons complètement oublié les lignes de connexion, qui sont toujours orthogonales aux berges des rivières. Si " α " = 90° (BP), alors bien sûr, il n'y a aucun problème, elles coïncident avec la grille, mais en général ce n'est pas le cas. En MP, l'angle " α " peut être très différent.

Dans la figure 3.23.2, les lignes de connexion s'alignent avec les droites "OE" et "OF", passant par les nœuds de E et F, et perpendiculaires aux lignes de la grille. L'angle d'orientation (fig. 3.23.1) n'est pas droit : " α " = $\arccos(1/3)$. Afin d'obtenir les lignes de connexion, il y a un moyen que nous avons déjà utilisé en HP : introduire une grille de connexion séparée.

En généralisant, l'angle d'orientation " α " est égal à :

$$\alpha = \arccos(a/b) \quad (1)$$

où " a " et " b "* (*déplacements latéraux*) sont les paramètres qui caractérisent la position des lignes de connexion par rapport aux lignes de la grille initiale (fig. 3.24.1).

* Pour les grilles BP et HP, les angles d'orientation peuvent être calculées de la même façon. Si $a = 0$, alors $\alpha = 90^\circ$, c'est une grille BP; pour la grille HP : $a = 1$, $b = 2$, $\alpha = 60^\circ$.

Figure 3.24: Choix de l'angle d'orientation dans une grille en losange

En fin de compte, la distribution des champs dans la grille de conception rappelle beaucoup le HP. Dans les deux cas, il sera pratique d'utiliser deux grilles : une pour les rivières (*fig. 3.24.2*) et l'autre tournée à 90 degrés pour les lignes de connexion (*fig. 3.24.3*). Dans les deux cas, les grilles d'orientation et de connexion ont un pas différent qui peut être numériquement calculé en utilisant la formule (2).

$$\frac{Y(n)}{X(k)} = \frac{k}{n} \sqrt{\frac{b-a}{b+a}} \quad (2)$$

Ici, tous les éléments sauf Y(n), le pas de la grille de connexion, sont définis avant le début de conception :

- "a" et "b", déplacements latéraux des lignes de connexion ;
- "X(k)" est le pas choisi pour la grille d'orientation ;
- "k" et "n" sont les coefficients de réduction du pas respectivement pour les grilles d'orientation et de connexion.

C'est-à-dire qu'en choisissant d'abord les valeurs de déplacements latéraux, on calcule l'angle d'orientation de la grille " α ". Ensuite, avec le pas choisi "X (k)", la grille d'orientation est construite. Puis les valeurs des coefficients de réduction du pas ("k" et "n") sont choisies par rapport à un champ simple en forme de losange (*fig. 3.25*) et le pas de la grille de connexion est calculé .

Figure 3.25: Choix des coefficients de réduction du pas des grilles : "k" et "n".

Le paramètre "k" est un nombre entier naturel, égal au nombre de pas sur la grille d'orientation pour la longueur d'un volet simple. Il est parfois plus pratique de choisir cette valeur différente de l'unité pour faciliter la conception, en raison de caractéristiques spécifiques de certaines grilles (fig. 3.25.1, "k" = 2).

Le paramètre "n" (*qui est aussi un entier naturel*) est une valeur qui caractérise la largeur du volet final et est égale au nombre maximal de divisions que nous voulons utiliser pour un pas de la grille de connexion "Y" (fig. 3.25.2, "n" = 4).

En outre, la figure 3.25 montre un autre paramètre important: "N" qui est le nombre de divisions d'un côté d'un champ simple (fig. 3.25.1, N = 5). "N" est calculé comme suit (3) :

$$N = n \frac{2b}{(b-a)} \quad (3)$$

Les contraintes entre les valeurs de "n", "a", "b" pour la conception découlent de cette égalité (3). Plus précisément, "N" doit être un entier, c'est à dire que "2bn" doit être divisible par "b-a" sans reste !!! Dans le cas contraire, les possibilités pour les rivières seront significativement réduites.

Notez que quand "k" = 1 et "n" = 1, la conception sera réalisée sur des grilles avec le plus grand pas possible. Ainsi, par exemple :

- pour la grille 3.24.3 : "n" = 1, "k" = 1, "a" = 3, "b" = 2, d'où $Y = 0,447X$;
- pour la grille HP : "n" = 1, "k" = 1, "a" = 1, "b" = 2, d'où $Y = 0,577X$, que nous avons utilisé dans le chapitre précédent*.

Comme toute technique, la conception sur une grille en losange a son domaine d'application. Si l'on considère l'utilisation de cette grille pour la conception du modèle dans son ensemble, la conception en BP pourrait paraître plus avantageuse en termes de matériel dépensé pour le transfert des lignes de la grille, de temps pour les calculs et les raccordements finaux. Cependant, l'utilisation d'une grille en losange comme aide pour obtenir certains secteurs d'éléments MP ou même un bloc entier, est souvent «vitale» et extrêmement efficace pour les raccordements futurs. C'est une situation "standard" typique quand, sur une zone du pattern, il est nécessaire de créer une structure avec plusieurs volets, séparés d'une certaine distance, que ce soit des pattes d'arthropodes, de feuilles sur une branche, de piquants de hérisson, etc. Sur une grille en losange, ce problème est résolu très élégamment avec un minimum d'effort (fig. 3.26.1).

* Notez que la grille HP est un cas particulier de grille MP avec l'angle d'orientation "α" = 60°, en raison de quelques particularités de la structure des cellules il est possible d'ajouter un degré de liberté supplémentaire au champ (voir plus loin pour plus de détails).

Figure 3.26: Elements construits sur une grille en losange

En apparence, le pattern représenté sur la figure 3.26.2 est très similaire à un ensemble de secteurs BP et se développe aussi simplement. Cependant le résultat du pliage à partir d'un bloc en BP sera radicalement différent de l'arbre des volets, représenté dans la partie supérieure (*fig. 3.26*). Dans le bloc BP, tous les volets émaneront d'un seul point.

Naturellement, cet élément a une structure en secteurs et, afin de lui donner un bord droit, il faudra faire un peu de "magie" avec les lignes d'orientation. Mais le résultat en vaut la peine, d'autant plus que les blocs MP peuvent être raccordés comme des champs MP ordinaires, que ce soit sur le bord de la feuille (*fig. 3.27.1*) ou au coeur de la zone de conception (*fig. 3.27.2*).

Figure 3.27: Blocs MP basés sur une grille en losange

Comme vous pouvez le voir, en ajoutant quelques lignes banales aux champs internes de la structure, nous obtenons une combinaison assez élégante des rivières (*fig. 3.27*).

La composition du bloc MP de la figure 3.27.1 est tout à fait appropriée pour la formation, par exemple, des pattes avant de la mante religieuse. En pliant le bloc 3.27.2, nous pouvons obtenir une tête et y détailler des cheveux et les traits du visage.

Fondamentalement, l'utilisation d'une grille en losange dans la conception MP a un caractère facultatif. Cependant, la connaissance de cet aspect peut considérablement simplifier la conception des blocs complexes. Il est également important de noter que le raccordement des blocs MP sur une grille en losange est très simple, presque comme dans le BP, à l'exception de détails mineurs. Ainsi, le pattern de l'arbre (fig. 1.10) peut être composé de champs MP en losange (fig. 3.28), sans trop de transformation de la structure (fig. 3.20.3).

Figure 3.28: Raccordement de blocs sur une grille en losange

La conception et le raccordement des blocs sur la grille en losange a lieu comme suit :

- Les paramètres initiaux $\{k, n, a, b\}$ sont choisis (dans la figure 3.28: " k " = 2, " n " = 1, " a " = 1 et " b " = 3). Ces valeurs sont substituées dans les formules (3) et (1) pour obtenir " N " et " α " (figure 3.28: " N " = 3 et " α " = $70,53^\circ$).
- La grille d'orientation est tracée, conformément au pas choisi $X(k)$ et la construction des blocs commence, en conformité avec l'arbre des volets* (fig. 3.28.1 et 3.28.2).
- Le pas $Y(n)$ de la grille de connexion est calculé selon la formule (2) (fig. 3.28: $Y(n) = 1,414 X(k)$).

Après cela, le raccordement des blocs et des champs ordinaires commence directement, le long des lignes de la grille de connexion.

* Dans l'exemple, nous avons conservé l'ensemble des volets déjà présenté et représenté dans la figure 1.15.

Ainsi, les blocs "A" et "B" sont raccordés de telle manière que la limite supérieure du bloc final soit une ligne droite* (fig. 3.28.3). Ceci permettra de raccorder facilement n'importe quelle combinaison de champs MP, sans se préoccuper de la structure interne des blocs. À la suite du raccordement des blocs nous obtenons le pattern suivant (fig. 3.29.1).

Figure 3.29: Patterns finaux pour l'arbre des volets 1.10

En fait, d'une manière générale la conception sur une grille en losange n'ajoute rien de particulier. Ensuite, comme dans les autres techniques, il faut rogner le résultat à la surface de pliage et le pattern est prêt à l'emploi**. Néanmoins, examinons cet exemple simple (fig. 3.29.2). Nous voyons ici que le raccordement des blocs est tout à fait faisable parce que l'un des blocs est le symétrique vertical de l'autre. Ceci est possible car ces éléments ont été construits sur des grilles avec des pas identiques. A première vue rien de spécial, d'autant que nous avons déjà vu le raccordement d'éléments MP quelconques. Cependant, une analyse plus fine de ce cas particulier nous ouvre un certain nombre de perspectives techniques très intéressantes.

Tout d'abord, la réflexion de la grille le long des frontières des champs permet de créer des configurations symétriques dans la zone de pliage (par rapport à une ligne médiane ou à une diagonale du carré). Ensuite, la possibilité d'utiliser différentes grilles différentes d'orientation pour la conception. En particulier, les grilles reflétées se prêtent très facilement à la conception d'insectes avec beaucoup de pattes et l'utilisation de plusieurs grilles en même temps permet de diversifier considérablement la gamme des champs de base.

* Dans la pratique, la grille d'orientation et la grille de connexion sont faites séparément pour les deux patterns, comme pour le HP, avec les paramètres choisis communs.

** Si vous limitez la conception MP à une simple grille en losange, il est recommandé de placer les axes de la cellule parallèlement aux axes de symétrie de la feuille.

La réflexion de la grille d'orientation le long de la frontières d'un bloc, ne pose pas de problèmes, en principe ; il suffit de se rappeler le processus de réflexion de moitiés symétriques lors de la conception en BP ou HP (voir chapitre "1" et "2"). C'est avec l'utilisation combinée de grilles différentes que des problèmes peuvent survenir. Alors, de quoi a-t-on besoin pour cela (fig. 3.30) ?

Figure 3.30: Partage de différentes grilles unitaires

1) Choisissez n'importe quelle grille d'orientation avec des valeurs choisies de déplacement latéral ("a" et "b"). Il peut s'agir d'une grille en losange ou d'une grille HP (Fig. 3.30-bas).

2) Graduer les grilles selon le paramètre $Y(n)$:

$$Y_1(n_1) = Y_2(n_2) = \dots = Y_x(n_x) \quad (4)$$

Il faudra pour cela les étapes suivantes :

- Choisir une grille et calculer sa valeur $Y(n)$ selon la formule (2) ;
- Faire l'opération inverse et calculer $X_i(k)$ (équation (2)) pour les autres grilles ;
- Créer des gabarits de toutes les grilles (sur papier calque ,par exemple, de la même façon que celle décrite dans le deuxième chapitre) ;

3) Raccorder les gabarits (fig. 3.30.1) en tenant compte des lignes des grilles de connexion (fig. 3.30.2) ;

4) Diviser l'arbre des volets en blocs, chaque bloc ayant sa propre grille* ;

5) Réaliser la conception et transférer les lignes sur une feuille séparée (fig. 3.31).

* S'il s'agit de grilles en miroir, alors ce n'est pas nécessaire, et la rivière peut être réfléchi le long de la frontière commune

Notez (*fig. 3.30.1, zone du haut "Ω"*) que le raccordement des grilles peut former des marais qui devront être éliminés. Par exemple, il est possible d'inclure des marais dans les champs, comme dans la figure 3.31.

Figure 3.31: Conception commune à différentes grilles

Naturellement, la conception devra tenir compte du fait que les volets auront des longueurs différentes selon les grilles et donc la structure du modèle devra être pensée à l'avance. Il sera peut être suffisant d'utiliser seulement le réfléchissement de la grille. Cela aura un impact significatif sur le temps nécessaire puisque cela évitera de fabriquer des gabarits de grilles.

Il est important de noter que vous pouvez obtenir un champ qui n'est pas un losange à partir d'une grille en losange (*fig. 3.32.1*).

Figure 3.32: Modification de la forme d'un champ en losange

Comme vous l'aurez probablement deviné, les angles aigus des champs en losange sont les plus consommateurs en matériau. Ce problème peut donc être partiellement résolu en changeant la trajectoire des rivières qui entourent les angles aigus. Pour cela, amenez les centres des champs sur un axe commun (*fig. 3.32.2*) à une distance telle que le point "d'intersection" des champs coïncidera avec un noeud de la grille de connexion (*fig. 3.32.3, point gris*). Alors, les lignes d'orientation le long desquelles la trajectoire de la rivière va changer de direction deviennent les bissectrices des angles du tournant (*fig. 3.32.3*) au niveau de l'intersection. La seule condition nécessaire pour un tel raccordement est que, lors du chevauchement des champs en losange, le point d'intersection des bissectrices (*fig. 3.32, point noir*) ne dépasse pas le centre du champ (*fig. 3.32 point blanc*).

L'"intersection" de champs en losange est tout à fait possible en dehors d'un axe commun (*fig. 3.33.1*). Mais il faut alors contrôler que tous les points où les lignes changent de direction (*fig. 3.33.1, points gris et noir*), coïncident avec des noeuds de la grille de connexion.

Figure 3.33: Modification de la forme d'un champ en losange

Si ce n'est pas fait, la structure pliable à plat de l'élément du modèle sera détruite. C'est pourquoi un tel bloc doit être conçu à part, de préférence sur un gabarit séparé, pour qu'il soit possible de le raccorder facilement sur la grille principale. Dans sa forme pure, cette transformation est une extension du champ MP par rapport à un point fixe, mais nous verrons cela plus tard.

Avant de passer à la partie pratique, nous allons étudier un autre domaine d'application des grilles en losange. Il s'agit de la construction d'une grille unitaire pour les méthodes linéaires combinés.

COMBINAISON DE GRILLES UNITAIRES

Grâce à ce nouveau et étonnant domaine de l'origami linéaire, il est possible d'augmenter à volonté le degré de liberté des champs utilisés.

Ne pas le mentionner ce serait une erreur, étant donné que les champs de base des techniques linéaires combinées ont la structure des champs de base de la MP, dans leur variété.

Et bien que l'essence même des algorithmes combinés dépasse largement le cadre décrit dans ce livre, nous considérerons quelques cas particuliers qui peuvent être facilement utilisés pour créer des blocs MP.

Comme vous le savez déjà, il est possible, à l'aide d'une grille en losange, de construire des champs tétragonaux où des secteurs d'orientation adjacents ont un nombre différent de lignes de connexion. Pour cela, il suffit de calculer l'angle d'orientation avec les paramètres de déplacement latéral "a" et "b" (formule 1). Ainsi, avec plusieurs grilles en losange, vous pouvez obtenir une grille dite combinée.

La grille unitaire combinée est une grille unitaire sur laquelle vous pouvez créer en utilisant des champs de base quelconques (*fig. 3.34*).

Figure 3.34: Exemples de grilles combinées

La figure montre des grilles combinées avec différents degrés de liberté "i"^{*}. Il y a un nombre apparemment infini de formes et de caractéristiques. L'analyse en détail de ce sujet montre que le HP et le BP, qui apparaissaient récemment comme complexes et innovants, commencent à devenir "un peu pauvres". L'infinie variété des méthodes linéaires construites à partir de grilles combinées est simplement fascinante. En plus des possibilités d'optimisation incroyables qui se présentent pour le concepteur, il y a la possibilité de réutiliser des blocs MP divers, de structure préconçue. Travailler avec des grilles combinées est une activité passionnante qui vous permet de concevoir un modèle véritablement unique, créé avec des méthodes linéaires que personne n'avait jamais utilisées auparavant. Malheureusement, seuls les origamistes mathématiciens seront en mesure de profiter de tous les charmes des grilles combinées, car leur travail exige souvent une connaissance approfondie de l'analyse mathématique.

^{*} Le degré de liberté "i" de la grille est une valeur caractérisant la forme des champs de base utilisés dans la conception. Il est égal au nombre maximal de côtés du champ dans la grille unitaire. Pour une grille HP, "i" = 6 et pour une grille en losange "i" = 4.

Néanmoins, certaines caractéristiques et nuances particulières seront utiles à tous parce que leur connaissance permettra, sans calculs, d'obtenir des degrés de liberté supplémentaires dans les grilles en losange. Examinons-les plus en détail.

Les grilles combinées sont formées par la rotation de plusieurs grilles en losange de pas identique, autour d'un noeud commun. Ainsi, la forme du futur champ de base peut être tracée le long de la zone d'intersection des cellules des grilles unitaires (fig. 3.35).

Figure 3.35: Quelques cellules de grilles combinées

A l'intérieur des polygones convexes, formés par la zone d'intersection de différents losanges, on peut inscrire un cercle. Donc, pour obtenir une grille combinée efficace, la limitation importante suivante est requise .

Les rayons de cercles inscrits doivent être égaux.

Ce qui implique une condition nécessaire pour le calcul des paramètres de grilles combinées (5)

$$x_1 y_1 = x_2 y_2 = \dots = x_n y_n = r^2 \quad (5)$$

où x_n et y_n sont les largeurs des secteurs adjacents du losange "n" (fig. 3.36), égales aux distances entre les coins et le pied de la perpendiculaire allant du côté au centre du cercle inscrit (" y " > "x").

Figure 3.36: Champ de base en losange

Considérez ces nouveaux paramètres. Leurs valeurs correspondent aux largeurs des secteurs d'orientation du champ de base en losange. Si vous leur choisissez des entiers pour valeurs, alors vous serez en mesure de faire traverser les secteurs angulaires par un nombre entier de lignes de connexion. Il sera alors possible de déterminer l'angle d'orientation " α " souhaité pour la grille sans prendre en compte les décalages latéraux des lignes de connexion, " a " et " b ", comme nous avons fait plus tôt*.

$$\alpha = 2 \arctg \sqrt{\frac{x}{y}} \quad (6)$$

Ces paramètres sont choisis à l'avance et servent pour le calcul des caractéristiques des champs de base combinés. Il s'agit :

- des angles d'orientation des cellules en losange dans la grille combinée ;
- des largeurs de tous les secteurs d'un champ d'une grille unitaire combinée.

L'étape d'obtention des angles d'orientation ne pose pas de problème, en général. Elle fait partie des dernières étapes de la création d'une grille, immédiatement avant la répartition des grilles individuelles en losange, et après la sélection de toutes les valeurs de " x_n " et " y_n " remplissant les conditions requises. Toute la difficulté réside dans l'obtention de la largeur de chaque secteur au sein d'un champ combiné unitaire, à cause de la combinatoire mathématique, créant une infinie variété de techniques linéaires.

Le problème réside dans un fait passé inaperçu au premier abord, la nuance que nous avons si facilement contournée précédemment. A savoir : lors de la conception sur une grille unitaire, le côté d'un champ doit croiser un nombre entier de bandes parallèles des "plis en accordéon". Ce point est directement lié à la recherche de solutions entières dans diverses équations mathématiques.

Le travail est considérablement compliqué si la formation d'une cellule résulte de grilles en losange avec différents angles d'orientation. Dans de telles situations, il faut effectuer l'analyse simultanée d'un groupe d'équations mathématiques plutôt volumineuses, ce qui est du domaine des théoriciens de l'origami. L'application de ces situations à l'origami est "utopique", particulièrement si les calculs sont effectués pour des grilles combinées avec un haut degré de liberté.

Dans la pratique, le mieux est de chercher une solution utilisant une seule et unique configuration en losange. Cette limitation simplifie considérablement les travaux préparatoires de calcul et d'analyse. Même si, bien sûr, ces solutions particulières excluent toute une gamme de grilles possibles mais, croyez-moi, leur nombre est déjà plus que suffisant.

* En plus du calcul de la valeur de " α ", c'est une bonne alternative pour la construction d'une grille en losange. Ici, l'algorithme est fait dans l'ordre inverse : le pas de la grille de connexion est défini par les valeurs de " x " et de " y ", ensuite, le pas de la grille d'orientation est calculé en prenant en compte les valeurs $\{k, n\}$ (Figure 3.25).

Voyons en détail la construction d'un champ de base hexagonal dans une combinaison de deux grilles en losange (fig. 3.37).

Figure 3.37: Création d'un champ de base hexagonal

La figure 3.37.1 représente le cas dans où les deux losanges sont égaux. La zone d'intersection est un hexagone symétrique par rapport à la perpendiculaire commune passant par le centre du cercle inscrit (fig; 3.37.1a). La couleur foncée indique les secteurs dont la largeur n'est pas connue. Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de la calculer (7).

$$z_1 = \frac{y-x}{2} \quad (7)$$

Comme vous pouvez le voir, obtenir une valeur entière pour chaque secteur est ici "du gâteau". Il suffit que la différence (y-x) soit paire (2,4, ..., 2n)*. Il reste maintenant à calculer l'angle de la grille d'orientation en losange et les travaux préparatoires seront terminés.

Prenons, par exemple, y = 5, x = 3 :

- Calcul de la largeur (z1) du secteur désiré, : $z_1 = (5-3) / 2 = 1$;
- Si z1 est un nombre entier, l' angle de la grille d'orientation "α" est calculé à partir de la formule (6), en utilisant les valeurs "x" et "y". Dans notre cas, l'angle "α" est égal à:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg}(0,774) = 75^\circ 31'$$

Il reste à tracer deux gabarits de grille d'orientation en losange avec l'angle "α" qui donneront la grille souhaitée quand elles se chevaucheront (fig. 3.38).

* Si le résultat du calcul de z_n est fractionnaire, ce n'est pas critique. Il suffit de multiplier simultanément "x, y, z_1 , ..., z_n " par le dénominateur et les nombres satisferont à la condition. Si $\{x ; y ; z\} = \{3 ; 4 ; 0,5\}$, vous devez doubler : $\{6 ; 8 ; 1\}$.

Figure 3.38: Obtention des grilles pour la méthode HP {1;3}

Comme vous pouvez le voir, la conception réalisée sur une telle grille est similaire à celle en BP ou HP. Comme les pas des deux grilles sont égaux, les rivières conservent leur intégrité au passage d'une grille en losange à l'autre ; de même le HP est construit avec avec deux grilles tournées de 90° l'une par rapport à l'autre et ainsi de suite. Il n'y a pratiquement aucune différence, sauf pour le positionnement des lignes d'orientation (*mais ici, je pense qu'il ne devrait y avoir aucun problème : tracez les bissectrices des angles de la trajectoire en commençant par les champs du centre et le reste des lignes se mettra en place par les lignes de la grille*).

Notez que la méthode HP correspond à des grilles de type {1, 3} (*fig. 3.38*). Qu'est-ce que cela signifie ? Si nous considérons un champ simple (*fig. 3.38.2-foncé*), nous pouvons remarquer que les frontières longent soit un soit trois segments issus du croisement, d'où les valeurs dans l'accolade (la sous-classe de la méthode). "HP" indique la classe de la méthode et la forme du champ de base simple ("R" : *rhombe [losange, NdT]*, "H" : *hexagone*, "O" : *octogone*, "D" : *décagone*, "DD" : *dodécagone*, ..., "N" - *n-gon*). En généralisant, un champ simple d'une méthode NP {zn; ...; z1} ressemblera à ceci (*fig. 3.39*).

Figure 3.39: Un champ de base simple dans la méthode NP {zn; ...; z1}

Si une valeur de " z_i " est répétée quelque part, elle n'est écrite qu'une fois dans l'accolade pour plus de facilité : $z_1 < z_2 < \dots < z_{(n-1)} < z_n$.

Considérons maintenant ce cas (fig. 3.37.2). En principe, la situation est similaire, la seule différence est qu'il est plus difficile d'assurer une valeur entière pour le paramètre " z_1 ". Cette fois il dépend déjà de quatre paramètres $\{x_1; x_2; y_1; y_2\}$ (8).

$$z_1 = \frac{y_1 y_2 - x_1 x_2}{x_1 + x_2 + y_1 + y_2} \quad (8)$$

La tâche est un peu plus compliquée, mais elle est encore tout à fait faisable. Il suffit de fixer les valeurs " x_1 ", " x_2 ", " z_1 " (participant à la construction d'un champ simple) et de trouver des valeurs de " y_1 ", " y_2 " entières pour que tous les éléments satisfassent à l'équation d'origine.

Supposons que nous ayons choisi les valeurs $\{x_1; x_2; z_1\} = \{1, 2, 2\}$, alors :

- Substituons ces valeurs dans la formule (8) : $2 = (y_1 y_2 - 2) / (y_1 + y_2 + 3)$;

- Exprimons une inconnue par l'autre : $y_2 = 2(y_1 + 4) / (y_1 - 2)$;

- Choisissons une solution entière arbitraire : " y_1 " = 8 ; " y_2 " = 4 ;

- Calculons les angles de la grille d'orientation (6) : $\alpha_1 = 2 \arctg(0,354) = 38^\circ 56'$,

$\alpha_2 = 2 \arctg(0,707) = 70^\circ 32'$

Le raccordement est fait de manière similaire à 3.37.1, en utilisant deux grilles en losange de pas égal (fig. 3.40.1).

Figure 3.40 Obtention d'une grille pour la méthode HP {1, 2}

La conception se fera dans la zone d'intersection le long des lignes des deux grilles (*fig. 3.40.2*). Expliquer ce point plus en détail serait superflu : la terminologie et la séquence des actions sont les mêmes que dans la description du RP. Cependant, les lignes sont un peu différentes, mais ce n'est pas grave et un modèle sera suffisant pour comprendre toutes les subtilités de la méthode.

Suite à la rotation de la grille et à la modification de son pas, nous obtenons le pattern final suivant (*fig. 3.41*).

Figure 3.41 Préparation du pattern final pour la méthode HP {1, 2}

D'ailleurs, cette grille (*fig. 3.40.1*) peut être obtenue en utilisant seulement deux grilles du même type tel que RP {2, 4}. Même si, en général, la grille ne dépend pas de deux paramètres mais de trois (*par exemple, HP {1, 2, 3}, qui est obtenue par l'intersection de deux grilles $RP \{2, 3\} \cap RP \{3, 7\} = HP \{1, 2, 3\}$*).

En ce qui concerne la grille $i = 8$ (OP), la solution générale avec seulement deux grilles est plus laborieuse. Car il y a un nouveau paramètre, l'angle entre les axes des losanges $\beta \neq (\alpha_1 + \alpha_2)/2$, où $\alpha_1 \neq \alpha_2$ (*fig. 3.42*).

Figure 3.42 Obtention d'une structure OP

Bien que le sujet soit très intéressant et passionnant du point de vue de l'origamiste mathématicien, l'application pratique n'est pas facile, à de rares exceptions près. Les valeurs dépendent les unes des autres ce qui pose un problème très difficile. Ceci rend la tâche de trouver des solutions entières pratiquement impossible pour des origamistes étrangers à l'analyse mathématique. Ainsi, par exemple, pour une version simplifiée de la figure 3.42.2 (" $\beta > (\alpha_1 + \alpha_2)/2$ "), il faut trouver des solutions entières à l'équation suivante (9), et par la suite un calcul séparé de " β ".

$$\frac{r^2 - z_1 z_2}{r(z_1 z_2)} = \text{tg}\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \quad (9)$$

Et la résolution est loin d'être simple. Donc, il est nécessaire de réduire le nombre d'inconnues. Cela peut être fait en fixant la position des losanges le long certains points de référence qui définissent toutes les valeurs désirées.

Il existe beaucoup de ces configurations, tout dépend de la situation concrète et du but à accomplir. Examinons quelques-unes d'entre elles et voyons comment la situation d'ensemble change lorsque nous modifions les paramètres individuels. Pour cela, examinons l'arrangement de trois losanges dont l'intersection forme un champ de base de forme octogonale (fig. 3.43).

Figure 3.43 : Obtention de champs de base octogonaux

Comme vous pouvez le voir, la construction de l'octogone est effectuée à partir de la configuration de la figure 3.37. Les deux degrés de liberté supplémentaires ont été formés au moyen du troisième losange chevauchant les deux premiers.

* " z_1 ", " z_2 " - les largeurs des secteurs (en sombre), " r " d'après (5), " α_i " d'après (6) (" x_i ", " y_i " sont différents pour chaque losange i)

Notez que le nombre de "z_i" inconnus diffère selon l'angle d'orientation du losange initial : jusqu'à 60 degrés, une inconnue "z₂" (fig. 3.43.2a, y > 3x) ; plus de 60 degrés, deux : "z₁" et "z₂" (fig. 3.43.1a, y < 3x).

Pour déterminer "z₁", nous connaissons les formules (7) ou (8) (pour le cas général). En ce qui concerne "z₂", il faut utiliser la formule générale pour le calcul de "z_n" pour tout champ de base en NP, construit de manière similaire (10)*.

$$z_{(n+1)} = y_{(n+1)} \left| \frac{z_n - x_{(n+1)}}{z_n + y_{(n+1)}} \right| \quad (10)$$

où "z_k" est la largeur du k-ième secteur, "x_m" et "y_m" les paramètres du m-ième losange (fig. 3.36).

Notez qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un "x_k" et un "y_k" différents, tout dépend de la forme du champ que vous voulez voir dans la méthode. Quoique, généralement ce soit possible. Les valeurs entières de largeur des secteurs inclus dans le champ de base doivent être aussi petites que possible, de préférence pas plus de cinq. Sinon les champs avec un grand nombre de côtés formeront un volet trop mince. Autrement dit, il est pratiquement certain que la grille OP {8, 9, 15} sera très peu utilisée.

Utilisons (10) sur un exemple concret :

- Choisir la grille de départ pour la première intersection : $RP \{1, 9\} \cap RP \{1, 9\}$;
- Calculer la largeur "z₁" du premier secteur non défini : $z_1 = (9-1) / 2 = 4$;
- Choisir une solution rationnelle à (10), en tenant compte de (5) : Soit "z₁" > "x₁", $z_2 = y_2 (4 - x_2) / (4 + y_2)$, comme $x_2 y_2 = x_1 y_1 = 9$, alors $z_2 = (4y_2 - 9) / (4 + y_2) \Rightarrow$ en examinant cette équation, choisissez "y₂" = 6, "z₂" = 3/2, "x₂" = 9/y₂ = 3/2 ;
- Donner à toutes les largeurs une valeur entière : il suffit de multiplier toutes les valeurs par deux pour obtenir le résultat souhaité, les paramètres des grilles 1 et 2 - RP {2 ; 18} ; grille 3 - RP {3 ; 12} "z₂" = 3 **;
- Calculer les angles d'orientation des parties des grilles RP formant la grille OP (6) : $\alpha_1 = \alpha_1' = 2 \arctg(0,333) = 36^\circ 52'$, $\alpha_2 = 2 \arctg(0,5) = 53^\circ 8'$;

La séquence des actions ultérieures est la même, la seule différence étant qu'il faut non pas deux mais trois grilles RP pour la former une grille OP. Sinon, il n'y a aucun changement :

- Tracer les gabarits de toutes les grilles RP calculées à l'avance sur un matériau transparent (par exemple, du papier calque) ;
- Superposer toutes les grilles selon des positions obtenues conformément à tous les calculs qui ont été effectués pour trouver les largeurs indéfinies des secteurs ;
- Fixer la position et tracer la grille OP définitive.

* Utilisé lors de la création de grilles avec un haut degré de liberté (OP, DP, DDP, ...).

** Ne faites pas attention aux valeurs élevées pour "z₁", "y₁" et "y₂", ces valeurs ne participeront pas à la formation d'un champ de base simple ; par conséquent, nous obtenons OP {2, 3}.

Naturellement, si vous concevez un modèle à l'aide d'éditeurs informatiques («Inkscape», «CorelDRAW», etc), le travail d'obtention d'une grille OP est extrêmement simplifié, parce que la construction d'une grille en losange et sa rotation sont effectuées en quelques clics de la souris. Sans compter que les origamistes intéressés par la programmation peuvent concevoir des "générateurs de grilles combinées" conformément à cet algorithme. Mais c'est, comme on dit, "On n'a rien appris !".

Pour revenir à notre grille OP, nous réunissons les trois grilles RP composantes produites selon les calculs (fig. 3.44).

Figure 3.44 : Obtention de la grille pour la méthode OP {2, 3}

Les tracés ultérieurs seront réalisés le long des lignes de la grille avec des noeuds au niveau des points d'intersection. Malheureusement, le nombre de noeuds qui conviennent pour le choix du centre des champs, ne sont pas les mêmes selon les différentes méthodes OP. Leur densité sur la surface, sans constructions supplémentaires, ne peut pas être déterminée à l'avance, c'est pourquoi il est parfois nécessaire de créer séparément des gabarits pour les champs de base dans le cas de quelques types de grilles difficiles. Ces gabarits peuvent aider à identifier les noeuds appropriés pour les centres de champs. Sinon, bien sûr, il faut traiter séparément chaque cas spécifique. La gamme des méthodes et de leurs grilles est si vaste qu'il n'est pas possible de décrire toutes les nuances, il y a un grand besoin de généralisation dans ce domaine. Si vous calculez tout correctement, vous obtiendrez ainsi des modèles précis de grilles RP, il suffit de ne pas changer les largeurs des rivières entrantes et de choisir, en tant que centres de champs, les noeuds avec un nombre maximal de lignes de la grille.

Bien sûr, même avec " i " > 6, il existe des grilles universelles, dans lesquelles la conception sera aussi facile qu'en BP et RP (nous en présenterons une plus loin).

Mais, pour la plupart, les grilles ont une forme si compliquée qu'il est simplement impossible de transférer toutes les lignes sur la feuille, donc il est nécessaire d'éliminer certaines des lignes, en adaptant globalement le dessin aux orientations BP ou HP standard. Par exemple, la grille-BP sera très simple à utiliser, grâce au fait que quatre des huit degrés de liberté sont perpendiculaires. L'intersection de ces lignes forme une simple grille carrée standard, ceci facilitera grandement le transfert des lignes du pattern sur la feuille de pliage finale (*fig. 3.45.1*).

Figure 3.45 : Structure d'un pattern OP {2;3}

Cet aspect fait, sans aucun doute, de la conception en OP {2; 3} non seulement un divertissement théorique pour origamistes "curieux", mais aussi une méthode assez efficace que vous pouvez mettre en pratique. Notez que tous nos paramètres de conception se retrouvent dans le champ de base simple (*fig. 3.45.2*). Nous pouvons y remarquer que la moitié des cellules carrées simples de la grille recouvrent trois lignes de connexion. Ceci implique que, dans cette technique, il n'est pas nécessaire d'effectuer la rotation de la grille de connexion, il suffit de diviser la distance entre les lignes de connexion par six dans toutes les directions (*fig. 3.46*).

Figure 3.46 : Pattern final en OP {2, 3}

Naturellement, il est préférable de ne pas appliquer la grille partout mais plutôt de l'utiliser localement dans des endroits où c'est vraiment nécessaire. Ceci est particulièrement important dans les régions qui n'utilisent pas de ligne du tout (*fig. 3.46.1 - zones foncées*). Ces lignes seront rétablies dans le processus de raccordement.

A propos de la disposition des losanges (*fig. 3.43*), on constate que dans le cas de (*fig. 3.43.1a - $\alpha_1 > 60^\circ$*) tout se fait de la même manière, mais en un peu plus compliqué, en raison des deux quantités inconnues " z_1 " et " z_2 " (10). D'ailleurs, dans le cas général, la méthode de distribution de grilles RP (*fig. 3.43.2a - $y > 3x$*) est la plus rationnelle : dans tous les cas, il n'est nécessaire de déterminer qu'une seule valeur pour DP, DDP, et pour les autres méthodes MP.

Revenons à la grille OP formée par des losanges, représentée sur la figure 3.43.3. Comme vous pouvez le voir, les deux inconnues " z_1 " et " z_1' " seront égales, comme dans le cas (*fig. 3.43.1a - $\alpha_1 > 60^\circ$*).

Pour la valeur " z_1 ", tout est clair (8) mais " z_1' " sera calculé différemment. En fait, il n'y a rien de spécial, juste quelques modifications du numérateur de (8), c'est-à-dire $z_1' = (y_1 x_2 - x_1 y_2) / (x_1 + x_2 + y_1 + y_2)$. C'est la conséquence du changement de position des valeurs initiales (*fig. 3.47*).

Figure 3.47 : Positions relatives des losanges

Dans le cas (*fig. 3.47.2*) la zone en dehors de l'intersection contient un angle obtus qui implique le remplacement de x_2 par y_2 dans la formule (8), tout le reste étant identique. Pour faciliter la compréhension, notez les points suivants : le numérateur est égal à la différence entre les produits des largeurs des secteurs dont les centres sont respectivement à l'extérieur et à l'intérieur de la zone d'intersection.

Parfois, il est commode d'utiliser une formule différente, si $A = (y_1 - y_2)$ et $B = (x_2 - x_1)$ (*fig. 3.47.3*), alors " z " est égal à (11). On peut utiliser n'importe quelle version, les deux sont faciles à utiliser et à analyser.

$$Z = \frac{AB}{A+B} \quad (11)$$

Toutes les étapes suivantes : construction de grilles, leurs connexions et enfin la conception ne changeront pas, tout est semblable (*fig. 3.44 - 3.46*). Nous ne nous y arrêterons pas mais passerons à autre chose.

On ne peut pas parler de l'OP sans mentionner l'étonnante méthode OP{2 ; 3} qui se distingue très clairement, comme la grille BP, de toute la diversité des grilles en forme de losange. Grâce à sa polyvalence et à sa facilité d'utilisation dans la pratique, cette méthode a reçu un nom particulier, OP* (*astérisque*), mettant en évidence sa situation centrale dans les méthodes octogonales.

Qu'est ce qui est unique dans OP* ? Beaucoup de caractéristiques, voyons en certaines :

- la grille OP * peut facilement être construite sur une grille BP normale ;
- densité très élevée de noeuds convenant au choix de centres de champs ;
- tous les côtés d'un champ de base simple sont égaux ;
- L'angle entre les diagonales adjacentes dans un champ est de 45° ;
- il n'y a pas besoin de construire une grille de connexion ; etc

La grille OP* se présente ainsi (*fig. 3.48*).

*Figure 3.48 : Grille unitaire de la méthode OP**

Comme vous pouvez le voir, les centres des champs peuvent être positionnés presque à chaque nœud de la grille BP (*fig. 3.48.1*). En plus, quel que soit l'emplacement du champ, celui-ci aura la même forme symétrique par rapport à n'importe laquelle des diagonales. Les largeurs des secteurs seront seulement de deux ou trois, en alternance l'une avec l'autre (*fig. 3.48.2*). Une cellule de cette grille peut être construite conformément à la Figure 3.49.

*Figure 3.49 : Tracé d'une cellule OP**.

Pour augmenter la taille de la grille, il suffit de diviser les plis parallèles par un nombre, choisi à l'avance, de plis identiques.

La beauté de la conception en OP* est que vous n'aurez pas à faire des calculs supplémentaires pour construire des gabarits de grilles limitées uniquement à une zone d'intersection. Tous les problèmes peuvent être résolus sur du papier quadrillé ordinaire, à l'aide d'un crayon et d'une règle (*fig. 3.50*).

*Figure 3.50 : Conception en OP**

Notez que presque tous les nœuds sont situés sur les nœuds donnés par la méthode (*fig. 3.50.1*). Ils sont définis par les coordonnées sur la grille BP choisie pour la conception (*fig. 3.51*).

Figure 3.51 : Conception sur une grille BP

Les lignes de connexion sont construites très simplement sur les secteurs. Pour ce faire, vous devez déterminer la direction et diviser la distance entre les lignes de la grille en six parties égales, comme le montre la figure 3.50.2. En outre, il n'est pas nécessaire de construire toutes les lignes, elles seront tracées à la demande juste avant le raccordement. Le reste de la conception avec cette méthode est similaire aux HP et BP, avec une utilisation minimale du temps et du papier pour la formation des volets.

Avec cela, nous en avons fini avec l'analyse des grilles combinées et nous revenons au MP. Bien sûr, nous aurions pu examiner cette question plus en détail, car il y avait beaucoup de choses intéressantes en DP et DDP (*fig. 3.52*). Mais, je ne voudrais pas considérer superficiellement des questions très importantes auxquelles plusieurs volumes peuvent être consacrés, nous les considérons dans le prochain livre. Je noterai seulement que ces méthodes sont aussi formées sur l'intersection de plusieurs grilles en losange, après les calculs (8) et (10). Mais, entre autres, il y a là une série de nouvelles nuances qui exigent un examen détaillé distinct.

Figure 3.52 : Patterns structurels en DP {3 ; 5} et DDP {4 ; 7}

PROCEDURE DE CREATION DE PATTERNS DE MODELES MP

Comme il a été déjà dit plus haut, la préférence est donnée au raccordement séquentiel des éléments en conception MP. Regardons comment cela se fait dans un exemple approprié et suffisamment complexe pour couvrir toutes les subtilités de la conception. Pour cela nous choisirons l'arbre des volets de ce modèle (*fig. 3.53*).

La description de processus de conception sera légèrement différente de ce que nous avons fait dans les chapitres sur les BP et HP. Nous considérerons maintenant en détail le raccordement de chaque nouvel élément. C'est nécessaire pour une meilleure compréhension des méthodes MP, et sans les nuances discutées plus loin, la vue d'ensemble des bases du MP ne sera pas complète.

Figure 3.53 : Arbre des volets du modèle "Papillon"

Dans notre exemple, la composition de l'arbre des volets correspond à un papillon qui pourra être obtenu plus tard par pliage. Notez que les longueurs des volets ne sont pas indiquées sur l'arbre, vous en découvrirez les raisons plus loin. Le raccordement séquentiel commence par la sélection d'un champ initial ou d'un bloc entier qui soit facile à obtenir ; nous allons lui raccorder, un à un, tous les autres champs. Pour cet arbre, nous devons choisir comme volet initial, la partie inférieure qui correspond à l'abdomen de l'insecte (*fig. 3.54*). Nous devons construire sa structure et aboutir à une forme qui soit pratique pour les manipulations futures. La décision est motivée par le fait que la phase initiale de la formation ne doit provoquer aucun problème qui rende impossible le raccordement de cette configuration au stade final de la conception.

Figure 3.54 : Le volet initial

Cet élément est souvent utilisé pour le pliage des insectes, afin de donner les segmentations caractéristiques sur l'abdomen. Il y a plusieurs façons de faire cette segmentation dans les différents chapitres. Choisissons l'une des variantes qui a déjà été mentionnée dans ce chapitre (*fig. 3.55*).

Figure 3.55 : Système de rivières MP, formant le genre de volet souhaité

La signification de cette répartition est que les centres de tous les champs sont alignés sur une ligne perpendiculaire à la base du bloc. Ce qui signifie qu'au pliage tous les volets seront constitués d'une seule couche sur la surface extérieure. Cette manière de répartir les superpositions est plus "économique" en termes de l'utilisation du matériau que celle décrite dans le chapitre sur la HP (*fig. 2.21*), parce que chaque nouveau volet du bloc ne sera pas recouvert de couches de papier supplémentaires.

Selon les paramètres choisis pour les rivières et les champs dans le système, les côtés du bloc seront orientés différemment. Examinons notre arbre des volets où la largeur de la rivière est égale à la largeur des champs (*fig. 3.55, droite*). Ici, pour déterminer l'angle d'inclinaison des frontières des champs, par rapport à la base, par calcul, considérons le triangle "ABC". C'est un triangle rectangle car les lignes d'orientation sont les bissectrices des angles formés aux endroits où la trajectoire des rivières est modifiée, c'est à dire que la moitié de l'angle "B" est égale à la moitié d'un angle plat.

Soit "B' ", le point d'intersection entre "AC" et la berge extérieure de la rivière. En se basant sur les données : $\angle BB'C = 90^\circ$; $AB' = 2B'C$ (*fig. 3.55, droite*), donc $(B'B)^2 = 2(B'C)^2$ et par conséquent $(\text{ctg}(CBB'))^2 = (B'B / B'C)^2 = 2$. Maintenant nous pouvons obtenir la valeur de l'angle entre la base et la berge extérieure de la rivière, il est égal à $\angle \Psi = 2(CBB') = 2\text{arctg}(1,4142) = 70^\circ 32'$.

L'angle d'orientation est déterminé de la même façon pour d'autres rapports (*largeur de rivière*) ÷ (*largeur de champ*) : c'est 60° pour "2÷1", et $78,46^\circ$ pour le rapport "1÷2". En général, pour des configurations similaires, si vous choisissez la largeur de la rivière "m" et la largeur du champ "n", l'angle entre la base du bloc et la berge trapézoïdale est égal à (12).

$$\Psi = 2 \text{arctg} \sqrt{\frac{n}{n+m}} \quad (12)$$

De plus, grâce à cette formule, vous pouvez effectuer l'opération inverse : chercher le rapport largeur de la rivière sur largeur du champ. Une telle situation peut se produire si vous souhaitez ajouter une bordure à un volet complexe et que la topographie empêche de changer l'angle d'inclinaison. Alors, la faisabilité d'une telle addition peut être vérifiée (13).

$$\frac{n}{m} = \frac{1}{2} \left(\operatorname{tg}(\Psi) \operatorname{tg}\left(\frac{\Psi}{2}\right) \right) \quad (13)$$

Conformément à ce qui précède, nous raccorderons les champs et les rivières selon l'arbre des volets en utilisant un angle entre la base et la face latérale égal à $70^{\circ}32'$ (fig. 3. 56).

Figure 3.56 : Processus de création du pattern du volet {0 ; d}

L'arbre des volets choisi est symétrique, c'est pourquoi il vaut mieux positionner le centre du champ "0-e" sur l'axe de symétrie qui passe par les centres des bases du trapèze*. Nous pouvons ainsi augmenter ou diminuer la largeur de la partie centrale du champ (fig. 3.57.2), de zéro à l'infini, sans affecter l'arbre des volets d'origine. Autrement dit, nous pouvons "ajuster" la largeur de la partie centrale en fonction de la forme du champ raccordé à la partie supérieure (fig. 3.57.3).

* C'est cette figure géométrique nous avons obtenu pour le bloc {0 ; d} (fig. 3.55).

Figure 3.57 : Ajustement de la partie médiane du bloc d'origine

La longueur du volet en MP : sa valeur n'est pas aussi importante qu'en BP ou HP*. Certes, il est possible de calculer rigoureusement les proportions de tous les champs et leurs formes comme dans le système de superposition de grilles (*fig. 3.55*). Cependant, en MP, la partie calcul est parfois si compliquée qu'il est très difficile d'en parler, même avec des ingénieurs. Je pense que de telles nuances ne sont pas intéressantes pour les fans de l'approche artistique de la conception. Par conséquent, à l'avenir, nous ferons varier la longueur des volets dans des limites acceptables pour obtenir le raccordement le plus efficace sans surcharger le processus de création du pattern avec des développements mathématiques. Ne vous inquiétez pas, vous ne sentirez pas la différence de longueur entre "r" ou 1,2 "r" pour un volet**, mais vous aurez la possibilité de choisir arbitrairement la forme des champs, contrairement aux HP et BP.

Choisissons donc la forme du champ "0-e", basé sur la longueur approximative du volet, de telle sorte que toutes les lignes forment le système fermé (*fig. 3.58*).

Figure 3.58 : Raccordement du champ "0-e" et du bloc $\{0 ; d\}$

Pour faciliter la conception ultérieure, nous avons choisi un champ carré, fixant ainsi l'orientation de l'ensemble des lignes connexion passant par la partie centrale du modèle.

* Sauf pour la conception dans une grille unique RP ou NP.

** Soit dit en passant, c'est pour cette raison que la longueur des volets n'est pas indiquée sur l'arbre des volets 3.22.

N'oubliez pas qu'en choisissant la forme d'un champ, nous choisissons également l'orientation des lignes de connexion, et donc nous devons simplifier cet élément pour de nouveaux raccordements. Les champs avec un grand nombre de côtés, même s'ils nous permettent d'économiser le matériau papier, peuvent grandement compliquer les raccordements d'éléments au début de la conception. De plus, le champ lui-même n'est pas aussi grand que le bloc $\{0; d\}$ et donc la différence en consommation de papier sera relativement faible. Vous pourriez vous demander : " Alors pourquoi pas un champ triangulaire, le raccordement est plus commode et plus facile à former ?" Mais imaginez-le une fois plié. Ce champ est situé sur l'axe de symétrie et le volet sera dirigé vers le haut après pliage en accordéon. Cela signifie que faire revenir le volet à plat nécessite des manipulations supplémentaires (si elles sont d'une aide quelconque). Soit dit en passant, le même sort attend tout champ symétrique avec un nombre impair de côtés. L'habitude d'une telle analyse et de prendre des décisions en conséquence viendra avec l'expérience.

Notez que le centre du champ carré est situé sur le prolongement d'une ligne de connexion (*fig. 3.58.2*). Ceci est le résultat de la réunion de deux conditions. Tout d'abord, l'orientation de la frontière assure l'orientation perpendiculaire du volet "0-e" et d'autre part, avec l'emplacement du centre du carré, la longueur du volet formé est à peu près deux fois la longueur de l'empilement "a, b, c, d", ce qui convient pour l'arbre des volet donné.

Après avoir choisi la forme du champ et la position de son centre, nous avons en même temps corrigé la largeur de la partie centrale du bloc $\{0; d\}$ (*fig. 3.58.3*). Ainsi, la formation du bloc initial est terminée (*fig. 3.58.4*). D'autres raccordements seront faits ainsi (*fig. 3.59*). Ceci est planifiable à l'avance.

Figure 3.59 : Ordre de raccordement des éléments supplémentaires

Dans ce schéma, les différentes parties de la forme de base sont numérotées :

" 0 " - volet de départ (abdomen) ;

" 1 " " 1' " - ailes ;

" 2 " , " 2' " - pattes ;

" 3 " - volet pour la tête.

Nous raccorderons d'abord les ailes, puis les pattes et la tête en dernier. La séquence de raccordement des volets est dans l'ordre alphabétique pour chaque partie. Notez que les parties " 1 " et " 1' " et aussi " 2 " et " 2' " sont symétriques les unes par rapport aux autres. Donc, comme pour la plupart des modèles symétriques, nous allons faire la moitié du pattern final et nous prendrons l'image miroir. Les ailes et les pattes partent du même point sur le volet de départ, donc leurs champs se toucheront le long des frontières sur le pattern . Nous considérerons la tête un peu plus tard.

Donc, nous commençons d'abord par la conception de la première partie (ailes). Comme vous pouvez le voir, les deux ailes sont raccordées en "0" au volet de départ. Nous désignerons leurs centres par "a" et "b" et considérerons leur raccordement séquentiel, en fonction de la structure existante des champs et des rivières. Si, dans les autres méthodes, nous aurions tout d'abord tracé la structure de l'ensemble du bloc, en MP nous raccorderons séquentiellement, en contrôlant la continuité des lignes de connexion. Nous commençons par "0-a" (fig. 3.60).

Figure 3.60 : Raccordement du champ "0-a", donnant une aile

Dans ce cas, il est recommandé de placer le centre du champ comme indiqué sur la figure 3.29.1. D'abord, les lignes de connexion ne sont pas interrompues ; ensuite la longueur du volet dépendra des limites admissibles pour la conception ; enfin, l'orientation de "0-a" coïncide avec l'orientation des éléments mobiles du volet de départ.

Pour obtenir la frontière du bas du champ pour le volet "a" (fig. 3.60.2), vous devez choisir le point où la ligne d'orientation touchera la frontière du bloc de départ.

Il est évident qu'il est nécessaire de choisir un tel point sur la frontière tel que cela évite la formation de nouvelles lignes de connexion. En d'autres termes, il doit se trouver sur une ligne de connexion, nous choisissons le point "O". Il reste maintenant à tracer la tangente au cercle, dont le rayon correspond la longueur du volet, et à faire se refléter les lignes de connexion le long de la ligne "a-O".

Un tel raccordement du bloc avec le volet est tout à fait raisonnable et pratique, aussi bien pour la conception ultérieure et pour le pliage. Nous resterons avec cette configuration mais nous allons dévier un peu du sujet en envisageant la situation où la longueur désirée du volet est plus grande que ce que nous pouvons obtenir dans ces circonstances. Dans ce cas, le MP est très pratique pour utiliser la propriété géométrique suivante (*fig. 3.61*).

Figure 3.61 : Constructions géométriques

Si la ligne "a" coupe les côtés de l'angle "A" en deux points "B" et "C", les bissectrices des angles en "A", "B" et "C" se coupent en un point unique* (*fig. 3.61.1*).

Quelle utilité pour l'origami découle-t-elle de cette simple propriété géométrique ? Considérons la figure 3.61.2. Supposons que nous ayons un champ avec un centre "a" (*la frontière du champ est délimitée par les côtés des angles "x" et "y"*). À un certain moment, nous avons décidé d'augmenter la longueur du volet et nous ne voulons pas changer en même temps la position du point de référence "a"**. D'après la propriété, nous pouvons simplement prolonger de la longueur nécessaire jusqu'à une ligne de connexion voisine de "a" et, en construisant le bord avec les tangentes communes, obtenir le champ formant le volet désiré. Soit dit en passant, les deux configurations discutées dans la section "grilles en losange" sont construites de façon similaire (*fig. 3.32 et 3.33*).

Je vais montrer clairement comment cela se déroule, pour notre exemple (*fig. 3.62*).

* La démonstration est très simple : il suffit de noter que les bissectrices des angles "B" et "C", qui se croisent au point "D", y seront à égale distance de la ligne "a" et d'un côté de l'angle "A", ce qui implique que le point "D" appartient aussi à la bissectrice de l'angle A.

** Peut-être en raison de la complexité de calculs précédents ou pour la facilité du raccordement.

Figure 3.62 : Extension du champ à partir d'un point fixe

Si nous avons besoin d'augmenter la longueur d'un volet MP, venant d'un arbre du modèle erroné, nous pouvons utiliser l'algorithme suivant :

- Prolonger la distance sur une ligne de connexion voisine, égale à ce qui est voulu, et obtenir le point " a' " ;
- Traçer le cercle avec le nouveau rayon ;
- Réfléter les lignes de connexion sur la ligne " aa' " ;
- Traçer la tangente au cercle au niveau du point d'intersection avec la réflexion de la ligne de connexion passant par " a' " (fig. 3.62.1) ;
- Obtenir le point "y" à l'intersection de la tangente et de la frontière verticale du bloc initial;
- En reliant le point "y" au point "a", nous obtenir la nouvelle ligne d'orientation du champ ce qui finit par donner un volet de la taille voulue.

Alors, en ne laissant que les lignes de pliage, nous obtenons un secteur angulaire du pattern du champ élargi* (fig. 3.62.2).

Pour en revenir à notre configuration, rappelons-nous de ce que nous ajoutons au modèle de papillon : des ailes qui doivent être plus larges que la largeur du volet au niveau du raccordement. La façon la plus rationnelle pour augmenter la largeur d'une quantité requise est d'étendre le champ**. Ici, cette manipulation va ressembler à ceci (fig. 3.63).

* Cette méthode d'augmentation de la longueur du volet à la conception est appelée une extension du champ sur un point fixe.

** J'ai brièvement mentionné cette question dans les chapitres précédents, lors de la description du champ rectangulaire et diverses transformations des rivières fermées.

Figure 3.63 : Étirement du champ MP

Comme le rayon a été préservé, la ligne joignant les points " a " et " a' " est perpendiculaire aux lignes de connexion.

Il est possible d'étendre encore plus le champ mais ce n'est pas nécessaire dans ce cas ci car la largeur du volet étendu est suffisante pour former les ailes du papillon. L'étape suivante consiste à tracer la tangente au cercle de centre " a' " passant par le point d'intersection entre le bord du bloc initial et sa dernière ligne de connexion, nous obtenons la frontière du bas du volet "0-a" (*fig. 3.63.2*).

Maintenant laissons un peu de côté le volet "0-a" et passons au volet "0-b" (*fig. 3. 64*). Ceci est nécessaire pour obtenir le reste du champ, avec une distance fixe entre les lignes de connexion.

Figure 3.64 : Raccordement du champ "0-b" le long de la frontière du bas

L'algorithme de raccordement est le même mais maintenant le raccordement est effectué par rapport aux lignes du champ "0-a".

Pour cela faire, après avoir obtenu la frontière du bas du champ "0-a", nous construisons des lignes de connexion du même pas et nous marquons la longueur "0-b", selon l'arbre des volets (*fig. 3.64.1*). Ensuite les côtés des deux champs sont facilement complétés. La figure 3.64.2 montre le pattern résultant des éléments raccordés jusqu'ici. Le raccordement des ailes est terminé.

Nous passons maintenant à la partie des volets qui donneront des pattes (*fig. 3.59. (2)*). Qu'avons nous ? Trois volets semblables provenant d'un seul point. Par analogie avec les étapes précédentes du projet, nous choisissons l'endroit où le sommet du premier champ sera le plus pratique à placer, sur le prolongement des lignes de connexion existantes. Comme vous pouvez le voir sur l'arbre, la longueur d'un tel volet est approximativement (*à l'oeil*) égale à la moitié de la longueur de l'aile, obtenue à l'étape précédente. Sur la base de cette proportion, nous raccorderons le champ "0-a" avec bloc obtenu précédemment, pour donner une patte (*fig. 3.65*).

Figure 3.65 : Raccordement des champs des pattes "0 a" et "0-b" sur le bloc construit

Pour choisir la position des centres des champs, nous respecterons comme toujours les trois conditions de base pour le raccordement d'éléments MP :

- *Le centre du champ se situe à l'intersection de lignes de connexion ;*
- *Le rayon du champ est approximativement égal à la longueur de la "branche" sur l'arbre des volets ;*
- *le volet doit avoir la bonne orientation par rapport au plan de la feuille (sur la base des caractéristiques du projet).*

L'orientation du volet par rapport au plan de la feuille définit sa couleur lors du pliage. C'est-à-dire qu'en plus des différentes positions spatiales, les volets orientés différemment seront de couleurs différentes après pliage, si vous utilisez du papier double-face. Dans notre exemple, le changement de couleur n'étant pas spécifié dans les conditions, l'orientation peut donc être conservée ; en plus ces volets sont faciles à plier.

Comme il a déjà été décrit dans les chapitres précédents, pour que les orientations de volets adjacents correspondent, il faut que les lignes de connexion entrant dans les centres des champs aient une orientation identique (*vallée-vallée, montagne-montagne*). Dans notre cas (*fig. 3.65.1*), cette condition est satisfaite, puisque le centre "a" du champ et l'un des centres du bloc sont reliés.

Cependant, le rayon du champ raccordé est légèrement plus grand que la moitié de l'aile mais il est toujours dans des limites acceptables. Et, comme dans l'étape précédente, nous obtenons un autre volet (*fig. 3.65.1*) qui respecte les conditions de raccordement.

Comme vous l'avez probablement remarqué, le rayon du deuxième champ est légèrement plus petit que le rayon du premier mais il reste dans les limites des valeurs admissibles. De plus, le rayon du premier champ était un peu plus grand que voulu. Encore une fois, si vous voulez une précision mathématique, vous pouvez toujours étendre le champ sur un point fixe. Ce n'est pas le but de cette partie pratique, le plus important est d'apprendre à raccorder des champs MP avec les moyens disponibles : gabarit, compas, règle ou éditeurs graphiques. Vous pouvez apprendre par vous-même les manipulations précises en étudiant, par exemple, des patterns qui se trouvent en grand nombre sur Internet. Voici plusieurs façons de modifier la largeur des champs que j'utilise moi-même dans la pratique (*fig. 3.66*).

Figure 3.66 : Ajustement de la largeur du champ de la patte "0-b"

Dans la figure 3.66.1, le champ est élargi sur un point fixe. Cette méthode a été décrite en détail dans ce chapitre (*fig. 3.61*), nous ne nous y arrêterons pas. Nous remarquerons seulement que que l'épaisseur du volet plié sera un peu plus grande qu'avant l'extension. Ceci, à son tour, peut ajouter une certaine complexité au le pliage final parce que le volet sera composé d'un plus grand nombre de couches.

La figure 3.66.2 montre comment ajuster la largeur du volet en introduisant *un champ fictif*. De quoi s'agit-il ?

Notez que le champ introduit a la forme d'un coin avec un écartement "x" au sommet (fig. 3.66.2), notre champ (*en utilisant le même rayon*) est déplacé vers le haut, avec une orientation différente des lignes de connexion. Ainsi, en faisant varier l'angle du coin, vous pouvez trouver une valeur de "x" donnant la position désirée du centre du champ. En général, les valeurs de ces angles sont trouvés en résolvant des équations trigonométriques, en fonction de chaque cas particulier des champs. En ce qui concerne le champ fictif, vous pourrez vous en débarrasser plus tard en l'incluant dans un nouveau champ ou dans une des couches d'une rivière. Il est important de noter que lorsque vous introduisez un champ fictif, une nouvelle ligne d'orientation apparaît (*ligne trait-point en noir*) sur laquelle les lignes de connexion se refléteront.

Revenons à notre modèle, passons maintenant au raccordement du champ "0-c". Il n'y a rien de nouveau, nous faisons comme d'habitude. Sur le prolongement des lignes de connexion, dont l'orientation fait coïncider les centres des champs déjà réalisés, nous traçons un cercle de rayon égal à la longueur de "0-c", pris sur l'arbre des volets (fig. 3.67).

Figure 3.67 : Pattern final obtenu après raccordement du groupe des champs des pattes de gauche

Il reste à raccorder le bloc de la tête aux blocs gauches obtenus jusqu'à présent et le pattern MP final pour l'arbre sera achevé. Notez que l'éventail des volets faisant partie de la tête (fig. 3.59) est éloigné du point "0" par la distance "0-1". Cela signifie que le bloc sera séparé du reste par la rivière de largeur "0-1" (fig. 3.68).

Figure 3.68 : Construction de la rivière "0-1"

La largeur de la rivière a été placée le long du bord extérieur "0" du bloc d'origine (fig. 3.58). Les lignes d'orientation définissent des secteurs d'orientation dans cette zone. Nous effectuerons les opérations qui suivent en fonction du carré dont nous choisirons les limites pour plier le modèle (fig. 3.69).

Figure 3.69 : Sélection des limites de la zone de pliage

Commençons par le champ du volet central "1-c" et mettons-le à l'intérieur des marais dans la partie centrale inférieure du bloc (*fig. 3.69.1*), en gardant à l'esprit que nous ne sommes pas intéressés par la forme complète du champ, seulement la partie comprise à l'intérieur du carré. Par conséquent, nous remontons la limite inférieure (*noir pointillé*) jusqu'au centre avec " $r = 0$ " (*fig. 3.69.2*) et nous traçons les lignes de connexion. Après avoir obtenu une limite inférieure de la zone de pliage, nous passons à la dernière partie du projet MP.

D'après l'arbre des volets (*fig. 3.59*), $1-e=1-a$, $1-d=1-b$. Par conséquent, en tenant compte de la symétrie, nous couvrirons la zone "?" (*fig. 3.69.2*) avec les volets «1e» et «1d», puis nous refléterons le résultat dans un miroir.

La surface combinée des champs "1e" et "1d" est assez petite et nous pouvons facilement resserrer au maximum les bords de la feuille pour nous débarrasser des excès de matériau papier pour le pliage. Ainsi, dans notre cas, nous pouvons déterminer les frontières définitives du carré. En Résumé : le bord gauche passera par le centre du champ responsable de la patte du "bas" (champ de la patte "0-a") et le haut viendra compléter la forme carrée de la feuille.

Nous arrivons à la formation du champ du volet "1-d" (*fig. 3.70*).

Figure 3.70 : Raccordement des champs du bloc de la tête

Après avoir placé le centre du champ du volet "1-d" sur les bonnes lignes de connexion, nous traçons les tangentes au cercle le long des méandres de la rivière (*fig. 3.70.1*). Cela forme un marais (zone - "?") qui doit être rempli.

Ceci peut se faire en modifiant une partie de la trajectoire de la rivière formant le champ du volet "1-d" mais ce n'est pas nécessaire pour l'instant.

Notez qu'au point "1" commence la tête, dont la forme finale dépendra fortement des plis. Nous pouvons difficilement prédire son aspect avant de la réaliser, c'est pourquoi nous insérons **un champ en hauteur "1-x"** (similaire au volet de la figure 3.17), comme indiqué dans la figure 3.70.2. Sur le pattern final, il y aura un champ identique, symétrique par rapport à l'axe. En pliant la base et en redressant les volets en hauteur le long de la ligne de jonction, nous obtenons alors une surface plate sur la tête du modèle qui ne forme pas de volets orientables.

En ce qui concerne le volet "1-d", il vaut mieux l'étendre au maximum parce que le petit volet "1-e" a déjà trop d'espace. Pour cela, il suffit d'étendre simplement le champ "1-d" dans la direction "d-d'" sur un point fixe (fig. 3.70.2).

Ensuite, nous raccordons le champ du volet "1-e" (fig. 3.71) sur l'ensemble du pattern obtenu jusqu'à présent.

Figure 3.71 : Raccordement du champ du volet "1-e"

S'il est raccordé d'une façon standard (fig. 3.71.1), toutes les conditions seront remplies et l'arbre des volets sera fini ; cependant la forme des rivières "A" et "B" compliquera quelque peu le pliage. Ceci peut être corrigé en modifiant la forme du champ du volet de la patte supérieure "0-a" (fig. 3.71.2). Donc nous simplifions le raccordement et facilitons le pliage du modèle.

En principe, la conception du pattern final du modèle est terminée, car pour obtenir les blocs "2'" et "3'", il suffit de faire le reflet symétrique des blocs "2" et "3" par rapport à l'axe. En conséquence, le pattern du papillon ressemblera à la Figure 3.72.

En conclusion, je tiens à souligner que les techniques de base de raccordement des champs MR ont été décrites dans la partie pratique. D'une manière analogue, vous pouvez raccorder non seulement des champs mais aussi combiner des blocs MP entiers faits avec différentes méthodes (RP, HP, DP, ...). Cela peut être très commode, surtout pour faire une frontière de raccordement en ligne droite sur une grille unitaire, c'est trois fois rien (des acrobaties que nous avons déjà à plusieurs reprises). Le reste, comme on dit : "est affaire de technique".

Figure 3.72 :Pattern final du modèle MP

GAUFRAGE

Les chapitres précédents de ce livre décrivent en détail le processus de conception en BP, HP et MP. Chacune de ces méthodes a ses propres caractéristiques, grâce auxquelles les patterns et les modèles finaux sont très différents en apparence. Ce qui les unit, c'est que le processus de pliage des volets implique des lignes de connexion dont la direction est alternée et qui, une fois pliées, forment une sorte d'accordéon. Dans ce chapitre, nous allons étudier les façons d'enjoliver les volets par l'utilisation de ces accordéons, à savoir leur donner une forme ondulée.

Cette façon de transformer le plan d'un accordéon ordinaire est appelée gaufrage ou fronçage. Il peut être utilisé avec le même succès dans toutes les méthodes ci-dessus.

Figure 4.1 : Modèles conçus à partir du gaufrage

Les gaufrages sont très beaux et d'une grande diversité. Il est parfois difficile de croire que le gaufrage est fait sur la base des plis en accordéon habituels. La réalisation de ces formes fascine, malgré la durée et la difficulté de pliage. Absolument tout le monde peut trouver quelque chose à son goût dans le gaufrage.

Certains préféreront la transformation classique du plan, d'autres utiliseront le gaufrage pour créer une forme de rotation et d'autres encore par la possibilité de transformation libre du plan du gaufrage qui, grâce à sa structure, peut facilement se déformer de plusieurs façons. Le gaufrage peut être compliqué et modifié, de nouveaux éléments peuvent être ajoutés pour changer sa forme, qu'elle soit de type standard ou de rotation, des volets séparés peuvent être inclus dans sa composition et bien plus encore.

À l'heure actuelle, le gaufrage est un genre d'origami très populaire. Sur internet, il y a presque tous les jours de nouvelles variétés de gaufrage et des versions de gaufrages de formes les plus fantastiques.

Dans ce chapitre, nous considérons l'utilisation du gaufrage dans les méthodes linéaires en général. Nous prêterons aussi attention à la conception individuelle des formes en rotation à partir de bandes rectangulaires gaufrées. L'objectif de ce livre n'est pas une description séparée et complète de toutes les nuances du gaufrage, il est possible d'écrire un livre sur ce seul sujet. Donc nous resterons juste sur les bases, avec lesquelles vous pouvez facilement utiliser le gaufrage lorsque vous concevez avec les méthodes linéaires. Pour ceux qui souhaitent apprendre plus profondément ce genre d'origami, les informations contenues dans le présent chapitre peuvent servir de bon "point de départ" pour explorer le gaufrage.

GAUFRAGES PLATS

Si le gaufrage reste dans le plan des plis en accordéon et que sa forme ne change pas leur direction globale (*l'angle de la tangente*), alors un tel gaufrage est appelé **plat**.

Figure 4.2 : Transformation de plis en accordéon en passant par des lignes d'orientation

Le gaufrage plat est formé par des lignes d'orientation à travers lesquelles les plis en accordéon (*fig. 4.2*) prennent la forme désirée.

Dans la figure 4.2.1, les lignes d'orientation sont marquées par des lignes en pointillés.

Comme nous le savons d'après les règles de Kawasaki, les lignes de connexion qui les traversent poursuivent leur mouvement, après déflexion sur l'autre face, de la même manière que les lignes de connexion à l'intérieur des champs.

Naturellement, les lignes de connexion pliées en accordéon conservent leur orientation par rapport au plan de la feuille. Ceci permet de reconstituer facilement de l'orientation de toutes les lignes formant le pattern. En ce qui concerne le pliage, les éléments gaufrés seront pliés de la même manière que les secteurs d'orientation (*fig. 4.3*).

Figure 4.3 : Pliage d'un champ gaufré

Revenons au raccordement. Le raccordement de couches composites en accordéon est identique à celui des méthodes linéaires, par conséquent les volets sont construits à partir des lignes d'orientation. Seulement ici, les gaufrages ne sont pas complètement pliés et leur structure interne est exposée "à la vue". D'ailleurs, ce pliage incomplet est parfois utilisé pour transformer la forme des volets en leur donnant un aspect gaufré sans introduire de gaufrages supplémentaires.

Bien sûr, la figure 4.3 montre un exemple simple mais pour aller plus loin, vous avez besoin de comprendre comment les lignes d'orientation affectent la structure globale des gaufrages. Si nous "peignons" ce gaufrage aux couleurs "des champs et des rivières", alors nous obtenons un ensemble de rivières ouvertes, les unes à côté des autres (*fig. 4.4*).

Figure 4.4 : Structure interne du gaufrage

Notez qu'ici nous appliquons les mêmes lois que celles que nous avons décrites dans les méthodes précédentes. Mais si, lors de la conception des modèles, nous avons essayé d'éviter les rivières qui changent souvent de direction, c'est ici nécessaire, au contraire, parce que ces rivières sont le fondement des gaufrages. Notez que les lignes de plis en accordéon reprennent leur direction initiale après avoir traversé les lignes d'orientation des gaufrages "X" (*nous appellerons cette zone un canal*). Ce point important devait être souligné.

Le retour à la position de départ, rend possible la réutilisation du canal (*fig. 4.4.3*) sur la suite des plis en accordéon. C'est une façon de faire des gaufrages assez courante, elle facilite d'ailleurs grandement le processus de raccordement et l'application répétée des lignes d'orientation au moyen d'un simple report avec décalage parallèle. Naturellement, il est possible de changer les canaux avec les répétitions : les refléter ou les transformer selon différents types de manipulations. Cependant, il faut toujours satisfaire une condition : les lignes de plis en accordéon doivent revenir à leur position initiale.

Il faut noter que les canaux d'un gaufrage peuvent être de forme irrégulière. Le choix dépend de la structure que vous voulez obtenir. De telles manipulations sont fréquemment mises en oeuvre par les maîtres du gaufrage (*fig. 4.5*) mais leur application pratique et leur utilisation va bien au-delà de la portée de ce chapitre. Notons seulement que dans de tels cas, lors de la conception de la structure des gaufrages, nous devons nous conformer à la préservation exacte des plis en accordéon lors du passage d'un canal à l'autre, quelle que soit la trajectoire des rivières à l'intérieur des canaux.

Figure 4.5 : Schéma structurel de circulation des rivières à l'intérieur des canaux

Revenons maintenant aux canaux rectangulaires qui sont le plus souvent utilisés dans le contexte des méthodes linéaires. Ainsi, par exemple, les plus populaires d'entre eux (*fig. 4.6*) se composent également d'un système de canaux rectangulaires.

Figure 4.6 : Schémas de gaufrages courants

Notez que les rivières formant un gaufrage dans les figures 4.6.1 - 4.6.1a sont parallèles entre elles, et dans les figures 4.6.2 – 4.6.2a elles sont en miroir, et elles peuvent être modifiées pour maintenir l'orientation des lignes des plis en accordéon. En ce qui concerne les autres gaufrages (*fig. 4.6.3 - 4.6.3a*), l'ensemble du canal rectangulaire est formé par une rivière complexe, constituée par trois rivières simples. Les berges de cette rivière sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux lignes de connexion, de sorte qu'il est toujours possible de reconnexion. Ainsi, l'analyse des rivières entrant dans la composition d'un canal permet de concevoir toutes sortes de gaufrages plats.

Il peut sembler difficile de deviner la forme finale d'un pattern gaufré mais ce n'est que la première impression. Après vous être fait la main, vous pourrez facilement apprendre comment obtenir les formes dont vous avez besoin. Un peu de patience et ce domaine de l'origami vous sera très utile pendant la conception en origami, y compris pour la décoration de volets classiques par des fronces.

GAUFRAGES CURVILIGNES

Comme vous le savez, les gaufrages ne sont pas toujours strictement plans. Vous avez probablement rencontré des œuvres basées sur l'utilisation de gaufrages aux surfaces courbes. L'un utilise le gaufrage pour créer différentes formes de rotation, l'autre pour représenter des surfaces irrégulières, comme les ondulations de l'eau, etc. Ce type de gaufrage est appelé curviligne.

Pour comprendre comment convertir la forme longitudinale droite de l'accordéon simple en une courbe lisse, voyons ce qu'est la courbe en termes d'origami et comment la répétition de la forme d'une bande de papier peut donner une surface gaufrée.

Dans ce contexte, la courbe est considérée comme une ligne dont la pente de la tangente n'est pas constante. La figure 4.7.1 montre l'une d'elles.

Figure 4.7 : Courbe et sa projection à l'intérieur du canal

Comme vous pouvez le voir, la pente de la tangente change tout du long. Pour notre problème, il est important de noter que parfois elle change à certains endroits et que parfois (dans les sections droites) elle conserve sa valeur.

Nous allons omettre les dérivées et l'analyse rigoureuse, le but du livre étant l'application pratique des différentes méthodes de conception. Nous allons donc regarder comment, en pratique, vous pouvez imiter la forme de courbes, en utilisant des couches de plis en accordéon.

Naturellement, imiter entièrement l'image de la courbe, en préservant absolument toutes les courbures, ne marchera pas, il suffit donc de trouver les frontières d'une bande, au-delà desquelles la ligne ne sortira pas (*fig. 4.7.2*).

Comme le gaufrage est formé par des transformations de plis en accordéon, la largeur de bande doit être choisie constante et égale à la distance entre des lignes de connexion adjacentes. Grâce à cela, les gaufrages peuvent être "tissés" sans manipulation supplémentaire des champs. Donc, plus le pas des plis en accordéon sera petit, plus la courbe sera décrite avec précision.

Voyons d'abord le moyen plus simple et le plus visuel de transformer des plis en accordéon. Il est basé sur un canal qui réplique la courbe d'origine. La manipulation sera ici effectuée directement sur l'accordéon. Il n'est pas nécessaire que les mêmes plis en accordéon soient préservés dans les sections rectilignes. Elles peuvent être librement remplies de rivières ouvertes, comme pour les gaufrages plats (*fig. 4.4*). En d'autres termes, tout le long, la transformation sera utilisée pour passer d'une section rectiligne du canal, dans laquelle la courbe est placée, à la section suivante, et ainsi de suite. À l'intérieur de chacune d'entre elles, les mêmes règles que pour les gaufrages plats seront utilisées.

Pour obtenir ce pattern de transition de gaufrages, il faut commencer par créer des lignes de pli aux points d'inflexion des différentes sections. Pour cela, nous nous servirons d'une mince bande de papier dont la largeur est égale à la distance entre les lignes de connexion. La longueur des segments de bande responsables des sections rectilignes pourra être ajustée par la suite (*en fonction des gaufrages plats ajoutés*). Un exemple du processus d'obtention des lignes de pliage sur une bande séparée est représenté sur la figure 4.8.

Figure 4.8 : Processus de création du canal, l'enveloppe de la courbe, en utilisant une bande de papier

Comment fait-on ? Je vais vous l'expliquer étape par étape. La ligne "y(x)" de la figure est la courbe que vous souhaitez recouvrir avec la bande de papier de largeur "a". Naturellement, la courbe et la bande doivent être représentées à la même échelle que celle de la partie restante de l'arbre des volets, pour éviter une incompatibilité entre la taille du modèle et les dimensions du gaufrage.

Environ à l'endroit où la ligne va changer de trajectoire, tracer un canal de largeur égale à la largeur de la bande, en l'occurrence la valeur "a". Comme le montre la figure, l'image du canal croise la bande en quatre points. Si nous plions en passant par des points opposés, la bande coïncidera avec le canal dans une des directions (*selon les points opposés nous avons choisi*). Les points dont nous avons besoin apparaissent en blanc sur une vue agrandie de l'image (*fig. 4.8.1*). Ensuite, nous enchaînons avec les tournants significatifs suivants de la ligne (*fig. 4.8.2-3*).

Suite aux actions des figures 4.8.1-3, nous obtenons les lignes d'orientation sur la bande simple (*fig. 4.8.4*). Maintenant, nous devons obtenir l'image du pattern pour toutes les couches du gaufrage. Il suffit de faire se réfléchir les lignes de pliage de la bande par rapport à ses bords à chaque changement de couche (*fig.4.9*).

Figure 4.9 : Réflexions des lignes d'orientation de la bande

Par la suite, vous pouvez aussi étirer les sections rectilignes en façonnant les rivières ouvertes de l'accordéon, ce qui transforme le gaufrage. Pour cela, une condition doit être satisfaite : la longueur de la zone rectangulaire doit être égale à la largeur totale de toutes les rivières qui la composent. Après la détermination de l'orientation des lignes du CP (*de manière séquentielle, pli à pli*), nous obtenons le pliage (*fig. 4.10*).

Figure 4.10 : Pliage du gaufrage d'après le pattern

Il est tout à fait possible d'aboutir à la même image de courbe simplement en changeant le nombre d'éléments du gaufrage, ce qui modifie légèrement sa forme.

Ainsi, par exemple, une transformation courante des gaufrages en zig-zag, le long de cette ligne " $y(x)$ ", apparaît comme suit (*fig. 4.11*). Toutefois, c'est plutôt fastidieux et pas toujours opportun.

Figure 4.11 : Une autre manière de créer un gaufrage pour la courbe

Bien que les lignes d'orientation du pattern (*fig. 4.11.2*) aient été obtenues en utilisant le même algorithme que dans le cas précédent.

C'est-à-dire :

- Les lignes de plis sont définies sur une simple bande de papier, de la taille du pas de l'accordéon ;
- Les plis de la bande sont reflétés symétriquement par rapport aux lignes de connexion adjacentes.

Malheureusement, une telle complication aboutit fréquemment à ce que beaucoup de lignes d'orientation ne soient pas parallèles. Avec un grand nombre de plis, les gaufrages deviennent très laborieux, sans parler du fait que leur mise en place n'est pas une tâche facile. Bien sûr, si vous vous fixez pour objectif d'obtenir exclusivement ce gaufrage, en fin de compte, tout finira toujours par arriver !

Personnellement, j'ai une politique avec le gaufrage : le gaufrage ne doit être utilisé que sur des endroits limités. Cela facilite grandement le pliage et l'apparence du modèle n'est pas particulièrement affectée, surtout si l'accordéon contient beaucoup de couches.

GAUFRAGE ET FORME DE REVOLUTION

Les gaufrages curvilignes peuvent être utilisées de diverses manières, y compris pour la création de formes de révolution. Considérons un corps arbitraire en rotation (*fig. 4.12*).

Figure 4.12 : Structure d'un corps en rotation

Une forme de révolution est un volume dont la surface est le résultat de la rotation d'une ligne continue autour d'un axe. En "langue" des gaufrages en origami cela signifie que, pour obtenir la forme désirée, il suffit d'obtenir la structure de la courbe de révolution et d'assurer sa continuité, jusqu'à la connexion des bords. Nous savons déjà comment obtenir la courbe de révolution. Il ne reste plus qu'à faire un gaufrage assez large pour être en mesure de connecter ses bords, en étirant le gaufrage jusqu'à la taille nécessaire.

Il y a différentes façons de connecter les bords. Vous pouvez, bien sûr, le faire en "origami pur", en mettant une couche contre l'autre mais il est possible que la fixation soit plutôt faible et qu'elle se défasse sous la tension. Dans ce cas, il est possible d'avoir recours à la colle. Une goutte de colle sur le bord du gaufrage, à mon avis, ne fera pas de mal, en particulier dans les cas où le modèle est utilitaire, comme un abat-jour pour une lampe ou un vase (*c'est à dire, si vous voulez garantir sa durabilité à l'usage*). Si vous le souhaitez, la forme de révolution peut être pliée dans du papier d'aluminium. Ce papier garde parfaitement la forme et il n'y a pas besoin de colle pour le fixer.

Nous allons montrer le processus de création d'une forme de révolution au moyen d'un gaufrage par l'exemple de la conception d'un modèle de cruche (fig. 4.13).

Figure 4.13 : Processus d'obtention du gaufrage pour la surface de révolution

- Représenter la coupe du modèle en révolution choisi pour le pliage* ;
- Déterminer la courbe de révolution. Dans notre cas, toute la longueur du périmètre depuis l'intersection de l'axe de rotation avec le fond de la cruche jusqu'à celle avec le col (fig. 4.13.2) ;
- Tracer la forme de révolution approchée dont nous avons besoin pour insérer pour la transformation de l'accordéon (fig. 4.13.3) ;
- Transformer la bande de la largeur du pas des plis de l'accordéon** (fig 4.13.4).

*C'est nécessaire pour définir la courbe de révolution utilisée pour créer le modèle.

**Si votre expérience le permet, vous pouvez insérer directement le gaufrage sur la section rectiligne. Sinon, il faut d'abord obtenir les lignes d'orientation et ensuite les déployer sur la largeur du canal choisi pour le gaufrage.

Après avoir plié la courbe de révolution (dans sa forme convertie pour le pliage), nous obtenons le pattern final du gaufrage en reflétant le pattern de la bande par rapport aux lignes de l'accordéon. Dans notre cas, il ressemble à la figure 4.14.1.

Figure 4.14 : Processus d'obtention d'un gaufrage pour un volume de révolution

Le pattern est plié séquentiellement, les lignes transversales les unes après les autres, transformant en même temps l'accordéon plat. Nous obtenons comme résultat le gaufrage curviligne suivant (fig. 4.14.2). Son largeur totale* doit être suffisante pour pouvoir réunir les bords de l'accordéon sans problème** (fig 4.14.3).

LES GAUFRAGES DANS LES METHODES LINEAIRES

Comme nous l'avons déjà dit, les gaufrages sont formés à partir de plis en-accordéon. Naturellement, la question se pose : «Est-il possible d'utiliser les gaufrages et les méthodes linéaires ensemble ?», la réponse est : "Oui, bien sûr !". En fait, c'est une méthode incroyablement spectaculaire grâce à laquelle vous pouvez décorer même les idées les plus simples. Cela est dû au fait que la surface d'un gaufrage peut prendre pratiquement n'importe quelle forme. Vous pouvez donner une texture à la surface des volets, l'apparence du relief : eau, cheveux, rugosité, etc. Notre tâche principale est d'obtenir un accordéon dans la zone désirée.

* La distance entre les couches extérieures d'un accordéon.

** La dimension de la feuille de papier pour plier une fronce de révolution doit être supérieure à $(17-18)R_{max}$ pour un tour complet, où la valeur R_{max} est la plus grande distance entre un point de la fronce et l'axe (fig. 4.14.2). Cette formule a été obtenue de manière empirique et son utilisation n'est pas obligatoire. Cela peut être utile pour évaluer les dimensions de la feuille initiale.

Si le gaufrage créé est situé sur le bord de la feuille et placé bord à bord avec le pattern à l'intérieur, alors cette disposition ne créera pas de difficultés pour la conception de la partie gaufrée. Dans ce cas, le gaufrage est formée depuis le bord externe, il s'étend avec des lignes de connexion perpendiculaires à celui-ci et se termine sur la frontière de raccordement. Connaissant les limites de la surface, nous commençons à placer les champs et les rivières.

Le problème est plus difficile à résoudre si vous voulez insérer des plis en accordéon à l'intérieur d'un pattern. Nous devons alors sortir de l'accordeon plat. Prenons le cas de la figure 4.15.

Figure 4.15 : Réalisation d'un accordéon dans la région centrale de la feuille

La longueur de l'accordéon sera égale à la distance "L" entre le point où la feuille est pliée à l'équerre et le point où le plan de l'accordéon revient en arrière (*fig. 4.15*). De plus, la formation des gaufrages dans la partie la plus centrale de l'accordéon n'empêche pas d'utiliser les sections externes pour obtenir le nombre de volets requis pour le pliage. Ainsi, en considérant le gaufrage central comme résultant d'une rivière séparée, nous sommes libres de poursuivre la conception. Il faudra donc respecter les règles de raccordement MP parce que les lignes de connexion seront fixées, les centres des champs devront être choisis en fonction de leur emplacement dans la structure du modèle. Cependant, le pliage du gaufrage sera ici beaucoup plus difficile car il sera fait de deux couches de papier et non d'une.

A noter que la direction de l'accordéon central peut être quelconque, elle dépend de l'objectif. Les façons d'obtenir un tel accordéon sont nombreuses et chacun pourra choisir selon ses goûts et préférences sur la base de sa propre expérience. La figure 4.15 représente le cas particulier où l'accordéon est perpendiculaire et où les lignes de connexion changent d'orientation par rapport au plan de la feuille lorsqu'elles traversent l'accordéon.

Dans cet autre exemple (*fig. 4.16*), l'accordéon est obtenu d'une autre manière, l'orientation des lignes ne change pas après avoir traversé l'accordéon et le gaufrage lui-même est incliné d'un angle aigu par rapport à la base.

Figure 4.16 : Réalisation d'un accordéon oblique dans la région centrale de la feuille
L'angle d'inclinaison de l'accordéon est calculé selon (14) (fig. 4.16.2).

$$y = 2 \arctg\left(\frac{s}{a}\right) \quad (14)$$

où «s» est le pas des plis en accordéon et "a" la profondeur de "basculement du coude"*. La longueur de l'accordéon est égale à "L" (fig. 4.16). Sous cette forme, il est utilisé pour la formation de gaufrages.

En ce qui concerne la conception en dehors de la zone de transformation, nous faisons la même chose que dans le premier exemple. C'est-à-dire que nous considérons l'ensemble de la zone transformée comme résultant d'une rivière et nous raccordons le long des frontières, conformément à l'orientation des lignes de connexion.

L'utilisation des gaufrages conjointement aux méthodes linéaires repose très souvent sur le positionnement de champs sous les plis en accordéon *d'un bord à l'autre*. Cela est dû à la facilité du raccordement. La surface reçoit d'abord les volets des gaufrages et ensuite le reste des éléments est raccordé le long des frontières. Si la composition du modèle comprend plusieurs accordéons pour ces gaufrages "ouverts", il faudra créer en premier le plus complexe d'entre eux ; ensuite tous les autres éléments seront raccordés les uns aux autres. Les limites des blocs composites résultants seront soigneusement configurées pour qu'il soit possible de raccorder facilement les gaufrages restants.

Dans les cas où il est nécessaire de faire un gaufrage formant une structure "fermée" à l'intérieur de la zone de pliage doit être, on ne peut pas se passer des champs étendus "non basiques". Un exemple d'un tel champ est représenté sur la figure 1.9.

A titre d'exemple illustratif, rappelez vous du CP du modèle de "papillon", conçu dans le chapitre précédent. Les zones qui sont responsables des ailes ont été conçues avec l'idée que l'accordéon interne se déroulerait lors du pliage. Ceci est clairement visible sur la photo du modèle fini (photo 3.2 à gauche). De même, un volet étendu peut être plié en accordéon pour ensuite être utilisé pour le gaufrage. Prenons le cas du BP (fig. 4.17).

* Profondeur de la "ligne vectorielle". Voir "volets latéraux", chapitre 5.

Figure 4.17 : Réalisation d'un accordéon à partir d'un champ "étendu"

La figure montre que le champ "non basique" peut tout à fait remplir la fonction de plis en accordéon pour un gaufrage (fig. 4.17.2). Il peut également être librement utilisé avec la structure plate voisine, puisque les plis en accordéon eux-mêmes sont maintenus à une certaine distance.

Bien entendu, réaliser la mise en forme d'un tel volet gaufré n'est pas facile à cause de la double couche. Cependant, le nombre et l'emplacement des gaufrages possibles peuvent être ajustés conformément à l'arbre des volets adopté*

PROCESSUS DE CRÉATION DU PATTERN D'UN MODÈLE AVEC GAUFRAGES

A titre d'exemple, nous allons examiner l'arbre des volets suivant (fig. 4.18).

Figure 4.18 : Arbre des volets du modèle "Abeille"

* Par exemple, une grappe de raisin à partir d'une seule feuille de papier où chaque baie est formée par la rotation d'un gaufrage séparé.

L'arbre des volets choisi ressemble à un insecte : comme une guêpe ou une abeille. L'élément gaufré du modèle sera l'abdomen de l'insecte, il est indiqué par un arc courbe sur la figure. Après avoir été plié, il prendra la forme d'une courbe de révolution, un élément décoratif spectaculaire. Les volets restants ont la forme standard habituelle. Le processus de conception sera guidé par les règles décrites dans les chapitres précédents.

A noter que si l'on veut inclure un gaufrage dans le modèle, il est nécessaire de la placer d'abord. La conception doit commencer par lui afin d'éviter des difficultés pendant le raccordement. Donc, nous décomposons d'abord notre arbre des volets en blocs principaux (fig. 4.19).

Figure 4.19 : Division de la structure du modèle en parties

La conception se fera du bas vers le haut, nous désignerons donc nos blocs " A ", " B ", " B' ", " C ". Compte tenu de ce qui précède, nous devons d'abord obtenir le gaufrage à l'origine de l'abdomen (Bloc «A»).

Notez que, pour le bloc du gaufrage, nous avons inclus non seulement la partie courbe mais également la rivière au moyen de laquelle le bloc "A" est raccordé avec les autres blocs du modèle. Ce bras sera considéré comme faisant partie du gaufrage. Tout d'abord, définissons sa position et ses paramètres, puis procédons à la transformation de la bande de papier, lui donnant la forme courbe voulue* (fig. 4.20).

* Le processus d'obtention d'une forme curviligne a été décrit au début de ce chapitre ; nous effectuons des manipulations similaires avec une bande de papier isolée, en décomposant en plusieurs sections rectilignes pour créer l'extérieur de la fronce.

Figure 4.20 : Préparation du pattern du gaufrage du modèle

Encore une fois, le choix des ondulations de la surface extérieure peut être tout à fait arbitraire, donnez cours à vos idées créatives. Il peut s'agir d'un accordéon régulier ou d'un ensemble arbitraire de rivières ouvertes, fournissant le motif désiré. Cependant, il ne faut pas oublier que la forme finale de la partie gaufrée doit se raccorder au autres champs et rivières du modèle. Par conséquent, lors de la création du pattern, essayez de faire une frontière de raccordement en ligne droite, c'est ce que nous avons dans notre exemple. Après cela nous reflétons les lignes de plis de la bande de papier le long de ses bords. Le tracé du pattern final pour le bloc "A" est montré sur la figure 4.20.3 (*les différences d'orientation sont indiquées par des lignes de différentes épaisseurs sur la figure*).

Maintenant, nous devons déterminer le nombre approximatif de divisions de la grille unitaire dont nous aurons besoin pour obtenir un gaufrage de qualité. Il a été mentionné plus haut que la largeur optimale de la bande de papier pour créer des formes de révolution est d'environ "17R", où "R" est la distance maximale entre l'axe de rotation et la surface du gaufrage.

Dans notre cas, "R" est approximativement égal à "5s", où "s" est le pas de la bande seule. La largeur de la feuille est alors de : $17 \times (5s) = 85s$, donc il faudra raccorder quelques 85 lignes de connexion aux sections restantes du modèle.

Maintenant, nous réalisons le raccordement des blocs de champs " B ", " B' " et "C". Le processus de raccordement de tels blocs a été décrit dans les chapitres précédents, il n'y a rien de nouveau ici. Voici juste une description générale.

Les volets des blocs " B " et " B' " partent du même point, par conséquent les champs à l'intérieur des blocs doivent se toucher mutuellement le long des frontières. Dans notre cas, le raccordement est fait en utilisant les secteurs d'orientation (*fig. 3.14*), cela vous aidera à vous débarrasser des lignes d'orientation intermédiaires et à ajuster séparément la largeur des volets pour les pattes et les ailes. Ensuite, nous raccordons le bas du bloc "C".

A noter qu'il est situé sur l'axe de symétrie du modèle et n'appartient ni à " B ", ni à " B' " mais il borde ces deux blocs le long de leur périmètre (*comme "poussant" d'un point de l'arbre des volets*).

L'étape suivante consiste à séparer tous les blocs construits jusqu'à présent, des volets du haut de la tête. Pour ce faire, nous plaçons une rivière en tenant compte de la topographie de la surface de raccordement. La berge intérieure de cette rivière correspondra au bord du champ complexe obtenu pour le moment. Après avoir commencé par raccorder la première paire de champs, symétriquement par rapport à l'axe central, nous passons ensuite aux champs restants du sommet de l'arbre des volets.

C'est un processus que nous avons traité déjà à plusieurs reprises, donc nous n'entrerons pas ici dans les détails. Après avoir raccordé tous les champs, il reste à choisir la forme de la feuille de pliage et à rogner tout ce qui est inutile pour le pliage.

Si nous voulons restreindre tous les éléments à une forme carrée, nous obtenons le pattern final suivant du modèle (*fig. 4.21*) (*les zones sombres sont pliées ou coupées avant le pliage*).

Figure 4.21 : Pattern final du modèle

Le pliage de ce modèle exigera très probablement une feuille grand format, ceci est dû à la largeur nécessaire pour le pliage du gaufrage du bas ; cependant, l'aspect sera beaucoup plus attrayant qu'un volet ordinaire commun. Par ailleurs, n'oubliez pas que, lorsque vous créez des gaufrages de révolution, vous n'avez pas besoin de faire un cercle complet, vous pouvez faire tout aussi bien avec la moitié, par exemple. Bien que, la partie inférieure du modèle soit creuse, la forme de sa partie visible ne sera pas affectée.

À première vue, il peut sembler que le pattern soit très compliqué, ne vous inquiétez pas : les zones de gaufrage, en règle générale, se forment d'une manière identique et monotone. Vous pouvez le vérifier facilement par la pratique en pliant des gaufrages simples. Il n'est pas nécessaire d'aller directement aux gaufrages curvilignes, je vous conseille de commencer par vous "faire la main" sur des gaufrages plats. Même si, bien sûr, il s'agit d'une affaire de goût personnel. Certaines personnes aiment s'attaquer immédiatement à des travaux complexes et d'autres, au contraire, perfectionneront leurs compétences sur des modèles simples, évoluant progressivement vers le complexe. Mais dans tous les cas, la chose la plus importante est d'évoluer ! Je suis sûr qu'à chaque nouvelle tentative vos œuvres seront de mieux en mieux ! D'ailleurs, si vous avez déjà maîtrisé les trois chapitres précédents, les gaufrages ne devraient pas poser beaucoup de difficultés.

MOSAIQUES DE PAPIER

Dans le chapitre précédent nous avons examiné la façon de transformer l'apparence des volets par les gaufrages. Je vous rappelle que le motif des gaufrages, décorant la surface des volets, est formé par de nombreuses rivières qui traversent la surface du volet selon une trajectoire assez compliquée. C'est une excellente technique avec laquelle ont été créés de nombreux modèles célèbres comme le "Hérisson" d'Eric Joisel, le "Fugu" de Siphon Mabona, "Aquarius" de Hojyo Takashi et bien d'autres. Mais il y a un autre domaine de l'origami, non moins important, qui occupe une place très particulière pour la conception dans les méthodes linéaires. Ce domaine est appelé, en origami, **tessellation** ou technique de la mosaïque de papier.

Mosaïque de papier : un domaine relativement jeune de cet art ancien, la tessellation en origami est devenue de plus en plus populaire. Des chefs-d'œuvre comme la "Carpe Koi" de Robert Lang ou du "Ruy Zin 3.5" de Satoshi Kamiya sont apparus en raison de l'utilisation de la tessellation en origami. Fondamentalement, la mosaïque de papier existe comme un genre à part mais, grâce à elle, vous pouvez apprendre à couvrir les modèles ou certaines de leurs parties de motifs incroyables, donnant à la surface un aspect vraiment étonnant, spectaculaire et coloré.

Voici quelques-uns des modèles dans lesquels j'ai utilisé la technique de décoration des volets à l'aide de mosaïques (photo 5.1).

Figure 5.1 : Modèles ornés de mosaïques de papier

Comme vous le savez, la mosaïque classique est un art décoratif appliqué, dont les œuvres sont formées par l'organisation et la fixation sur une surface de pièces multicolores de verre ou de céramique, et l'origami est l'art du pliage de figures à partir d'une seule feuille de papier sans colle ni ciseaux. A première vue, ce sont des arts allant dans des directions complètement différentes dans les techniques utilisées, les matériaux, etc.. Comment les combiner ?

Le fait est que, dans la mosaïque de papier, le rôle des pièces multicolores est tenu par ce qu'on appelle des cellules qui sont reliées entre elles sur le plan de la feuille pour former un cadre solide. Si nous éclairons par transparence une mosaïque nous verrons une sorte d'image multicolore, un motif qui se révèle parce que différentes parties de la surface contiennent un nombre différent de couches. En d'autres termes, le plan transformé, obtenu par manipulation origami, traversé par la lumière, forme une mosaïque ornementale teintée de nombreuses nuances de la même couleur.

Le pliage de mosaïques de papier est une activité très excitante qui nécessite une extrême précision lors du pliage des éléments de base. Les mosaïques peuvent être pliées à partir de presque n'importe quel papier, depuis le carton jusqu'au papier calque. Le genre est incroyablement riche avec une variété de combinaisons de différentes formes.

En raison de la spécificité de ce livre, nous ne considérerons que les bases de la mosaïque de papier plate. Toutefois, cela suffira pour commencer à apprendre des aspects plus complexes de la "*tessellation origami*". Par exemple, ces dernières années, la *mosaïque en trois dimensions* est devenue très populaire, dans laquelle les éléments de pliage à plat sont utilisés en conjonction avec des transformations tridimensionnelles du plan. Ainsi, vous pouvez obtenir une belle forme en trois dimensions recouverte de motifs entrelacés. A titre d'exemple, il convient de noter la célèbre collection de masques en volume réalisés par l'américain Joel Cooper qui a présenté au monde la beauté de l'origami, construit sur la symbiose entre la sculpture et les mathématiques. En regardant ses œuvres, on se rend compte que le monde de la mosaïque de papier est sans limites et que cela vaut vraiment la peine d'apprendre !

Les mosaïques peuvent être divisées en deux types principaux : celles utilisant une grille unitaire et les autres sans. Dans ce chapitre, nous ne considérerons que le premier type, parce que nous nous intéressons davantage à l'utilisation de mosaïques avec les méthodes linéaires qu'aux mosaïques elles-mêmes. En ce qui concerne les mosaïques conçues sans grille unitaire, leur insertion dans la structure du modèle est possible, mais souvent excessivement difficile.

Donc, l'unité structurale de base des mosaïques est appelée *cellule*. Les cellules sont répétées à plusieurs reprises dans le pliage et sont constituées d'un élément ou d'un groupe d'éléments raccordés entre eux. Les cellules sont diverses mais elles sont le plus souvent formées de quatre éléments standards : triangle, parallélogramme, trapèze et hexagone. Parfois, les maîtres de la mosaïque de papier utilisent des formes plus complexes* cependant inclure une mosaïque dans la structure d'un pattern ne peut qu'*étendre les limites* de la feuille (*voir plus loin*).

* Des pentagones, octogones, des formes irrégulières, etc ont été décrits.

Pour l'essentiel, dans la pratique, seules des grilles unitaires rectangulaires (*comme en BP*) et triangulaires (*comme en HP*) sont utilisées dans les mosaïques de papier. Elles sont utilisées pour faciliter le traçage des lignes de pliage et simplifier le processus de raccordement. De plus, la formation des cellules elles-mêmes utilise seulement deux types de transformation du plan : *rotation* et *superposition*.

SUPERPOSITION

Le principe de la superposition est d'augmenter l'épaisseur de la feuille à cause de plis successifs (*fig. 5.2*). Le nombre de couches, leur largeur et leur orientation dépend des propriétés de la zone de mosaïque dont nous avons besoin. Dans sa forme pure, la superposition n'est rien de plus que le pli en zig-zag habituel. Cependant, comme les transformations des cellules sont diverses, alors la direction du pli sur la feuille, et le nombre de plis parallèles peuvent également varier.

Figure 5.2 : Superposition de couches

Les superpositions* servent de "fondation" sur laquelle toutes les cellules seront produites et la mosaïque elle-même sera construite. En règle générale, elles sont représentées par des ensembles de lignes parallèles orientés différemment entre eux. Cette orientation mutuelle définit la structure du pattern à concevoir et il faut certaines lignes de plis individuelles pour l'obtenir.

Les maîtres travaillant dans le genre de la tessellation origami, ont développé tout un ensemble de systèmes de superposition qui peuvent être combinés entre eux. Il faut noter que les superpositions utilisées pour former certaines cellules peuvent ne pas convenir à d'autres. C'est pourquoi, lors de la conception, la compatibilité mutuelle des différentes superpositions doit être vérifiée individuellement dans chaque cas.

Lors du positionnement des éléments des mosaïques, les superpositions qui les forment se chevauchent parfois. Dans ces cas, il faut agir de différentes manières. Par exemple, sur une grille rectangulaire, les superpositions peuvent être raccordées de cette façon (*fig. 5.3*).

* La superposition en mosaïque de papier désigne non seulement l'action, le pli en zig-zag, mais aussi la zone du pattern qui est délimitée par des lignes de plis parallèles et adjacentes.

Figure 5.3 : Intersection des superpositions sur les grilles rectangulaires

Les superpositions dans les mosaïques triangulaires sont raccordés de façon similaire, en combinant des couches parallèles, la seule différence étant que les directions principales des plis, qui sont faites en utilisant la grille unitaire, ne sont pas au nombre de deux mais de trois. En raison de cela, les manipulations possibles avec les couches à l'intérieur des cellules sont beaucoup plus nombreuses que dans les mosaïques sur des grilles rectangulaires.

Malgré une forte différence d'aspect extérieur, le processus d'obtention des cellules dans les mosaïques rectangulaires et triangulaires est absolument identique : les lignes de direction principales sont choisies et après leur pliage, la zone d'intersection est formée conformément aux règles de Kawasaki. Typiquement, les angles d'intersection sont de 60 et 120 degrés (*fig. 5.4*).

Figure 5.4 : Intersection des superpositions sur les grilles triangulaires

Outre le fait qu'il existe déjà un vaste arsenal d'options pour raccorder les superpositions sur une grille triangulaire, il y a toujours un vaste champ pour vos expériences.

Il est possible de trouver de nombreuses autres façons de combiner les éléments de cellules. Par exemple, dans le cas de (fig. 5.4.2), vous ne pouvez pas pousser à l'intérieur le coin marqué par une flèche noire, ou le tirer à l'extérieur sans modifier la structure des superpositions.

ROTATION

En pliant différents modèles, vous avez probablement rencontré un élément aussi populaire, la rotation. Par exemple, la rotation est souvent utilisée pour les pliages en couleurs. Le plus célèbre de ces modèles est la "Rose" du maître de l'origami japonais Toshikazu Kawasaki. Personnellement, je doute qu'il y ait un origamiste qui n'a jamais essayé de plier ce, je n'ai pas peur du mot, "CHEF-D'ŒUVRE !" du monde de l'origami. La combinaison magnifique de la simplicité de la conception et du résultat incroyablement réaliste font de la "Rose de Kawasaki" le favori de beaucoup d'origamistes. Elle est devenue une sorte de standard de beauté avec lequel, bon gré mal gré, chaque nouvelle rose ou autre fleur en origami est comparée. Au cours de son histoire, la "Rose de Kawasaki" a subi de nombreux changements et ses diverses modifications sont innombrables ; qu'il s'agisse de tige, épines, feuilles, etc. Mais l'élément principal qui sous-tend la structure du modèle reste la rotation dans la zone centrale du carré. La rose de Kawasaki est l'exemple le plus frappant du fait que la rotation n'appartient pas seulement à la mosaïque de papier mais c'est dans les mosaïques qu'elle a trouvé sa place comme élément pratiquement indispensable.

La rotation est un moyen de joindre les superpositions de sorte que la forme résultante tourne autour de la jonction, en son centre. Vous pouvez faire pivoter presque n'importe quelle figure géométrique convexe. Grâce à cette manipulation, il est facile d'effectuer les jonctions souhaitées pour un ensemble de superpositions qui se chevauchent.

Dans les limites de la grille unitaire utilisée, tournent souvent : triangle, parallélogramme, trapèze et hexagone. Sur une grille rectangulaire, les parallélogrammes (*carrés ou rectangles*) sont principalement pivotés et sur les grilles triangulaire, tous les quatre. Voyons la rotation d'un carré sur une grille BP (fig. 5.5).

Figure 5.5 : Rotation d'un carré sur une grille rectangulaire

Comme le montre la figure 5.5, les sommets du carré sont situés sur des nœuds de la grille, de sorte que, par suite d'un déplacement latéral de taille "a" se produise une superposition simultanée sur tous les côtés du carré (fig. 5.5.1). Cette valeur est appelée la *largeur de la superposition* et, dans le cas de 5.5, elle est égale à deux pas de la grille.

Notez qu'une zone au centre a été formée en regardant l'arrière de la feuille (*fig. 5.5.4*). La taille de cette zone peut être facilement modifiée en faisant varier la taille de la figure en rotation. Les patterns contenant ces éléments arrière donnent l'impression que le modèle est constitué de plusieurs feuilles entrelacées (*cette aspect est très important pour l'utilisation pratique et sans cela, en règle générale, la mosaïque ne peut être réalisée*). Parfois, lors de la conception de mosaïques, il est nécessaire d'obtenir la superposition de différentes largeurs. Cela peut être fait en faisant tourner un rectangle sur une grille rectangulaire (*fig. 5.6*).

Figure 5.6 : Obtention de différents déplacements latéraux dus à la rotation d'un rectangle

La rotation s'effectue de manière similaire sur des grilles triangulaires (*fig. 5.7*). Maintenant, en plus de la rotation du parallélogramme pour joindre des superpositions, vous pouvez faire pivoter le triangle, l'hexagone et le trapèze. En même temps, en changeant la taille de la figure en rotation, vous pouvez obtenir "à l'arrière" un verso fermé ou ouvert à des degrés divers. Voici quelques patterns qui décrivent de telles rotations.

Figure 5.7 : Exemples de rotations sur une grille triangulaire

Après avoir plié les patterns représentés ci-dessus dans la figure 5.7, la face arrière sera fermée pour ceux du haut et ouverte pour ceux du bas.

En ce qui concerne le pliage des zones en rotation, elle est identique pour toutes les figures. Par exemple, la figure 5.8 montre le processus de rotation d'un losange avec un "dos" fermé ou ouvert (*dessins supérieurs et inférieurs, respectivement*). Notez que les déplacements latéraux des coins de la figure en rotation sont égaux au pas "a" sur la grille.

Figure 5.8 : Rotation du losange sur une grille triangulaire

Comme pour les grilles rectangulaires, les déplacements latéraux peuvent être différents s'il y a la nécessité de joindre différents éléments de cellules voisines. Cela nécessite un changement de la valeur de rotation (fig. 5.9).

Figure 5.9 : Rotation de formes avec différents déplacements latéraux

Il est à noter que, pour les mosaïques plates, les règles pour les plis à plat décrites au début du livre doivent être observées. Le raccordement doit être conçu de manière à ne pas perturber la continuité et l'orientation de toutes les lignes reliant les cellules. Le non-respect de ces règles est possible pour des mosaïques tridimensionnelle et, dans certains cas, "vital" mais une telle dérogation pour les mosaïques plates n'est pas acceptable.

Si vous voulez faire pivoter des formes autres que celles que nous avons examinées ci-dessus, il est nécessaire de connaître la règle simple suivante (fig. 5.10).

Figure 5.10 : Rotation de figures convexes quelconques

Tous les angles de superposition* doivent être égaux à l'angle de rotation.

Comme le montre la figure 5.10.1, la réalisation de la superposition impose l'égalité suivante (15). Ce qui fournit une rotation "à plat", en conformité avec les règles de Kawasaki (voir. Introduction).

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \dots = \delta_n \quad (15)$$

Les écarts locaux à cette égalité (15) sont à la base de la mosaïque de papier tridimensionnelle. À savoir :

- La partie plate de la mosaïque est conçue conformément à (15) ;
- des noeuds sont sélectionnés où la transition tridimensionnelle est souhaitée ;
- les angles des plis à plat des noeuds choisis sont remplacés.

Bien sûr, l'égalité (15) n'est pas respectée mais le parallélisme des plis de la superposition, à la transition avec la partie en volume, permet de raccorder de nouvelles cellules.

Différentes grilles combinées peuvent être adaptées à cette égalité (15) (fig. 5.10.2, grille OP*). C'est une tâche assez complexe qui nécessite des constructions géométriques supplémentaires, mais qui est tout à fait faisable.

Bien sûr, théoriquement, les angles "δ_i" peuvent ne pas être égaux (fig. 5.10.3) mais, en même temps, la superposition cessera d'être une superposition dans son sens "linéaire". Les lignes de superposition ne seront plus parallèles, ce qui compliquera incroyablement l'obtention des cellules et leur raccordement les unes avec les autres.

RACCORDEMENT DES CELLULES

Nous allons commencer par le raccordement de cellules de la mosaïque prévue (fig. 5.11).
Figure 5.11 : Raccordement de cellules de mosaïque

* δ est le plus petit angle entre le pli et le chevauchement adjacent du côté de la forme en rotation

Supposons qu'il y ait deux cellules arbitraires (*fig. 5.11.1*). Pour les raccorder, il est nécessaire de maintenir la continuité et l'orientation des superpositions au-delà des cellules. Cela peut être fait soit avec une superposition ou une rotation ordinaires, soit au moyen d'une cellule de connexion. La figure 5.11 montre les variantes de raccordement par la rotation du losange, du triangle et de l'hexagone. Le choix de la forme en rotation dépend dans chaque cas de nombreux facteurs comme les paramètres des cellules attenantes, l'orientation des lignes de connexion, les distances de superposition, les valeurs des angles de rotation, etc. Dans les cas (*fig. 5.11.2a et 5.11.2b*), la zone de rotation sera fermée à l'arrière après pliage et, dans le cas (*fig. 5.11.2d*), il restera une zone triangulaire centrale non fermée.

Toutes les manipulations possibles peuvent être effectuées avec les cellules ; le principal étant de préserver la continuité des superpositions. Ainsi, il est possible de faire varier la distance "S" entre les cellules (*fig. 5.11.2d*) (*en laissant la superposition continuer de satisfaire les conditions du raccordement*).

En fait, le raccordement de cellules ne diffère pas du raccordement des éléments à l'intérieur des cellules. Dans tous les cas, le raccordement se fait selon les mêmes règles et, après avoir appris à raccorder les composants élémentaires entre eux, vous apprendrez facilement à raccorder les cellules.

CONCEPTION DE MOSAÏQUES

Au début de la conception, l'élément structurel de base, la cellule, est choisi en fonction de l'ornement que vous voulez obtenir. En se répétant et en se raccordant Répétée de nombreuses fois en se touchant l'une l'autre, les unes aux autres, les cellules forment le squelette d'une mosaïque*.

Voici un exemple de la conception d'une mosaïque à plat sur une grille triangulaire. Choisissons une cellule comme élément structural principal (*fig. 5.12*).

Figure 5.12 : Cellule sélectionnée pour le pliage

* La conception de mosaïques possède des caractéristiques spécifiques et il vaut mieux commencer l'apprentissage du processus en étudiant des cellules prélevées sur des patterns de mosaïque disponibles. Il est ainsi plus facile d'acquérir l'expérience nécessaire pour comprendre les bases et les nuances du raccordement.

Comme le montre la figure 5.12, la cellule est composée de trois losanges et un hexagone, ces éléments sont orientés de façon opposée par rapport au plan de la feuille. Après pliage, elle donne une structure fermée, avec un angle de 60 degrés dans le sens horaire pour toutes les formes en rotation.

Notez que les cellules structurelles principales doivent être choisies de manière à ce que les éléments à faire correspondre soient dans différentes directions de la grille unitaire. Cela permettra d'éviter l'addition de transitions supplémentaires entre les superpositions. Ici, avec la disposition des cellules, un losange d'une cellule se superpose à celui d'une autre, sans perturber les rotations des losanges eux-mêmes (*fig. 5.13.1*).

Figure 5.13 : Raccordement de trois cellules identiques

C'est ainsi que toutes les cellules principales que nous avons choisies pour le pliage sont raccordées (*les points d'articulation sont les losanges sombres (fig. 5.13.1)*). Notez que si des cellules sont raccordées dans d'autres directions, alors tous les losanges seront colorés en "sombre". Cependant, reste un certain nombre de sites dans lesquels les lignes de connexion ne pourront se raccorder entre elles sans l'aide de manipulations supplémentaires. Ils doivent être éliminés, soit par intersection des superpositions, soit en plaçant une forme en rotation. Dans la figure 5.13.1, ces sites sont situés dans la région délimitée par le cercle. Ce stade de la conception prend le plus de temps, surtout pour le raccordement de cellules complexes. Parfois, vous aurez à concevoir le modèle à plusieurs reprises ou modifier certains éléments, etc. Mais, le plus souvent, en particulier pour les cellules simples, il existe une solution.

Dans notre cas, c'est simple. Il suffit d'ajouter un triangle comme indiqué sur la figure 5.13.2 et les "trous noirs" dans la structure disparaîtront, toutes les superpositions se fermeront aux articulations et assureront la rotation réciproque normale des éléments au pliage. Le triangle tournera en sens antihoraire, c'est-à-dire en sens inverse des losanges et de l'hexagone.

Pour obtenir le motif final de la mosaïque, il suffit d'étendre la structure à toute la zone de pliage, et vous pouvez procéder à son pliage (*photo 5.14*).

Photo 5.14 : Pliage de la mosaïque étudiée

Le pliage se fait de manière séquentielle, élément par élément. D'abord il y a l'hexagone (*photo 5.14.2-5.14.3*), puis tous les éléments qui l'entourent (*photo 5.14.4-5.14.5*) et par analogie toutes les parties restantes (*photo 5.14.6*).

Il faut noter que des cellules complètement différentes peuvent être choisies pour une seule et même mosaïque. Dans notre cas, la combinaison d'un triangle et de losanges peut être considérée comme une cellule structurelle (*fig. 5.15*).

Figure 5.15 : Cellule choisie pour le pliage

Maintenant, le lien de transition entre les cellules est un hexagone qui était le centre de la cellule dans le cas précédent et qui est orienté dans la direction opposée par rapport au plan de la feuille.

UTILISATION DE MOSAÏQUES POUR DÉCORER LES MODÈLES

Les maîtres de l'origami utilisent assez souvent des mosaïques lors du pliage de leurs modèles et ce n'est pas étonnant. L'utilisation intégrée des techniques conduit souvent à des résultats tout à fait surprenants. Vous pouvez ajouter des écailles à un poisson, une texture de paille tressée à un chapeau et ainsi de suite. Pour produire cet effet, les maîtres procèdent essentiellement de deux façons : dans la première, la structure en mosaïque n'est pas liée à la structure du modèle, dans la seconde, la mosaïque est l'un des éléments structuraux du pattern, étant "tissée" dans les rivières de différentes manières.

Dans le premier cas, d'une part la mosaïque est conçue à l'avance sur une partie de la feuille, puis le modèle est développé (*en ignorant la mosaïque*). Autrement dit, la conception est effectuée en tenant compte du fait que la zone de la mosaïque couvrira la partie désirée du modèle après pliage. Ainsi sont nés la carpe "Koi" de Robert Lang, l'"Alligator" de Michael La Fosse et de nombreux autres modèles. Dans de tels projets, la mosaïque est le résultat d'une préparation préliminaire de la surface avant pliage, où elle n'est pas un élément structurel.

Dans le second cas, la mosaïque fait partie de la structure du modèle. Au cours du processus de conception, elle est intégrée en parallèle avec le raccordement des éléments de base (*champs et rivières*). Ici la suppression des motifs de la mosaïque dans le modèle ne fonctionnera pas, parce que des marais seront formés dans le système de lignes de connexion. Parmi les exemples de modèles conçus de cette manière, citons le dragon "Ryu-Jin" (*versions 2-3.5*) de Satoshi Kamiya, le "Coelacanthe" de Chad Killeen et d'autres. Le pliage de telles œuvres ne commence pas nécessairement par les mosaïques : tout dépend de la complexité des mosaïques et l'emplacement du motif final dans la zone de pliage.

Les deux méthodes ont leurs avantages et leurs inconvénients mais, malgré un certain travail supplémentaire et la complexité de la construction, le résultat vaut tous les efforts consacrés. Voyons cela de plus près.

ADDITION DE MOSAÏQUES EN ÉTENDANT LES LIMITES DE LA FEUILLE

Supposons que, après la conception, nous ayons décidé de décorer une partie du modèle par de la mosaïque mais que nous ne voulions pas compliquer le CP par des transitions complexes entre les lignes de connexion. Dans ce cas, il est avantageux de recourir à l'extension des frontières de la feuille grâce à l'ajout de matériau papier. Cette technique peut nous fournir la quantité suffisante de papier nécessaire pour convertir le plan en motifs de mosaïque.

Les raisons du choix (*cette façon de recouvrir le modèle de mosaïque*) peuvent être variées : il sera peut-être plus facile à plier, ou vous voulez tirer parti du motif de la mosaïque pour un raccordement que vous savez ne pas être possible autrement. Dans tous les cas, il sera utile de se familiariser avec cette technique..

Il est très important de noter que cette technique peut servir non seulement à ajouter des mosaïques mais aussi à incorporer des **volets transverses**-(Photo 5.16) (*voir plus loin*), ainsi que des gaufrages ou des motifs géométriques. L'algorithme pour toutes ces actions sera le même.

Photo 5.16 : Modèles avec volets transverses, "sous-marin" et "poisson-scie".

Comment fait-on ?

Tout d'abord, il est nécessaire de concevoir le modèle selon n'importe quelle méthode décrite précédemment*. Ensuite il faut déterminer la ou les régions du pattern qui serviront à générer ultérieurement les "branches" de l'arbre des volets. Par exemple, "a", "b" et "c" dans la figure 5.17.

* Vous pouvez utiliser n'importe quelle technique, qu'elle soit sectorielle ou angulaire. Dans le cas général, il suffit juste d'avoir un pattern final, même si il a été créé instinctivement (sans technique du tout) ou, emprunté à d'autres auteurs.

Figure 5.17 : Remplacement des zones des feuilles par des motifs de mosaïque

Ensuite, déterminer la quantité de papier nécessaire au remplacement proprement dit. Ceci peut être connu après avoir déterminé de combien les dimensions de la mosaïque dépliée sont augmentées par rapport à celles d'une mosaïque pliée *. Evidemment, seule la partie de la mosaïque que nous voulons voir sur la feuille finale sert à la détermination (fig. 5.18).

Figure 5.18 : Transformation de la structure en mosaïque en plan

Naturellement, en général, non seulement la région de la mosaïque change mais aussi la forme de la feuille initiale à partir de laquelle le modèle sera formé. Les proportions de la zone à transformer changeront très probablement de façon non uniforme (fig. 5.18 à droite). Par conséquent, pour obtenir la nouvelle forme de la feuille de pliage, vous devez augmenter sa taille d'une valeur déduite du dépliage de la mosaïque. Schématiquement, cette augmentation est représentée à la figure 5.19 (où "A" est la zone de la mosaïque repliée et "B" la zone de la mosaïque dépliée).

* Les plis des superpositions peuvent se croiser sous différents angles, ce qui explique pourquoi prévoir la forme dépliée mosaïque est presque impossible : une étude pratique de la région est nécessaire.

Figure 5.19 : Modification des paramètres de la zone de pliage

Bien entendu, ce schéma est très approximatif. Parce que dans chaque cas particulier, les superpositions de la mosaïque peuvent être très fortement modifiées en changeant les paramètres "a", "b", « c » et « d » ainsi que la forme de ces zones. D'une manière générale, $a' = a + e$, où "e" est la valeur selon laquelle la région évoluera en "a" lorsque toutes les superpositions incluses dans sa structure auront été réalisées. Les paramètres " b' ", " c' " et " d' " sont définis de la même façon. Si des zones d'angles recouvrent des nombres différents de superpositions, alors les paramètres reçoivent les valeurs maximales*.

Rappelons qu'avec cette méthode de remplacement des surfaces planes par des mosaïques, en règle générale, il est nécessaire de repousser l'excédent sur les bords, en lui donnant une forme simple. C'est pour cette raison que les mosaïques construites sur une grille BP sont le plus souvent utilisées. Ensuite, dans la plupart des cas, cet excédent n'est pas conservé et le processus de pliage ultérieur du modèle est considérablement simplifié.

Si vous voulez couvrir non pas une mais plusieurs zones du pattern (*fig. 5.17*), les autres remplacements sont effectués de manière similaire. Mais cela doit être fait de façon séquentielle, de zone en zone. Le changement de dimensions de la feuille de pliage sera calculé en tenant compte de la taille des excédents totaux formés lorsque toutes les mosaïques seront dépliées dans le plan. La seule exception est le cas où les mosaïques sont situées dans la même superposition.

Les avantages de cette méthode d'addition de pattern sont les suivants : d'une part, l'universalité par rapport au type et à la quantité de mosaïques utilisées, d'autre part, la possibilité de les ajouter après avoir obtenu le pattern final. Vous pouvez facilement choisir un ensemble quelconque de superpositions de toutes formes et configurations sans avoir à vous soucier des détails du pliage et des nuances de structure.

* Si la forme de la mosaïque pliée et dépliée est un carré (mosaïque sur une grille BP) et que le modèle original est conçu dans un carré, alors le modèle transformé sera aussi de forme carrée. Dans ce cas, les côtés de la feuille de départ changeront de la même valeur.

Toutefois, lorsque vous ajoutez des mosaïques en étendant les limites de la feuille, vous compliquez fortement le processus de pliage au niveau des chevauchements. Le problème est que la superposition multiple obtenue par pliage de la mosaïque s'étend au-delà de la zone de pliage. Par conséquent, toute l'épaisseur de la feuille augmente, ce qui posera des problèmes pour le pliage final. Sans parler du fait qu'il sera beaucoup plus difficile de plier la forme de sur une pliée en double-triple épaisseur. Néanmoins, grâce à l'extrême simplicité de la conception et à des résultats spectaculaires, cette méthode est souvent utilisée par les origamistes, concentrant leur créativité non pas vers la rigueur technique de la structure mais vers l'attrait visuel du modèle.

INTÉGRATION DES MOSAÏQUES DANS LA STRUCTURE DU PATTERN

La manière de décorer les modèles à l'aide de mosaïques intégrées dans la structure du pattern est fondamentalement différente de la méthode décrite précédemment. Maintenant, en plus de choisir la zone où intégrer des mosaïques, comme dans le cas précédent, il est nécessaire de déterminer à l'avance les plis le long desquels toutes les superpositions seront transférées aux lignes de connexion (*les règles de raccordement des champs et des rivières pour le processus de conception lui-même seront préservées*).

Un rôle très important est joué par l'emplacement de la zone de la mosaïque : au bord de la feuille ou à l'intérieur de celle-ci. Cela est dû au fait que bon nombre des mosaïques (*surtout les modèles basés sur des grilles triangulaires*) sont extrêmement difficiles à intégrer dans la structure du pattern de tous les côtés simultanément. De plus, il n'est pas toujours possible de le faire. C'est pourquoi, lors de la conception de modèles, les mosaïques BP sont intégrées le plus souvent (*particulièrement utile lorsque la structure est créée par superpositions simples répétitives (fig. 5.20)*).

Figure 5.20 : Exemples de mosaïques intégrées, basées sur une grille rectangulaire

Il existe de nombreux types de transformations de ce genre. Une fois pliées, elles forment une variété de motifs, parmi lesquels il est possible de trouver une forme appropriée à chaque situation particulière.

Lorsque la zone de la mosaïque est choisie au bord et, encore mieux, s'étend d'un bord à l'autre de la feuille, vous pouvez vous sentir beaucoup plus libre pour la conception. Le nombre de mosaïques utilisables devient considérablement plus large. Ainsi, vous pouvez ajouter librement des éléments de mosaïques sur des grilles quelconques, en vous limitant aux superpositions qui viennent d'un seul côté. Les exemples de la figure 5.21 montrent la façon dont, pour un système de superpositions en entrée (partie inférieure des patterns), vous pouvez obtenir différents types de mosaïques, sans vous préoccuper des raccordements sur les trois autres côtés*.

Figure 5.21 : Insertions de mosaïques intégrées sur le bord de la feuille

Même une structure de mosaïque HP sur une grille triangulaire se sent tout à fait «à l'aise» au bord de la feuille, alors qu'une localisation à l'intérieur de la zone pliage exigerait un effort et un temps considérables.

L'étape suivante, après avoir choisi la structure et l'emplacement de la mosaïque, consiste à commencer la recherche des tronçons de transition. De quoi s'agit-il ?

Tronçon de transition : ensemble de champs qui sont raccordés de manière particulière à l'aide desquels se produit la transition d'un groupe de superpositions à un autre**. Le tronçon de transition : l'élément nécessaire au raccordement d'une structure en mosaïque aux lignes de connexion du pattern. Sans tronçons de transition, les lignes de connexion resteraient des superpositions multiples dans un pliage en accordéon. La figure 5.22 montre des exemples de tronçons de transition pour différents types de superpositions. Certains d'entre eux vous s'y sont déjà familiarisés dans les chapitres précédents du livre, seulement nous les avons considérés auparavant du point de vue de l'apparence d'une certaines couches, telles que l'abdomen de l'insecte. Leur fonction prend maintenant un sens plus profond, à savoir que les tronçons de transition constituent la base de la future mosaïque.

* Ils sont en dehors de la zone de pliage.

** Les lignes de connexion en accordéon sont aussi une sorte de superposition de volets (qui ont tous leur origine au même point).

Figure 5.22 : Tronçons de transition pour différents types de superpositions

Les configurations des superpositions générées (*représentés sur les figures par des motifs*) sont choisies en fonction du type de mosaïque utilisé. Par exemple: pour les mosaïques "1" et "2" (*fig. 5.20*), il est possible de prendre le tronçon de transition "2" (*fig. 5.22*), pour la mosaïque "3" (*fig. 5.20*) et pour toutes les mosaïques de la figure 5.21, le tronçon de transition "3" (*fig. 5.22*). En d'autres termes : le tronçon de transition permet le remplacement de l'accordéon d'un côté par le système de superpositions souhaité de l'autre côté.

Parfois, il est nécessaire d'augmenter le nombre de cellules dans une zone donnée mais sans changer les paramètres de la grille unitaire. Dans ce cas, il faut recourir à diverses manipulations. Pour chaque type de mosaïque, des combinaisons de lignes complètement différentes formant la transition sont possibles. Cependant, avec toute la richesse de variantes, il n'y a pas de manière universelle de transformer ces éléments ; en règle générale, pour chaque situation, vous devez trouver le bon ensemble de lignes empiriquement. Ces transitions sont appelées **éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions**.

Pour les tronçons de transition de la figure 5.22, les éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions peuvent ressembler à ceux de la figure 5.23.

Figure 5.23 : Eléments d'augmentation de la fréquence des superpositions

Bien sûr ce sont des cas particuliers ; il est tout à fait possible que vous trouviez des configurations plus rationnelles en concevant vos propres modèles, mais "dans un premier temps" elles peuvent être utiles.

Il est évident que le plus difficile est l'insertion de mosaïques dans les champs qui se trouvent à l'intérieur de la zone de pliage.

Par conséquent, pour la commodité de la conception, vous devriez essayer de choisir des paramètres pour les mosaïques de sorte que les superpositions sur les côtés opposés soient en continuation l'une de l'autre, à la fois pour l'emplacement et pour l'orientation des lignes par rapport au plan de la feuille. Un exemple d'une telle insertion longitudinale d'une mosaïque est montré sur la figure 5.24*.

Figure 5.24 : Mosaïque insérée dans la structure du pattern

La figure 5.24.1 montre tous les éléments étudiés précédemment. Les sections "A" et "E" contiennent les tronçons de transition, les sections "B" et "D" correspondent aux éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions et la section "C" contient la mosaïque elle-même. Comme vous pouvez le remarquer (*fig. 5.24.2*), avec une structure préconçue de superpositions, il est pas nécessaire de connaître la composition en montagnes et en vallées de la mosaïque pour pouvoir l'insérer. Il suffit de créer les champs et les rivières dans le tronçon de transition et de les étendre pour que vous puissiez inclure, le cas échéant, l'élément d'augmentation de la fréquence des superpositions et, bien sûr, la mosaïque elle-même.

* La mosaïque "se décompose" facilement en rivières et champs étendus au niveau des tronçons de transition, et la conception est effectuée le long des frontières formées.

En ce qui concerne les autres groupes de superpositions, issus de la mosaïque, il y a plusieurs manières de convertir leurs structures en dehors de la zone de la mosaïque.

La première est la plus simple : ces superpositions peuvent tout à fait être poussées jusqu'aux limites de la feuille, sans transformations. En anticipant un peu, on peut en voir une telle transformation sur un des dessins de la partie pratique de ce chapitre (*fig. 5.45, lignes pointillées verticales*).

La deuxième manière est beaucoup plus intéressante, mais aussi plus compliquée. Elle est utilisée quand il est nécessaire de convertir des superpositions en accordéon en une insertion complète de la mosaïque à la structure du pattern. On peut voir un exemple d'une telle transformation dans la figure 5.33 (*de la section dédiée aux volets transverses, qui seront décrits en détail ci-dessous*). À première vue, cette tâche ne devrait pas causer de problèmes particuliers : du genre, il suffit d'ajouter les mêmes tronçons de transition (*pour la mosaïque 5.24, un tronçon se rapprochant de 5.22.4*) mais cette fois à angle droit. Mais ce n'est pas si simple !

Il est nécessaire de comprendre ceci en détail. Si vous observez attentivement, vous verrez que des nouveaux champs forment des superpositions longitudinales qui seront perpendiculaires à la transformation et donc, ***les rivières les formant dans les tronçons de transition se croiseront***, ce qui contredit tout ce qui a été décrit dans le ce livre !

Curieusement, les réponses aux questions "Comment faire ?" et "Est-ce possible ?" sont "Oui" et "Oui, probablement !" Cependant, pour bien comprendre cela, il faut "sortir" du cadre de ce livre, dans le domaine des ***volets*** dits ***transverses***.

VOLETS TRANSVERSES

Comme vous le savez, pour plier un volet dans n'importe quelle technique linéaire (dans sa signification classique), seuls deux types de lignes sont nécessaires : les lignes de connexion et les lignes d'orientation. Les lignes de connexion dans les champs, une fois pliées, forment un accordéon situé dans le plan de la feuille, sur lequel sont raccordés tous les volets de la forme de base. Les lignes d'orientation régissent la forme du champ. Et voici qu'en origami, il y a un type de volet – ***transverse*** qui est formé au moyen de plis en accordéon situés au dessus du plan du pliage. Cette disposition spatiale des éléments de la forme de base est rendue possible par l'introduction d'un nouveau type de lignes, qui sont appelées ***vectérielles***. Les lignes vectérielles réalisent la réorientation des plis en accordéon par rapport à un plan du pliage. En fait, dans la technique linéaire "pure", elles existent aussi, ces lignes sont droites et coïncident avec les berges des rivières. Dans le cas classique, les lignes vectérielles n'affectent en rien la structure du modèle – elles n'amènent pas un nouveau volet au dessus du plan de la feuille, c'est pourquoi elles ne sont pas considérées séparément.

Examinons la structure du volet transverse le plus simple (*fig. 5.25*).

Figure 5.25 : Pattern de volet transverse

Notez sur la ligne pointillée entourant le champ de la longueur «L» (*fig. 5.25.1*). C'est la ligne vectorielle. Toutes les lignes de connexion qui s'approchent des frontières du champ changent la direction du plan des plis en accordéon (*dans le cas présent, de 90 degrés*), après l'introduction de la ligne vectorielle. La longueur du volet n'est pas modifiée mais sa direction sera perpendiculaire au plan de la feuille et des volets construits sur la continuation des plis en accordéon, si toutes les lignes du pattern ne sont pas pliées à plat (*fig. 5.25.2*). Comme le pliage n'est "pas plat", dans la pratique, certaines parties de la ligne vectorielle ne seront très probablement pas pliées, et dans ces endroits, le champ aura une forme classique. Mais, quoi qu'il en soit, la structure du nouveau champ sera déjà différente. Par exemple, il est possible de retirer du champ (*fig. 5.25*) les sections latérales des lignes vectorielles comme le montre la figure 5.25.3. Suite au pliage, nous obtiendrons le même volet transverse mais cette fois avec une forme plate (*fig. 5.26*).

Figure 5.26 : Pliage du volet transverse

Ajouter des champs de ce type nous ouvre de nombreuses perspectives techniques, auxquelles nous n'avons jamais pensé auparavant. En entourant des champs complexes et des blocs par des lignes vectorielles, vous pouvez créer de nombreux objets, situés sur le même plan et réalisés à partir d'une seule feuille. Par exemple, cela peut être un groupe de personnes (*fig. 5.27.1*) ou plusieurs arbres (*fig. 5.27.2*) et ainsi de suite.

Figure 5.27 : Arbres de modèles créés sur des volets transverses

Naturellement, chacun de ces objets nécessitera un bloc séparé et une ligne vectorielle séparée. L'algorithme de conception est le même, sauf pour une petite nuance : **tous les champs du bloc transverse doivent être réunis dans une forme convexe** (c'est-à-dire, tous les angles du bloc doivent être inférieurs à 180 degrés). Ce n'est que dans ce cas qu'il est possible de créer une ligne vectorielle continue. Par exemple, cette condition implique que les blocs-BP transverses doivent avoir la forme d'un rectangle.

Comment atteindre cet objectif ? Cela doit se faire de la même manière que dans le cas de l'élimination des marais : aux dépens des rivières qui forment les champs choisis pour la conception. Par exemple, prenons l'image d'une figure humaine debout sur un plan (fig. 5.28).

Figure 5.28 : Correction de la forme du bloc transverse

Après avoir terminé la conception habituelle de l'arbre des volets de "l'homme", nous obtenons un bloc à l'intérieur duquel il y a un angle de 270 degrés (c'est-à-dire que le tracé qui entoure le bloc, n'est pas convexe).

Notez la zone sombre en bas à gauche (*fig. 5.28.1*), qui borde l'angle problématique. Pour respecter la condition d'obtention du bloc transverse, il faut remplir ce creux par des rivières fermées. Pour cela nous agissons comme suit. D'abord nous redessinons la ligne vectorielle (*ligne brisée épaisse de la figure 5.28*) et nous définissons les frontières du bloc transverse. Ensuite, nous choisissons la transformation de la rivière la plus appropriée et nous remplissons le creux comme un marais ordinaire (*fig. 5.28.2*). Après cela, nous reconstituons les lignes de connexion et le pattern de l'élément est prêt.

Il n'est pas difficile d'imaginer la diversité des projets construits à l'aide de volets transverses. Il en résulte que le degré de complexité des éléments internes peut être très variable. Certains d'entre eux peuvent avoir une structure sectorielle, cependant il est nécessaire d'effectuer à nouveau la transition vers une structure linéaire en s'approchant de la frontière du bloc. Et, si tous les angles des frontières du bloc transverse sont égaux, alors la ligne vectorielle dans chaque segment rectiligne ne changera pas l'angle de la pente (*fig.5.29.1*). Dans le cas contraire, le changement se fera au niveau des secteurs (*fig.5.29.2*), parallèlement aux lignes d'orientation dans les coins du bloc. C'est un point très important dans la conception des blocs transverses, il est nécessaire d'y prêter une attention particulière.

Figure 5.29 : Blocs transverses de formes droite et irrégulière

A ce stade, nous terminons l'étude purement théorique de la structure des champs transverses. L'information présentée nous permettra de passer à *l'intégration des mosaïques de papier dans la structure linéaire du pattern*.

Bien sûr, comme vous pouvez le voir, ce domaine de l'origami offre de très vastes perspectives d'utilisation et en décrire tous les détails pourrait être long, mais c'est déjà, comme le dit le dicton, «une toute autre histoire». Afin d'évaluer seulement une fraction des possibilités de volets transverses, jetez un oeil à la figure 5.30.

Vous êtes libre de poursuivre l'étude des lignes vectorielles des volets transverses inclinés (*fig. 5.30.1*) ou la manipulation de la surface de base, comme sur la figure 5.30.2 ; ici vous pouvez voir le système de "l'Homme à cheval", où "l'homme" est un volet transverse, "le cheval" est le résultat de la transformation de la surface de base. Avec les connaissances de base, la pratique et l'imagination, vous pouvez faire des véritables chefs-d'œuvre de l'origami moderne, en utilisant un arsenal d'outils tels que les volets transverses.

Figure 5.30 : Utilisation de volets transverses

Revenons donc aux mosaïques et à la question principale de cette section de chapitre. Comment utiliser les champs transverses pour insérer le **croisement** de superpositions dans un pattern de structure linéaire, pour construire à leur suite des éléments de la mosaïque ?

La réponse réside dans la forme des champs transverses, que l'on peut "étendre" en cas de nécessité sans changer la longueur du volet lui-même, si les parties étendues du champ sont parallèles (*fig. 5.31*) (*parfois on peut étendre les champs selon un point fixe*).

Figure 5.31 : Extension de champ transverse

En d'autres termes, pour former une mosaïque, nous pouvons utiliser un nombre illimité de lignes de connexion parallèles créées après l'étirement (*fig. 5.31.2*). De plus les groupes des plis de chaque côté du champ seront indépendants pour les transformations nécessaires pour obtenir l'ensemble souhaité de superpositions.

Nous savons déjà comment choisir des tronçons de transition et des éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions (*voir le début de ce chapitre*). Examinons maintenant comment les inclure dans des champs transverses (*fig. 5.32*).

Figure 5.32 : Formation de superpositions dans un champ transverse

Examinez la partie centrale du champ transverse. Comme vous le voyez, elle est traversée par les superpositions " XX' " et " YY' ". Le caractère de ces transformations est décrit au moyen de **secteurs transverses**.

Secteur transverse : zone à l'intérieur du champ délimitée par l'un des côtés du champ, les lignes d'orientation adjacentes et le tronçon de transition entre elles.

Je vais l'expliquer avec un exemple. Dans la figure 5.32, vous pouvez voir deux zones gris foncé. La première est délimitée par un côté du champ, "fe", les lignes d'orientation "fg" et "eh" et le tronçon de transition de "g" à "h" passant par des points, "g", "x", "y", "h". Similairement pour la deuxième zone, le côté "ad", les lignes d'orientation "ab" et "cd" et le tronçon de transition de "b" à "c" passant par les points "b", "x", "y", "c". Les deux zones sont fermées et forment la structure du champ transverse dans ces régions. Ce sont les secteurs transverses, nous les désignerons [fe] et [ad], respectivement.

Pour former une superposition interne, il faut deux sommets des tronçons de transition en vis à vis. Ainsi, à chaque "X" situé dans la structure, doit correspondre un "X'", dans le secteur transverse opposé, ainsi qu'une ligne de connexion commune qui les raccorde (*fig. 5.32*). La même chose pour la superposition "YY'".

Il s'ensuit que, pour la commodité de la conception, il est conseillé de choisir une mosaïque de sorte que les tronçons de transition opposés qui la forment soient la réflexion en miroir les uns des autres (*fig. 5.33*). Autrement dit, il faut travailler principalement avec des formes géométriques ayant un nombre pair de côtés, régulières (*fig. 5.33.2*) ou étirées (*fig. 5.33.1*).

Bien sûr, si vous le souhaitez, vous pouvez expérimenter avec des formes arbitraires de champs et leurs secteurs transverses. Mais je ne recommanderais pas de compliquer un élément déjà complexe qui a encore besoin d'être transféré sur la zone de pliage sur des points de référence et, naturellement, d'être plié.

Figure 5.33 : Ajout de mosaïque dans la structure du champ transverse

Comme le montre la figure 5.33, deux groupes de secteurs opposés en miroir, les secteurs [AB;CD] et [AD;BC], sont utilisés pour obtenir la mosaïque "X". Dans la construction de la mosaïque "Y", 3 groupes sont de même impliqués : [AB; DE], [BC; EF] et [CD; AF]. À ce propos, la partie dorsale du modèle "Gargouille" (*photo 5.34*) est similaire à 5.33.1, le volet transverse est distribué sous les pattes.

Vous avez probablement remarqué que les lignes vectorielles sont indiquées par une ligne ondulée. Une certaine imprévisibilité de la position des lignes vectorielles au pliage a déjà été notée et, dans le cas présent, nous n'obtiendrons probablement pas la forme exacte.

Figure 5.34 : Modèle "Gargouille"

Lors du pliage, les bandes de plis en accordéon se réunissent en un faisceau et entrent dans la base sous différents angles où elles sont ensuite réparties de manière inégale (*en fonction de la position des lignes de connexion par rapport aux limites des champs*). Ce n'est pas grave, parce que la région "non linéaire" est cachée à la vue par le plan de la mosaïque. C'est ce que montre clairement la figure 5.35, où figure un exemple de pliage de champ transverse avec la mosaïque 5.33.2. À la suite du pliage, nous aurons une structure linéaire HP stricte, comme dans un champ HP standard : avec des lignes d'orientation dans les coins et des lignes de connexion avec le pied.

Figure 5.35 : Construction d'un champ transverse avec mosaïque (5 : répéter les étapes 3-5 pour les autres secteurs transverses ; 6 : répéter l'étape 6 pour les autres coins)

Pour construire un tel champ transverse, procédez comme suit :

- plier la superposition formant la mosaïque et, en fait, la mosaïque elle-même (fig. 5.35.1-5.35.2) ;
- réorienter (si nécessaire) les plis des secteurs transverses de telle manière qu'ils forment l'accordéon caractéristique des méthodes linéaires (fig. 5.35.3 – 5.35.5) ;
- plier toutes les zones angulaires situées entre les secteurs transverses (fig. 5.35.6) ;

- rassembler la base du champ transverse (fig. 5.35.7) ;
- former une base plissée (pointillé noir), répartir les secteurs du domaine transverse sous le plan de la mosaïque (fig. 5.35.8) (veiller à ce que les lignes de connexion prennent "leurs" place à l'intérieur des plis en accordéon*, à la base du champ transverse);
- donner une forme plate à la surface de la mosaïque (fig. 5.35.9).

Si la structure du modèle comprend plusieurs volets de ce genre, il faut plier séquentiellement "du complexe au simple", conformément aux instructions données par l'algorithme. Il est également possible d'inclure non seulement des mosaïque plates mais aussi des mosaïques en trois dimensions (fig. 5.36).

Figure 5.36 : Eléments en trois dimensions dans un champ transverse

De la même façon, les paramètres de la mosaïque sont choisis pour limiter les superpositions aux frontières** (fig. 5.36.1). Les tronçons de transition des secteurs transverses sont choisis en fonction de ces valeurs. Ensuite, le pattern de la mosaïque (fig. 5.36.2) est inclus dans la structure globale du nouveau champ (fig. 5.36.3).

Dans la plupart des cas pratiques, il est nécessaire de paver une mosaïque avec un assez grand nombre de cellules sur la surface du champ transverse qui comprend un nombre relativement petit de lignes de connexion à la base en accordéon. Pour résoudre ce problème, vous pouvez procéder de deux façons.

1) Le moyen le plus simple, dont nous avons déjà parlé dans ce chapitre, est d'insérer le nombre souhaité de cellules grâce à ***des éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions***. Sur la figure 5.37, ils sont mis en évidence en gris foncé sur la frontière avec la zone de la mosaïque. La manipulation est effectuée sur tous les tronçons de transition.

* Comme dans un champ MP ordinaire, pour les connexions vers d'autres éléments du modèle.

** Pour ce type de mosaïques, il est souvent nécessaire de s'écarter de la symétrie en miroir des tronçons de transition, en particulier quand la forme en trois dimensions développée sur la surface n'a pas d'axes de symétrie.

Figure 5.37 : Augmentation de la fréquence de superposition

Un tel champ "complexe" est plié comme pour le champ transverse de la mosaïque (fig. 5.35), il suffit de commencer le pliage non par les tronçons de transition mais par l'élément d'augmentation de la fréquence des superpositions.

Une caractéristique remarquable de cette méthode est la possibilité de répétitions successives. C'est à dire qu'on peut ajouter non pas un, mais tout un système d'éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions pour n'importe quelle augmentation du nombre de cellules de la mosaïque sur la surface du volet.

2) La seconde méthode est plus complexe : le nombre désiré de cellules est obtenu par **ramification des superpositions** (la manœuvre elle-même a été partiellement considérée au début de ce chapitre). Elle consiste à la convertir, grâce à des transformations internes à la superposition, en deux (fig. 5.38.1) et plus (fig. 5.38.2) à partir d'une seule.

Figure 5.38 : Ramification des superpositions

Cette méthode permet d'obtenir des valeurs différentes pour les largeurs des superpositions en sortie (fig.5.38.3). Ceci s'applique lorsqu'il est nécessaire d'insérer une mosaïque basée sur la rotation des formes géométriques « atypiques » (fig. 5.9). Dans ce cas, si vous voulez réduire les valeurs (" b " < " a ", " c " < " a "), il faut que l'angle " x " < 90 °.

Lors de l'utilisation des ramifications pour augmenter le nombre de superpositions sur la surface du champ transverse, il faut veiller à ce que toutes les superpositions latérales forment une structure fermée (*fig. 5.20.1*), et que les lignes de directions d'origine, comme auparavant, restent alignés avec leurs secteurs transverses.

La forme finale de cette mosaïque est susceptible de changer son orientation par rapport à la surface du champ transverse. On peut le voir sur l'exemple des épaules du modèle "Gargouille" (*photo 5.34*). Cette possibilité doit être prise en compte à l'avance, avant même le début de la conception. Il est conseillé de s'exercer au pliage de ces fragments complexes sur des feuilles séparées, où il est possible de corriger le projet si nécessaire.

Les deux méthodes peuvent être utilisées ensemble. Il n'est donc pas nécessaire de surcharger un modèle avec des éléments supplémentaires d'augmentation de la fréquence des superpositions, ce qui augmenterait considérablement le nombre de cellules (*fig. 5.39*).

Figure 5.39 Utilisation combinée d'éléments augmentant la fréquence des superpositions

La figure 5.39.2 présente tous les éléments de base que nous avons traités dans le présent chapitre. La mosaïque elle-même, qui est la "cible" principale de ce champ transverse (*fig. 5.39.2*), est formée par des superpositions obtenues après ramification en sortie de l'élément d'augmentation de fréquence. Ces éléments sont surlignés en gris foncé (*fig. 5.39.1*) sur le bord de la mosaïque.

Les zones les plus difficiles à plier dans la mosaïque en question, avec une rotation de 45 degrés, sont 12 cellules avec rotation, alors commencez le pliage du champ transverse par elles. Le reste est inchangé : le pliage est effectué dans l'ordre décrit ci-dessus (*fig. 5.35*).

La photo 5.40 montre le pliage détaillé du champ transverse 5.39.2. La ligne vectorielle est "instable" et donc le volet lui-même au niveau les nœuds {A;B;C;D} va se retrouver "pas plat" ou "presque plat" (*photo 5.40.5*).

Si les bords de la mosaïque apparaissent trop grands, ils peuvent simplement être pliés vers l'intérieur, tandis que le traitement final de la zone avec la mosaïque peut être effectué séparément de l'autre partie du volet. Ainsi, par exemple, on peut mettre de la mosaïque sur un panier et "accrocher" quelques gaufrages en rotation sur la partie en accordéon, pour donner un panier avec des pommes, etc.

Figure 5.40 Pliage d'un champ transverse avec mosaïques insérée

Il reste à ajouter qu'il est possible d'intégrer des mosaïques dans la structure du volet pas seulement dans les techniques linéaires. Cependant, les différentes méthodes ont leurs propres spécificités, et chacune aura une approche légèrement différente : les manipulations se feront au détriment des secteurs d'orientation qui ferment les lignes de connexion sur elles-mêmes, les flèches des gratte-ciels, etc. Mais il s'agit là d'un sujet qui fera l'objet d'une autre publication et qui nécessite une étude séparée et un approfondissement des bases des méthodes sectorielles et angulaires.

PROCESSUS DE CRÉATION D'UN PATTERN DE MODELE AVEC MOSAÏQUE

La conception des modèles avec addition d'éléments en mosaïque ne diffère pas de la conception des modèles conventionnels grâce à l'extension des limites de la feuille, à l'exception du calcul des paramètres de la zone de pliage. Et comme cette information a déjà été décrite dans les chapitres précédents, passons directement à la création de modèles avec des éléments de mosaïque obtenus lorsque le motif est intégré dans la structure du pattern. Pour cela, considérons l'arbre des volets (*fig. 5.41*).

Figure 5.41 Modèle du "Pangolin" choisi pour la conception

Cet arbre des volets (*fig. 5.41 en haut à gauche*) conviendra à de nombreux modèles, qu'il s'agisse de lézards, de crocodiles, etc. Arrêtons-nous au pliage du modèle du pangolin, dont le corps est recouvert d'écaillés en losange cornées, se chevauchant les unes sur les autres. Ce modèle est idéal pour la conception de mosaïques intégrées. Et, comme l'échelle du modèle sur les pattes est plus petite que sur le dos, vous pouvez utiliser des éléments d'augmentation de la fréquence des chevauchements pour décorer la forme du corps (*Fig.5.41 à droite - le résultat final*).

Notez que, lorsque vous intégrez des mosaïques, vous devez directement vous concentrer sur l'image finale pour savoir exactement où et quand il faut ajouter les différents types de motifs. C'est très important car le rendu de la surface est crucial pour le succès de l'aspect du modèle, et selon le type de mosaïque, un jeu différent de superpositions sera formé.

Dans les autres cas de conception décrits dans les chapitres précédents, il suffisait seulement de définir l'arbre des volets (*il n'était pas nécessaire de choisir un motif particulier pour la surface du corps*). A cet égard, la création de modèles à surface mosaïque est un peu plus difficile que la conception avec des techniques spécifiques. C'est en rapport à ce qu'il faut prendre en considération une série des restrictions apparaissant avec l'introduction de rotations et de superpositions dans la structure.

Ne considérez pas le fait que l'arbre des volets a l'air trop simple. Cela n'a pas d'importance lorsque des mosaïques sont intégrées. Il est même possible que le pattern soit épouvantable pour des configurations plus simples. La complexité du projet dépendra du type de mosaïques choisies, dont les patterns ne semblent pas faciles en eux-mêmes. Si nous tenons compte du fait qu'il y aura en plus des tronçons de transition, des éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions, des champs transverses et conventionnels, le dessin pourrait bien choquer même les origamistes les plus expérimentés.

Dans ces cas, l'essentiel est de ne pas paniquer et de ne pas refuser de le créer, tant que le modèle n'aura pas été analysé en détail. Personnellement, je me suis trouvé dans cette situation à maintes reprises. Au début, vous refusez de plier le modèle à cause de l'abondance de nuances techniques, ayant peur de l'aspect dans son ensemble. Mais après avoir analysé les nœuds principaux, les tronçons de transition et autres éléments intégrés, vous comprenez que le tout est plutôt trivial.

Créez un modèle avec des mosaïques intégrées en séquence, d'un élément à l'autre, comme pour l'ajout de gaufrages (chapitre 4). Les exceptions sont les parties des mosaïques, dont toutes les superpositions sont modifiées par le passage de plis en accordéon. Dans ce cas, sur le pattern, elles peuvent être raccordées librement comme champs ou fusionnées en blocs.

La première étape consiste à choisir la mosaïque en fonction du motif à la surface du modèle réel. Dans notre cas, la mosaïque 5.42 fera l'affaire.

Figure 5.42 Ecaïlles choisies pour le pliage du modèle

C'est une mosaïque assez spectaculaire, imitant des écaïlles.

Elle est parfaite pour notre modèle, elle est très attrayante et très simple à intégrer, ce qui est important pour les modèles avec mosaïques intégrées (*à cause de la complexité du pattern final*). Maintenant il faut choisir les tronçons de transition formant de telles superpositions et il est déjà possible de commencer à concevoir.

Il est possible d'utiliser des tronçons de transition BP standard, comme dans la figure 5.43.

Figure 5.43 Tronçons de transition BP pour la mosaïque choisie

La sélection de tels tronçons de transition crée des éléments complexes qui peuvent être reliés entre eux, comme n'importe quel champ habituel, conformément à toutes les règles de raccordement. Il ne devrait pas y avoir de difficultés ici, les questions de raccordement ont été discutées plus d'une fois dans ce livre.

Nous devons maintenant déterminer la meilleure façon de créer l'ensemble principal de superpositions car notre modèle est entièrement recouvert d'écaïlles. C'est-à-dire, qu'il faut obtenir de grandes mosaïques, intégrées dans la structure du pattern. Si la mosaïque est petite et, pour ainsi dire, fait partie d'une décoration légère de la forme, alors les tronçons de transition ne représentent rien de problématique. La situation change radicalement lorsqu'il est nécessaire d'obtenir non pas 5-6 superpositions mais, disons, 30-40. Dans ces cas, les superpositions formées entraîneront le pliage d'un grand nombre de plis en zig-zag et constitueront probablement une tâche technique impossible pour le maître.

Revenons un peu en arrière et rappelons-nous le dessin du papillon au chapitre trois. Pendant la conception de l'abdomen du papillon nous avons calculé l'angle du champ MP, où se formaient des superpositions selon des conditions précises (fig.3.55). Au même endroit, il y avait la formule pour obtenir l'angle entre la surface latérale et la base du champ, en fonction de la largeur de la rivière et de la largeur du champ. Ainsi, en substituant les valeurs nécessaires pour nos conditions (voir fig. 5.42.1), on obtient que l'angle " Ψ " est égal à 60 degrés. C'est-à-dire que la conception peut être réalisée sans problème en HP "pur". Ceci nous simplifiera certainement le raccordement et le transfert sur feuille des lignes de pli dès la fin de la conception.

Ainsi, afin d'amener les mosaïques à une forme appropriée pour le raccordement, nous allons créer des champs HP complexes comme éléments (fig. 5.44.1).

Figure 5.44 Utilisation de superpositions pour intégrer des mosaïques

La figure 5.44 ne montre que la partie supérieure de ce champ complexe. En introduisant cette contrainte, nous entrons automatiquement dans le système de référence, où l'élément initial sera le bord de la queue. Dans le cas présent, ce sera approprié. Dans ce cas, il sera opportun, parce que la plus grande longueur de ce modèle est constituée par la longueur de la queue, il n'est donc pas nécessaire d'ajouter des suppléments qui ne participent pas à l'obtention de la forme extérieure. Quant à l'extension de la superposition (*fig. 5.44.1*), ici tout dépend uniquement du nombre de cellules que l'on veut utiliser en travers du volet. En se basant sur l'image du pangolin et en partant de ses proportions, nous pouvons le définir, ce sont trois rangées centrales d'écaïlles au milieu et des moitiés de chaque côté (*nous les ajouterons à l'étape finale de la conception*). Ainsi, sur la base de l'ensemble d'écaïlles sélectionnées, nous allons étendre les limites des superpositions jusqu'à la valeur requise (*fig. 5.44.2*). Ensuite, nous passons au raccordement de la partie dorsale, où, sur la base des proportions du modèle, nous devons élargir la zone des superpositions formant le dos.

Pour que le modèle plié corresponde à notre arbre des volets, il est nécessaire que les berges des rivières formant le dos soient en contact avec les bords des champs des pattes postérieures et de la base de la queue. Grâce à cette disposition, les superpositions verticales entre les mosaïques peuvent être utilisées librement (*fig. 5.45*), simplifiant ainsi le processus de conception en éliminant le secteur transverse correspondant.

Figure 5.45 Jonction entre les parties dorsale et caudale du modèle

Cependant, cette disposition, en raison de la différence de largeur des parties en mosaïque, rend nécessaire le passage des superpositions verticales latérales de la partie dorsale à travers la zone de pliage des champs de la queue (*sur la figure 5.45, elles sont mises en évidence par un pointillé vertical*). Dans ce cas, toutes les lignes de connexion les traversant seront reflétées, comme par des lignes d'orientation. Il y a aussi deux marais extérieurs "?" sur les côtés de la jonction. Comme il découle de l'arbre des volets, ces zones constitueront à l'avenir le début des blocs formant les pattes arrière du modèle.

Remarquez la large rivière délimitant le bloc de la queue. Sa surface n'a pas de motif de mosaïque et, du point de vue de la structure du modèle, n'a aucune valeur. Cependant, si vous regardez les lignes d'orientation, tout sera en place. Grâce à cette rivière, les superpositions du tronc ainsi que la mosaïque de la partie centrale. L'excédent qui en résulte peut alors être enlevé lors du pliage, en le rentrant à l'intérieur du modèle, mais pour le moment, cette rivière doit être laissée tranquille, afin de ne pas compliquer la conception ultérieure.

Regardons maintenant la structure des pattes arrière et des pattes avant. Contrairement à la mosaïque précédente, nous devons maintenant introduire des éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions afin de réduire la taille des écailles. Pour ce type de mosaïque, un nœud considéré précédemment (*fig.5.23.3*) est tout à fait approprié. La surface latérale du bloc responsable des pattes aura l'aspect suivant (*fig.5.46*).

Figure 5.46 Ajout d'éléments d'augmentation de la fréquence des superpositions

Les pattes avant sont conçues et pliées de la même manière. Il ne reste plus qu'à raccorder tous les champs manquants et à limiter la configuration résultante au carré de la zone de pliage.

En principe, pour ce modèle, chacun peut choisir les proportions de la queue, du tronc et des pattes qu'il préfère. Il suffit de répéter le même algorithme et de placer ses propres points de référence.

Le pattern final du modèle ressemble à celui illustré à la figure 5.47. Peut-être que votre résultat sera différent à certains endroits : la queue sera plus ou moins grande ou il n'y aura aucun élément pour augmenter la fréquence des superpositions, etc. Mais si vous recommencez le processus de conception, la structure générale de votre pattern de pangolin sera à peu près la même.

Figure 5.47 Pattern final du modèle "Pangolin"

SIMPLIFICATION DES PATTERNS

En étudiant les bases de la conception dans les techniques linéaires, nous sommes progressivement passés du simple au difficile, les images des modèles que vous avez conçus ont graduellement une forme et une structure. Et dans chaque chapitre, que ce soit les bases les plus simples du BP ou les subtilités des motifs en mosaïque, nous avons invariablement fait référence à ce chapitre.

La *simplification* du pattern est l'étape finale de la transformation de votre idée en une structure complète et concise, ce qui vous permet d'avoir des modèles de beauté non seulement extérieure mais aussi structurelle. Malheureusement, la joie d'obtenir le pattern final du modèle, réalisé selon une méthode linéaire, est souvent éclipsée par de sérieux problèmes survenant au pliage. La conception n'est pas une tâche facile et, si la réalisation "ne va pas" non plus, les mains peuvent tout simplement "trébucher" (et pas seulement chez les débutants, mais aussi chez les professionnels qui comprennent parfaitement toutes les subtilités des CP).

Disons que le maître a rencontré un certain pattern qui ne peut pas être plié par des méthodes connues. Après plusieurs tentatives infructueuses, en règle générale, il essaie de résoudre le problème en prenant une feuille de papier de grande taille (*il se peut que, contrairement aux attentes, elle soit encore plus difficile à plier**). Le résultat peut être déplorable, avec le sentiment que le temps a été perdu et que le désir de plier le modèle a été perdu. D'une part, avoir le sentiment de pouvoir plier le pattern et de renoncer à l'étape finale du pliage équivaut à abandonner d'un marathon 100 mètres avant la ligne d'arrivée. D'autre part, recommencer à plier, avec le sentiment qu'il manque quelque chose, c'est comme repartir au départ, juste après une course épuisante. Que faut-il faire dans de tels cas ?

Je pense que beaucoup d'origamistes éprouvent de tels moments d'insatisfaction avec le résultat, à la fois dans la conception et lors du pliage des modèles d'autres auteurs. Habituellement, commence la recherche de moyens plus élégants pour convertir certains éléments, les redéfinir, etc. Cela montre que l'expérience accumulée permet déjà de faire une transition qualitative du pliage vers, le plus important, la conception de modèles ayant une structure beaucoup plus complexe et un pattern avec un ensemble de volets en accordéon mais il manque quelque chose. Pour poursuivre votre progression, vous devrez maîtriser la théorie de la simplification des patterns.

Je ne doute pas qu'en acquérant l'expérience nécessaire, vous découvrirez de nombreuses nouvelles possibilités "alléger" les CP. La nécessité et l'efficacité de simplifier les modèles deviendront évidentes dès que vous sentirez à quel point le modèle est plié plus facilement et plus raidement.

* Plus le papier est grand, plus les conséquences de l'imprécision des plis sont grandes, et plus il est difficile de faire les plis, ne serait-ce que parce que les lignes elles-mêmes deviennent plus longues...

Et, bien sûr, sans comprendre les bases de la simplification, il est très difficile de créer des diagrammes de qualité pour des modèles, ce qui serait facilement perçu non seulement par les professionnels mais aussi par les débutants. Et donc, graduellement, pas à pas, en simplifiant certains éléments du pattern "lourd", il est facile d'obtenir un type plus "lisible" de son projet.

La connaissance des principes de base de la simplification des patterns est plus importante pour les techniques de conception linéaire, auxquelles ce livre est consacré. En effet, le trait caractéristique des "pleat-models" est un grand nombre de lignes formées au cours du travail. Actuellement, il existe un large éventail de techniques et de logiciels de support qui vous permettent de concevoir des modèles avec une structure très complexe et ramifiée. C'est pourquoi la simplification des patterns est l'un des problèmes les plus pressants pour la conception moderne. En principe, le niveau professionnel de l'origamiste peut être jugé en fonction de la qualité de la simplification du pattern et de la structure du modèle.

Malheureusement, la taille de ce livre ne nous permet pas d'examiner la simplification à la mesure où ce sujet le mérite. Ce chapitre ne présente que les principes de base. Mais, néanmoins, la simplification est un domaine de l'origami qui s'enrichit principalement sur la base de l'expérience personnelle : dans la pratique, avec des exemples spécifiques, lors de la création d'un pattern avec des paramètres prédéterminés*. Le but de ce chapitre est de donner aux auteurs novices une idée de "où aller ?" et "que chercher ?", pour un développement professionnel plus poussé. Le reste, à votre propre volonté, vous devrez le maîtriser de façon autonome.

Ainsi, la simplification des modèles se divise en deux étapes principales : l'optimisation (*la disposition mutuelle et la forme, les trajectoires des rivières*) et le remplacement (*secteurs d'orientation, blocs et autres éléments*). En fait, ces étapes se succèdent sans cesse. Si l'optimisation est mal exécutée, les remplacements ne seront généralement pas d'une grande aide car les exceptions ne comptent pas. Si la conception est faite dans l'attente de remplacements ultérieurs, l'optimisation se fera en partie par elle-même. Quand nous avons affaire au raccordement de champs complexes, lors de la conception en HP ou en MP, on peut réaliser l'allègement du pattern pour des blocs séparés, avec raccordement ultérieur des éléments modifiés. Lors de la conception en BP, la simplification se fait le plus souvent après l'obtention du pattern final. Dans un premier temps, nous examinerons en détail ce que sont les remplacements et comment ils sont effectués directement dans la pratique, en utilisant les outils disponibles.

* Personnellement, je révise régulièrement les patterns de mes anciens projets et je trouve de nouvelles simplifications prometteuses, que je n'ai pas remarquées auparavant. Certains modèles ont subi 10-15 mises à jour d'optimisation (je pense que ce n'est pas encore la limite). En fin de compte, nous apprenons tous, nous découvrons quelque chose de nouveau, d'utile.

REPLACEMENTS DES ÉLÉMENTS DU PATTERN

Le remplacement consiste à simplifier un pattern en transformant un élément en un autre qui présente une forme plus utilisable. Lors du remplacement, les paramètres de base sont conservés : longueur des volets, proportions des principaux éléments de la base, etc. Par exemple, considérons les patterns (*fig. 6.1*) pour le même arbre des volets.

Figure 6.1 version Standard et simplifiée du pattern pour cet arbre des volets

Dans les deux patterns,, il y a tous les éléments de l'arbre des volets d'origine, celui de droite semble un peu plus facile à plier que celui de gauche qui est réalisé selon une technique linéaire. Dans la version simplifiée, il y a un certain nombre de nouveaux "mini-volets" entre les champs principaux et les rivières, qui peuvent être facilement dissimulés derrière la zone de pliage (*bien que, si vous le souhaitez, ils puissent être utilisés pour décorer le modèle lors du traitement final*). Ces CP sont constitués de volets identiques et les nœuds principaux ont les mêmes coordonnées par rapport aux bords. De plus, les patterns peuvent être obtenus l'un de l'autre par simple manipulation des champs et des rivières mais nous en parlerons plus tard. Pour l'instant, nous notons que, dans ce cas, la version simplifiée du pattern a été obtenue à partir de la première juste à l'aide de *remplacements*.

Comme vous le savez déjà, chaque pattern réalisé selon une méthode linéaire a des particularités distinctives : des lignes parallèles formant la structure du modèle.

Dans le même temps, certains éléments du CP appartiennent également à des méthodes sectorielles. Dans ces zones, vous pouvez vous passer des lignes de connexion en "accordéon"*. Ces éléments prennent également leur place dans la structure linéaire à l'aide de quelques manipulations standard. Alors que, auparavant, il s'agissait d'exemples particuliers, l'utilisation de tels éléments dans le processus de *simplification*, vient au premier plan et se fait de manière intentionnelle. Ainsi, dans la figure 6.1, lors de la *simplification*, le pattern d'origine a été remplacé à plusieurs reprises par des éléments de la technique "division 22,5°"**. Il est facile de voir que les manipulations de remplacement réalisées sur des éléments similaires, sont également effectuées selon certains algorithmes, ce qui permet de se rappeler facilement la séquence des actions. Un peu de pratique et, au bout d'un certain temps, vous apprendrez comment procéder à un remplacement à l'œil nu, sans plonger dans des détails spécifiques.

Il faut noter qu'en raison de la facilité de conversion des secteurs BP en "22,5°", avec les compétences appropriées, il est possible de se débarrasser complètement des lignes de connexion en "accordéon" par les remplacement et optimisation adéquats, transformant ainsi le modèle BP en modèle "22,5°". Cette méthode simple est très souvent utilisée même par les plus grands maîtres, parce que la "division 22,5°" est l'une des techniques les plus anciennes et les plus populaires. Et "22,5°" n'est pas une exception ! C'est tout le charme de la simplification : si vous le souhaitez, vous pouvez passer d'une méthode linéaire à n'importe quelle méthode sectorielle, en changeant le pattern en partie ou en totalité. En conservant l'arbre des volets, vous pouvez considérablement simplifier le pliage, tout en laissant un accordéon de lignes de connexion pour former, par exemple, des mosaïques ou des gaufrages. Finalement, la substitution et la transition réciproque entre techniques de conception sont un domaine de recherche très prometteur, en particulier pour les amateurs de techniques sectorielles.

PRINCIPES DE BASE DE LA SIMPLIFICATION DES PATTERNS

Dans la pratique, l'ensemble du processus de simplification se fait, non pas avec des champs et des rivières, mais avec des secteurs d'orientation qui, une fois raccordés, forment des régions fermées. Il est préférable que les angles des secteurs coïncident avec les centres des champs. Dans les cas où les angles des secteurs et les centres de champ sont situés à des endroits différents, le problème ne devient pas beaucoup plus compliqué et, si nécessaire, la simplification peut n'être effectuée que sur une partie des secteurs d'orientation connectés.

Voyons quelles modifications peuvent être apportées au pattern sur le champ, sans calculs supplémentaires. Pour des raisons de simplicité, nous considérerons quelques remplacements standard en "box pleating" (dans les autres méthodes linéaires, ils sont effectués selon les mêmes principes, quelle que soit la structure des lignes d'orientation).

* Auparavant, lors de l'étude des bases de la conception en BP, HP et MP, il a été mentionné l'utilisation d'éléments venant de techniques telles que Circle-Packing, division 30°, division 22,5°, etc.

** Dans les zones où l'accordéon des lignes de raccordement se situe précisément dans le BP et où les secteurs à joindre forment des limites rectangulaires fermées.

L'action la plus simple est de vérifier et d'éliminer les lignes de connexion inutiles du pattern BP, sans utiliser de remplacements et de transformations de la forme des champs. C'est-à-dire qu'il est nécessaire de se débarrasser de toutes les lignes qui ne sont pas directement impliquées dans la formation de la structure du modèle lui-même. Par exemple, comparons les patterns de la figure 6.2, satisfaisant l'arbre des volets que nous avons choisi au début du livre (fig. 1.10).

Figure 6.2 Simplification du pattern en réduisant le nombre de lignes de connexion

Dans le pattern représenté à droite (fig. 6.2), nous avons enlevé toutes les lignes, qui ne sont pas utilisées pour la formation des champs et les rivières. Comme vous pouvez le constater, après "nettoyage" du pattern, la structure et la composition des volets sont préservés. Il est important de noter que cet exemple est abstrait et que, dans ce cas, d'un point de vue pratique, une telle diminution du nombre de lignes n'entraînera qu'une augmentation **indésirable** de la largeur des volets. Mais ce principe est très pratique et souvent utilisé dans la conception réelle. Particulièrement s'il faut changer le nombre de lignes de connexion non pas sur l'ensemble du pattern mais sur différentes zones. Par exemple, lors de la modification du pattern d'un modèle au moyen de la transformation de secteurs angulaires distincts. Ainsi, on peut remplacer une rivière "1" d'un quadrant unique du secteur BP (fig. 6.3.1) par l'élément suivant (fig. 6.3.2), constitué par les rivières "1", "2" et un champ triangulaire.

Figure 6.3 Variante de transformation d'un quadrant unique du secteur BP

Cet élément est très souvent utilisé dans les méthodes linéaires pour transformer les secteurs d'orientation.

Il est réalisé dans les angles des secteurs, en utilisant un nombre pair de lignes de connexion réfléchies. Notez que vous pouvez facilement ajuster le nombre de lignes de connexion situées de part et d'autre de la bissectrice de l'angle et obtenir un nombre pair différent de lignes dans les sections séparées par celle-ci (*fig. 6.3.3*). Ceci permet d'alléger les parties du pattern où les lignes ne sont pas nécessaires (*en revenant à la figure 6.1, vous pouvez voir l'application de cet élément*). La figure 6.4 montre la procédure de pliage de cet élément de transformation du secteur angulaire BP.

Figure 6.4 Procédure de pliage du secteur angulaire BP

La figure 6.5 montre une autre méthode de remplacement standard très efficace qui est utilisée à la jonction de deux secteurs BP en coin. Aux endroits où les lignes de raccordement font un coude en forme de Π (*fig. 6.5.1*), il est avantageux d'effectuer la modification indiquée à la figure 6.5.2. Contrairement à la transformation séparé des sections de coin (Fig. 6.3, 6.4), cette manipulation est effectuée simultanément pour les deux coins joints.

Figure 6.5 Variante de raccordement pour deux secteurs BP

Lors de cette transformation, ainsi que dans le cas de la figure 6.3, les largeurs "a" et "b" des rivières entrantes et sortantes "1" et "2" seront conservées mais il sera possible de changer le nombre de lignes de connexion pour des sections adjacentes appariées (fig. 6.5.3). Le petit champ triangulaire, formé à l'intérieur, peut être caché derrière la partie avant du pliage, et il n'affectera pas l'arbre des volets. Souvent ce petit secteur triangulaire est laissé pour former des éléments plus complexes et plus réalistes lors du traitement final : formation de pince d'écrevisse, de crabe, de scorpion etc. A l'aide de ce secteur, il est possible de faire ressortir le bord de la zone de la pince (*alors qu'à l'état pur, cette zone, pliée comme le reste de l'élément, ne laissera pas de lignes de séparation, ce qui donnera à la pince l'aspect du prolongement du membre et non d'une articulation séparée**).

Portez une attention particulière à un autre détail. Comme vous pouvez le constater, un bloc sectoriel a été formé en haut, sous la forme d'un grand triangle rectangulaire équilatéral qui ne contient pas de lignes de connexion. Il peut être laissé inchangé pendant le processus de pliage ou des lignes de connexion fermées peuvent être ajoutées pour ajuster l'épaisseur du volet. Ce bloc sectoriel est l'une des principales cellules élémentaires de la méthode "22,5°". Si vous le laissez inchangé, le pattern (fig. 6.5.2) sera plié comme ceci (fig. 6.6).

Figure 6.6 Procédure de pliage de deux secteurs BP adjacents

REMPACEMENT DE BLOCS DE SECTEURS

Passons maintenant au remplacement des blocs de secteurs qui constituent les zones fermées. Des exemples de blocs de secteurs interchangeables sont présentés à la figure 6.7.

* Bien sûr, les zones peuvent être transformées en ajoutant des plis standard en zig-zag mais s'il y a beaucoup de couches dans l'accordéon, alors il sera plus approprié de faire un tel remplacement.

Figure 6.7 Blocs de secteurs interchangeables

Tous les blocs de secteurs correspondants peuvent être remplacés les uns avec les autres, l'arbre des volets sera préservé (à l'exception des petits champs latéraux) et les paramètres de toutes les rivières entrant et sortant dans les secteurs seront inchangés. La figure 6.7 ne montre que des cas particuliers parmi un grand nombre de ces remplacements et la forme des éléments remplacés ne se limite pas à un rectangle. Mais toute la variété de ces transformations ne vous sera disponible qu'après avoir étudié les techniques sectorielles et angulaires*.

Quels types de remplacements peuvent être effectués sans calculs, afin de simplifier les patterns conçus dans d'autres méthodes linéaires ? Sauf cas particulier, vous ne pouvez utiliser qu'une diminution du nombre de lignes de connexion pour HP et MP (fig. 6.2) et la transformation du secteur angulaire séparé (fig. 6.3). Dans les autres cas, en général, les simplifications sont généralement effectuées après des calculs mathématiques ou une série de transformations graphiques fournissant les configurations nécessaires de secteurs ou de centres de champs latéraux.

OPTIMISATION DES PATTERNS BP

Le concept d'optimisation a été très souvent mentionné dans les chapitres précédents du livre. En origami, *l'optimisation* fait référence au processus de déplacement des champs et des rivières les uns par rapport aux autres sans changer la structure de la forme de base, afin de simplifier les éléments du pattern.

* Cela ne signifie pas qu'il faille chercher à faire des remplacements partout, beaucoup dépendra de l'emplacement des rivières dans des situations spécifiques. Cependant, je préfère personnellement les remplacements basés sur les méthodes "22,5°" car les valeurs des angles sont formées en divisant l'angle droit en 4 parties égales.

Dans cette section, nous examinerons séparément les principes d'optimisation pour le BP car seule cette méthode ne nécessite aucun calcul spécifique pour simplifier les modèles. De plus, il est infiniment plus facile de déplacer des champs rectangulaires et des rivières le long d'une grille rectangulaire que d'effectuer les mêmes opérations en HP et en MP. De la relative simplicité de manipulation des trajectoires des champs et des rivières, il s'ensuit que l'optimisation de BP peut être faite, dans la plupart des cas, après l'obtention du pattern final non simplifié, plutôt qu'au cours du processus de sa création.

Considérons l'optimisation du pattern de modèle BP sur un exemple spécifique. Pour cela, créons d'abord un pattern final pour l'arbre des volets, représenté dans la figure 6.8.

Figure 6.8 Arbre de volets choisi pour le modèle "Machine volante"

A en juger par la structure de l'arbre des volets, la base du modèle est semblable à celle d'un avion : avec une queue pour l'équilibrage, des ailes et des roues. Une fois le pattern créé et les procédures d'optimisation et de remplacement commencées, la forme du modèle n'aura plus d'importance, car tout le travail sera fait sur le pattern. Nous savons déjà comment le réaliser (*le processus de conception en BP est décrit en détail dans le premier chapitre*). Passons maintenant à l'optimisation, nous examinerons pour cela le pattern final (*fig. 6.9.1*) et celui du conception (*fig. 6.9.2*) pour la forme de feuille choisie.

Figure 6.9 Patterns finaux et de conception obtenus pour l'arbre des volets en question

La figure 6.9.2 montre le pattern de conception sur lequel sont tracées les lignes d'orientation et les limites des rivières utilisées à la conception. En général, il est utilisé pour l'optimisation.

Donc, tout d'abord, nous étudions le pattern pour la présence d'éléments pouvant être remplacés. Nous devons rechercher des blocs de secteurs symétriques ou des combinaisons d'éléments déjà familières*. Dans notre cas, la zone appropriée pour y effectuer des remplacements sans déplacer les champs les uns par rapport aux autres est la partie du pattern marquée en couleur sombre (fig. 6.10.1).

Figure 6.10 Processus d'optimisation de la structure du pattern

Il s'agit d'un gros bloc de secteurs en plusieurs parties et nous allons donc fixer sa position**. Puisqu'il n'y a plus de blocs sectoriels clairement définis, nous commençons à optimiser la structure, pour laquelle nous déplaçons des zones dont le déplacement conduira à la formation de nouveaux remplacements possibles (*ici, en principe, la qualité du travail dépend de votre état de préparation*).

Notez (fig. 6.10.1) qu'en déplaçant les champs inférieurs le long des lignes pointillées jusqu'à ce que les noeuds marqués par des cercles gris et blancs se chevauchent, nous obtiendrons deux zones supplémentaires (fig. 6.10.2). Désormais, ils peuvent également être remplacés par des blocs de différents types de secteurs, fabriqués selon les méthodes sectorielles. Il est possible de transformer plusieurs autres champs en les étirant comme le montre la figure 6.10.2 (*le sens de l'étirement est indiqué par des flèches pointillées sur le côté droit du pattern*). Ils sont étirés jusqu'à ce que les cercles gris et blanc soient alignés pour obtenir une autre région symétrique fermée dans la partie supérieure du pattern (fig. 6.10.3).

Suite aux manipulations effectuées, il ne reste plus qu'une seule zone BP, représentée en blanc sur la figure 6.10.3. C'est une sorte de "rivière sectorielle", à l'intérieur de laquelle les lignes de connexion sont parallèles aux limites latérales.

* Dans l'analyse, il convient d'accorder une attention particulière aux groupes de secteurs les plus importants, car les petits remplacements qui peuvent se produire en parallèle n'affecteront pas de manière significative le résultat final.

** Il existe des cas où il est nécessaire de "sacrifier" un bloc pour en former un autre, plus volumineux et complexe, mais que vous pouvez remplacer.

Les zones BP restantes n'ont plus besoin d'être divisées, ce qui signifie que la partie préparatoire de l'optimisation est terminée et que les zones sélectionnées peuvent être remplacées (*fig. 6.11.1*) (avec des blocs de secteurs appropriés de la méthode 22.5° décrite précédemment).

Le bloc de secteurs "A" est un cas particulier du bloc de secteurs illustré à la figure 6.7.2, sauf qu'il est étiré. Les remplacements des autres blocs des secteurs "B", "C" et "D" les transforment en d'autres blocs (pour notre exemple, ils conviennent sans modification).

Comme vous pouvez le constater, après les manipulations que nous avons effectuées, nous avons une image complètement différente de l'emplacement des lignes de connexion et de la forme des rivières obtenues. Il ne fait aucun doute que les actions sont correctes, toutes les lignes de connexion qui sont en dehors des blocs de secteurs n'affecteront en aucune façon les lignes à l'intérieur de ceux-ci. Quant aux rivières principales, bien qu'elles commencent à décrire toutes sortes de trajectoires, l'essentiel est que les principaux paramètres des éléments de base* (*fig. 6.11.2*) soient préservés.

Figure 6.11 Remplacement des blocs de secteur, obtention d'un pattern simplifié final

C'est là que la simplification du modèle peut être achevée, car il n'y a pas de remplacements significatifs à faire. Cependant, si vous voulez obtenir un "22, 5°" pur, vous pouvez toujours transformer les deux éléments BP restants (*fig. 6.11.2, cercles*) : "gauche", à l'endroit de la jonction de deux secteurs adjacents (*fig. 6.5*) et "droit", ransformation du secteur angulaire (*fig. 6.3*). La procédure est décrite ci-dessus. À la suite du travail effectué, nous obtenons un pattern simplifié final du modèle, qui est représenté à la figure 6.11.3.

Cette façon de simplifier ce pattern est loin d'être la seule. En pratiquant l'optimisation de patterns semblables, vous apprendrez au fil du temps un large éventail de techniques et serez en mesure d'effectuer divers remplacements, obtenant des configurations encore plus simples. Le plus important, à mon avis, mais aussi le plus difficile, c'est d'apprendre à "passer" des blocs ordinaires (*champs et rivières*) aux blocs sectoriels. Cette "vision" de la structure du pattern sous différents angles ne viendra qu'avec l'expérience, essayez, allez du simple au complexe, et vous réussirez !

* Tous les volets latéraux, formés pendant le pliage de la base, seront cachés derrière la couche avant de la zone de pliage. Ils n'affecteront pas l'ensemble final d'éléments et correspondront à la structure préétablie (l'arbre des volets).

SIMPLIFICATION DES PATTERNS HP ET MP

Le sujet de la simplification dans les méthodes HP et MP incroyablement large. Il comprend toute une "couche" de calculs mathématiques et de transformations géométriques. Le processus est compliqué par la forme irrégulière des champs raccordés, ce qui empêche l'optimisation ou le remplacement, et nécessite souvent la connaissance des bases de l'analyse mathématique. C'est pourquoi en HP et MP l'optimisation est effectuée en parallèle avec la conception, en transformant et simplifiant de manière cohérente la forme des champs qui doivent être remplacés.

Afin de comprendre la nature des difficultés rencontrées dans l'optimisation de ces techniques, nous allons considérer la structure de la grue conventionnelle. Comme décrit précédemment, elle peut être utilisée pour remplacer les blocs de secteurs carrés en BP (*fig. 6.7.3*). De même, il est possible de remplacer un bloc de secteurs quadrangulaire en MP qui forme évidemment en général des volets différents (*fig. 6.12*).

Figure 6.12 Remplacement d'un bloc de secteurs quadrangulaire en MP

A première vue, le remplacement est similaire à celui que nous avons effectué pour le BP : les diagonales sont posées, les bissectrices sont indiquées et tout est prêt. Mais, malheureusement, ce n'est pas si simple. Le problème est que, pour les longueurs de volets formées lors du pliage, un seul remplacement est possible. Ceci s'explique par le fait qu'il n'y a qu'un seul centre du cercle inscrit et qu'il ne coïncide que dans des cas particuliers avec le point d'intersection des diagonales et des bissectrices (pour les figures régulières). En général, le résultat est le suivant (*fig. 6.13.1*).

Figure 6.13 Bloc sectoriel quadrangulaire

Dans la région centrale (*fig. 6.13.1*), les rivières qui divisent notre bloc de secteur sont indiquées en couleur sombre. Elles sont formées lorsque le centre du cercle inscrit est pris comme point de raccordement des secteurs. Si le point de raccordement est le centre "x" du cercle inscrit, qui touche toutes les rivières latérales (les rivières entrantes du bloc de secteurs), alors l'image change (*fig. 6.13.2*). Tous les champs du bloc sont joints proprement et les volets eux-mêmes partent d'un point (*fig. 6.13.3*), ce dont nous avons besoin. Ce sont ces centres des cercles inscrits "x" qu'il faut rechercher à l'avance, au moyen de calculs ou de méthodes graphiques.

Par exemple, après avoir arrêté à un certain stade de la conception, nous avons décidé d'inclure un bloc de secteurs MP à l'endroit du nouveau raccordement. Tout d'abord, nous devons choisir la valeur numérique du total des rivières incluses dans notre futur bloc de secteur (*ces valeurs sont choisies en fonction de votre projet dans l'arbre des volets*). Elles sont désignées par $\{R_1, \dots, R_n\}$ et la solution du problème géométrique habituel commence par la recherche des paramètres des valeurs désirées (*fig. 6.14*).

Figure 6.14 Calcul des paramètres des blocs de secteurs MP

Par exemple, pour un bloc de secteurs triangulaire, les rayons de tous les cercles tangents satisfont à l'égalité donnée à la figure 6.14.1*.

Des équations semblables peuvent être faites pour n'importe quel bloc de secteurs. Si nous considérons une configuration symétrique avec quatre cercles autour d'un cinquième (*fig. 6.14.2*), nous devons résoudre une équation du troisième degré**, alors que dans le cas de 6.14.1, elle n'est que du deuxième degré.

* Cette égalité a été mise en évidence en son temps par le lauréat du prix Nobel de chimie (1921), l'Anglais Frederick Soddy.

** On peut trouver "r" pour un tel ensemble (un groupe de cercles autour du cercle central), mais il n'est pas si facile de résoudre l'équation pour des combinaisons plus complexes (quadrangulaires quelconques, pentagonaux et autres blocs de secteurs). Par exemple, si l'on prend le bloc de secteurs sous la forme d'un quadrilatère quelconque décrit arbitrairement, il faut en plus résoudre l'équation du 4ème degré de $Ar^4 + Br^3 + Cr^2 - D = 0$, où les coefficients sont exprimés avec $\{R_1, R_2, R_3, R_4\}$.

Ainsi, en substituant les paramètres "R1", "R2", ..., "Rn" (*rivières incluses dans le bloc de secteur*), vous devez d'abord résoudre l'équation pour "r". Puis, en traçant les cercles de rayons "R1 + r", "R2 + r", ..., "Rn + r", respectivement à partir des centres "R1", "R2", ..., "Rn", obtenir le centre du cercle "r" à leur intersection. Il ne reste plus qu'à extraire les coordonnées du centre ou à obtenir les lignes de référence nécessaires pour les transférer dans la zone de pliage.

Alors, que font les origamistes fâchés avec les mathématiques, qui ont juste besoin de remplacer un bloc de secteurs MP particulier ? Ici peut venir à l'aide la découverte de solutions graphiques à des problèmes de calcul, qui "apparaissent" périodiquement dans des journaux ou même en accès libre sur Internet. Les techniques modernes de conception évoluent rapidement, la structure des modèles créés devient de plus en plus complexe et le recours au remplacement "graphique" (*non calculé*) d'éléments complexes pour l'origami tout entier est de plus en plus pertinent.

Prenons, par exemple, le cas de la recherche du centre du cercle inscrit pour le bloc de secteurs (*fig. 6.14.1*). Ce problème peut être résolu à l'aide d'un algorithme graphique. Ce problème géométrique est largement connu sous le nom de "problème d'Apollonius" et sa solution exacte utilisant l'inversion et la transition en cercles concentriques est connue par de nombreuses personnes depuis l'école. Lors de la conception de votre bloc de secteurs MP triangulaire, vous pouvez utiliser librement les données de construction nécessaires à la résolution de ce problème (*bien sûr, sur une feuille séparée et à l'aide d'un compas et d'une règle*).

Pour une configuration symétrique avec quatre cercles autour du cinquième (*fig. 6.14.2*), une solution graphique élégante a été trouvée par le célèbre origamiste japonais Toshikazu Kawasaki, en étudiant la base généralisée de la grue classique* (*fig. 6.15*).

Figure 6.15 Solution graphique de T. Kawasaki au problème de calcul 6.14.2

Malheureusement, cette solution graphique du problème 6.14.2 ne convient que pour un quadrilatère symétrique par rapport à la diagonale ; cependant, en n'utilisant que ce genre d'éléments, il est possible de rendre le travail beaucoup plus facile.

* Source - Revue Tanteidan n ° 110, article de T. Kawasaki, cas $R2 = R4$

Il existe également des solutions générales pour un quadrilatère décrit sous une forme quelconque, mais leur obtention nécessite des manipulations plus complexes, par exemple, la solution (Fig. 6.16)*.

Figure 6.16. Solution graphique du problème de calcul 6.13 par R.Lang.

La figure 6.16.3 montre la construction d'une structure de remplacement possible pour tout bloc de secteurs quadrilatère quelconque "ABCD" (fig. 6.16.1), en transformant le sommet "0" du bloc en un système de deux champs de centres "1" et "2". Ces points se trouvent à l'intersection des tangentes aux cercles partant des bords $\{R_1;R_2;R_3;R_4\}$. Ces cercles sont formés par les rivières qui pénètrent dans un bloc de secteurs quelconque d'une composition MP. Pour obtenir les points de référence "X₁" et "X₂" de ce bloc de secteurs, il faut faire un pli "1-2" et plier les bissectrices des angles "1" et "2" [entre le segment 1-2 et les tangentes, NdT] en direction des secteurs "D" et "B" (les points recherchés se trouvent à leurs intersections, fig. 6.16.2). La "pliabilité" de cette construction simple est très facile à vérifier. Elle découle de la forme en quadrilatère "X₁Y₁X₂Y₂" qui est semblable au quadrilatère ABCD et également circonscrit, donc les sommes de ses côtés opposés sont égales. Sur cette base, il est facile de montrer que les cercles en "1" et "2" touchent la diagonale "X₁X₂" en un point, c'est-à-dire que les lignes "1-2" et "X₁-X₂" sont perpendiculaires. Selon les règles de Kawasaki, cela suffira si la différence en montagnes et en vallées est égale à deux en valeur absolue. Il reste à calculer les sommes des angles opposés partant des nœuds $\{X_1, X_2, Y_1, Y_2\}$ et la vérification est terminée.

Notez que de tels blocs de secteurs forment après raccordement des volets de grande largeur, comme dans la figure 3.17, mais maintenant ils auront une forme complexe (un "éventail" au sommet). Ces "ramifications" peuvent être utilisées pour former des décorations supplémentaires pour l'aspect des volets de grande taille (par exemple, pour détailler la queue ou la crinière d'un cheval, etc.).

* Ce bloc de secteurs et ses variations sont décrits en détail par l'origamiste et scientifique américain Robert Lang dans le livre "Origami Design Secrets" <http://www.langorigami.com/>

La gamme de ces combinaisons dans un bloc de secteurs de forme correcte est illimitée : qu'il s'agisse d'une chaîne de Steiner (*fig. 6.17.1*) ou d'un simple ensemble de volets de grande taille (*fig. 6.17.2*), vous pouvez ici laisser libre cours à votre imagination, expérimenter et choisir comme vous voulez. L'essentiel est que les rivières entrantes et sortantes correspondent à l'arbre des volets d'origine. Ayant la connaissance des bases des méthodes sectorielles, les options que vous choisirez seront, comme on dit, une "affaire de technique".

Figure 6.17 Secteurs d'orientation complexes

Ceux qui sont friands de mathématiques en origami trouveront certainement beaucoup plus d'intérêt dans les remplacements "calculés". Chaque nouvel élément donne naissance à un "nouveau" problème, et sa solution peut être complètement différente des précédents. D'un point de vue pratique, un tel approfondissement n'est souvent pas justifié en raison du temps consacré à la solution. Mais parfois c'est le contraire qui se produit, lorsqu'il est difficile d'obtenir les coordonnées d'un ou deux cercles désirés, vous pouvez facilement reconstituer toutes les lignes d'orientation de l'ensemble des blocs de secteurs et de la structure entière.

C'est là que s'achève notre tour du monde de la théorie de l'origami. Dans les prochaines éditions, nous continuerons à étudier différentes méthodes de conception. Et maintenant, je veux vous proposer de vous essayer à plier des modèles et à résoudre des casse-têtes en origami primés, "OriGame".

Bonne chance et succès créatif à vous !

PHOTOS EN COULEURS

Photo 1.1 : Modèles conçus en "Box Pleating"

Photo 2.1 : Modèles conçus en "Hex Pleating"

Photo 2.16 : Application d'une grille triangulaire

Photo 3.2 : Modèles conçus en "Mix Pleating"

Photo 3.19 : Utilisation d'un gabarit de grille variable pour le raccordement des champs MP

Photo 4.1 : Modèles conçus à partir du gaufrage

Photo 5.1 : Modèles ornés de mosaïques de papier

Photo 5.14 : Pliage de la mosaïque étudiée

Photo 5.16 : Modèles avec volets transverses, "sous-marin" et "poisson-scie"

Photo 5.34 : Modèle "Gargouille"

Photo 5.41 : Modèle du "Pangolin" choisi pour la conception

Photo 5.40 : Pliage d'un champ transverse avec mosaïques insérée

Diagramme "Fantôme" (prix du casse-tête N°1 (BP), page 213)

Diagramme "Triton" (prix du casse-tête N°2 (RP), page 214)

Diagramme "Licorne" (prix du casse-tête N°3 (HP), page 215)

CASSE-TETES PRIMES

OriGame : une classe de casse-têtes en origami, dont les principales "clés" sont déchiffrées lors du passage du système de lignes de connexion du pattern au système des champs et des rivières, des secteurs, etc. Pour cela on utilise des grilles unitaires (*bien qu'il soit possible, si on le souhaite, de faire le chiffrement à partir de n'importe quels champs MR*). De cette manière, on peut crypter presque tout, même des constructions géométriques (*il suffit de définir les coordonnées nécessaires des sommets et de déterminer la nature de leur connexion*).

A la suite, trois casse-têtes seront présentés, pour chacun desquels vous pourrez obtenir le diagramme supplémentaire d'un modèle, qui n'est pas inclus dans le livre. Les numéros codés doivent être envoyés à l'adresse électronique suivante : anermak@mail.ru

Tâche #1(BP)

Tâche #2(RP)

Tâche #3(HP)

Au cours du processus de décodage des codes, il est possible que des erreurs purement techniques apparaissent. Par conséquent, avant même les constructions graphiques, il est recommandé de créer plusieurs copies supplémentaires de ces casse-têtes (par exemple, avec un crayon et du papier calque).

"Chaton"

Difficulté: **-----

Papier: 40 g/m²

Taille de la feuille: 15-15 cm

Hauteur du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 15 minutes

12 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

23 : répéter 22-23 à l'arrière

29 : donner du volume

30 : modèle terminé

"Suricate"

Difficulté: ****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 15-15 cm

Hauteur du modèle: 11 cm

Temps de pliage: 40 minutes

11 : revenir à l'étape 5

12 : marquer

13 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

17 : faire un pli montagne sur les marques de l'étape 15

18a : pattern de la zone

19 : revenir à l'étape 13

20 : plier sur les lignes

22 : revenir à l'étape 14

28 : répéter les étapes 17-18

32 : enfoncer

33 : répéter derrière

35 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

35a : pattern de la zone

38 : rabattre le volet le long du pli des étapes 36-37

39 : pli charnière

40 : répéter les étapes 38-40 derrière

42 : Insérer le volet à l'intérieur

43 : revenir à l'étape 41

44 : répéter derrière

46 : pli charnière, répéter derrière

48 : répéter l'étape 47 derrière

50 : plier le long du pli de l'étape 22
ouvrir le volet

54 : répéter les étapes 53-54 derrière

55 : donner du volume

56 : modèle terminé

"Statue de l'île de Pâques"

Difficulté: ****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 32-32 cm

Hauteur du modèle: 14 cm

Temps de pliage: 30 minutes

5a : Pattern de la forme de base, ne pas plier sur les coordonnées

6 : lignes continues – montagne, pointillées – vallée

14 : répéter les étapes 11-13

16 : répéter les étapes 11-14 pour la couche inférieure

19 : faire une forme en trois dimensions

20 : sélectionnez les plis d'une partie de nez et d'une lèvre

22 : plier le long des lignes marquées

24 : répéter les étapes 23-24 de l'autre côté

26 : répéter derrière

28 : ouvrir les poches du côté droit

29 : placer chaque couche dans la poche correspondante

32 : donner du volume

33 : modèle terminé

"Chapeau"

Difficulté: *****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 22-22-22 cm

Hauteur du modèle: 12 cm

Temps de pliage: 1 heure

Note * Il est recommandé d'utiliser du papier sandwich

Pattern du modèle

1 : faire un hexagone

8 : grille 4-4-4

9 : grille 8-8-8

10 : grille 16-16-16

11 : faire des plis selon le CP sur la 1ère page du diagramme

12 : tourner l'hexagone central, le long des lignes marquées

15 : répéter l'étape 14 pour toutes les parties

18 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

20 : répéter les étapes 16-19 pour toutes les parties

24 : répéter les étapes 21-23 pour toutes les parties

30 : répéter les étapes 26-29 pour toutes les parties

36 : donner au modèle un aspect fini

40 : répéter les étapes 31-36 pour toutes les parties

41 : modèle terminé

"Casse-tête étoile"

Difficulté: *****----

Papier: grammage 40-50 g/m²
sandwich

Taille de la feuille: 20-20 cm

Hauteur du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 3-4 heures

Note * Ce casse-tête est composé de six modules identiques qui sont habituellement faits en bois. Ici, chacun d'eux se compose d'un carré de papier.

10 : plier le long des lignes : tiret-point – montagne, pointillée – vallée

11 : marquer le repère pour le second volet

18 : répéter les étapes 16-19 pour les deux couches

21 : faire des plis le long des lignes, comme le montre la figure

32 : mettre à plat, en pliant le grand volet le long des points

33 : rentrer la partie saillante dans la poche produite aux étapes 26-28

34 : mettre en volume en pliant le long des lignes, répéter derrière

35 : donner leur forme finale aux faces du module, marquer l'arête le long de la ligne

36 : module terminé

37 : continuer en faisant cinq autres modules identiques et procéder à l'assemblage du modèle en rassemblant les six petits modules en deux modules plus grands, comme indiqué sur la figure.

Module n°1 Module n°2

Assemblage des grands modules, relier les points. Notez que les modules 1 et 2 sont l'image l'un de l'autre dans un miroir, bien que composés de mêmes éléments

38 : modèle terminé

"Lézard"

Difficulté: *****----

Papier: grammage 30-40 g/m²
sandwich

Taille de la feuille: 30-30 cm

Hauteur du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 1,5 heures

16 : répéter les étapes 11-15 symétriquement

18 : répéter les étapes 11-15 pour les zones A et B

19 : plier le long des lignes marquées

21 : rabat ouvert

répéter les étapes 20-21 symétriquement

23 : rabat fermé

répéter les étapes 22-23 symétriquement

29 : écarter les volets, marquer les plis

42 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

55 : répéter les étapes 53-55 à droite

58 : répéter pour toutes les positions

59 : donner du volume

60 : modèle terminé

"Oiseau de feu"

Difficulté: ****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 30-30 cm

Hauteur du modèle: 20 cm

Temps de pliage: 1 heure

Note * Les pattes du modèle doivent être pliées dans une feuille séparée en forme de ruban rectangulaire (voir la dernière page "Partie 2" du diagramme)

Partie 1

13 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

17 : répéter les étapes 15-17 à gauche

22 : tous les pliages ouverts

23 : répéter les étapes 18-23 à gauche

28 : répéter les étapes 25-28 à gauche

35 : faire des plis parallèles à la ligne en gras

38 : répéter les étapes 31-38 à gauche

39 : plier le long des lignes

47 : répéter derrière

55 : donner du volume

57 : la partie 1 est terminée

58 : Partie 2

64 : plier le long des lignes

65 : vue de la forme obtenue

66 : assemblage des deux pièces obtenues

67 : modèle terminé

"Martre"

Difficulté: *****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 25-25 cm

Hauteur du modèle: 12 cm

Temps de pliage: 2-3 heures

7 : répéter les étapes 5-6

11 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

14 : répéter derrière

22 : répéter les étapes 18-21

24 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

28 : répéter les étapes 26-27 sur la face arrière avant de terminer 28

30 : répéter les étapes 29-30 sur la face arrière

38 : répéter les étapes 31-37 sur la face arrière

42 : répéter les étapes 39-42 derrière

47 : répéter les étapes 45-47 derrière

53 : répéter les étapes 50-52

65 : répéter les étapes 56-65 derrière

76 : faire un pli montagne à l'emplacement du pli de l'étape 74

83 : répéter les étapes 81-83 derrière

85 : donner du volume

86 : modèle terminé

"Rat"

Difficulté: *****----

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille: 30-30 cm

Hauteur du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 2-3 heures

- 9 : plier le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée
- 14 : répéter les étapes 11-13 à ces endroits
- 18 : répéter les étapes 15-17 sur la section symétrique
- 20 : lignes : continues – montagne, pointillées – vallée
- 21 : répéter les étapes 20-21 de l'autre côté
- 23 : répéter les étapes 23-25 sur tous les volets
- 26 : répéter les étapes 23-25 sur l'autre côté de la diagonale
- 29 : répéter les étapes 22-25 sur tous les volets de cet endroit
- 31 : répéter les étapes 28-30
- 33 : plier le long des lignes : point-trait – montagne, pointillée – vallée
- 36 : répéter l'étape 36 au verso
- 38 : redresser le volet latéral
- 39 : pli charnière
- 46 : répéter les étapes 39-46 à gauche
- 52 : plier le long des lignes obtenues à l'étape 50
- 56 : pour le pliage, utilisez les lignes obtenues à l'étape 54
- 58 : répéter derrière
- 64 : pour le pliage, utilisez les lignes obtenues aux étapes 61-63
- 65 : retour à l'étape 59
- 68 : soulever la partie arrière
- 69 : rabattre le haut du volet
- 70 : tous les plis sont ouverts
- 71 : rabattre le volet, de revenir à l'étape 68
- 77 : donner du volume au modèle le long des lignes
- 78 : modèle terminé

"Ecureuil"

Difficulté: *****----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille: 25-25 cm

Hauteur du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 2-3 heures

Note * Il est recommandé d'utiliser un papier bicolore car, dans le modèle fini, la queue et le corps sont de couleurs différentes.

12 : plier la feuille le long des lignes : continue – montagne, pointillée – vallée

18 : répéter derrière

22 : répéter les étapes 20-21 derrière

29 : plier le long des lignes

30 : en continuant le pliage de l'étape 29, nous obtenons une ligne le long de laquelle l'élément se développera dans le plan

35 : répéter derrière

38 : répéter les étapes 36-37 sur tous les volets

63 : répéter les étapes 61-62 derrière

72 : répéter les étapes 70-72 derrière

73 : donner du volume au modèle et redresser les couches sur le cou

74 : modèle terminé

"Globe"

Difficulté: *****----

Papier: 40-50 g/m²

Nombre de feuilles : 2

Taille des feuilles :

- Support : 44-44 cm

- Sphère : 20-80 cm

Hauteur du modèle: 24 cm

Temps de pliage: 10 heures

Note * Le modèle se compose de deux parties (1 sphère, 2 support), chacune d'elles étant constituée d'une feuille séparée. Une partie est composée d'une bande rectangulaire (1:4), l'autre partie est composée d'un carré.

1 : Partie 1

4 : répéter les étapes 3-4 à droite

5 : couper le ruban le long de la dernière ligne

6 : rapport des dimensions du rectangle 4:1

15 : marquer les plis verticaux sur toute hauteur du ruban

18 : marquer les plis sur chaque section verticale du ruban

23 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée.

26 : répéter les étapes 24-26 deux fois vers la droite

27 : bandeau du gaufrage

28 : partie 1 terminée

29 : Partie 2

35 : revenir à l'étape 34

38 : répéter les étapes 38-41 des deux côtés à la fois

42 : marquer les plis

45 : marquer les plis

46 : revenir à l'étape 31

47 : ouvrir tous les plis

50 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée.

52 : plier le bord à angle droit,

53 : pour plier les couches en éventail et faire tourner le bord autour d'un axe
bord à bord

55 : marquer les plis

56 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée.

57 : ouvrir tous les plis

replier les bandes en suivant les lignes obtenues à l'étape 55

58 : partie 2 terminée

59 : Passer la branche gauche par le trou dans la boule.

61 : modèle terminé

"Arbre"

Difficulté: *****-----

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 50-50 cm

Hauteur du modèle: 18 cm

Temps de pliage: 4 heures

3 : grille 8-8

4 : grille 16-16

5 : grille 32-32

14 : créer les plis, comme indiqué sur le dessin, en alignant les lignes adjacentes de la grille.

15 : lignes du pattern

28 : répéter l'étape 26 en suivant les lignes de l'étape 28a

30 : répéter les étapes 24-31 symétriquement par rapport à la ligne du milieu

33 : finaliser le modèle

34 : modèle terminé

"Girafe"

Difficulté: *****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 30-30 cm

Hauteur du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 3-4 heures

21 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée.

26 : répéter les étapes 22-25 à gauche

31 : enfoncement ouvert

33 : répéter les étapes 27-32 à gauche

39 : enfoncement fermé

40 : répéter les étapes 34-39 à gauche

49 : répéter les étapes 47-49 derrière

50 : répéter les étapes 50-51 derrière

51 : rentrer le volet

56 : répéter les étapes 53-56

59 : utiliser le pli de l'étape 57

72 : répéter l'étape 72 derrière

74 : façonner les pattes et la queue du modèle en suivant les lignes

75 : donner aux pattes avant et au cou un aspect fini

76 : donner une forme tridimensionnelle

77 : le pliage du modèle avec un papier monochrome donnera un résultat identique à celui de l'étape 78

78 : modèle terminé

"Chien"

Difficulté: *****----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 30-30 cm

Hauteur du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 3 heures

*Indications.... Si vous pliez du papier double face, la couleur du verso de la feuille originale ne servira qu'aux yeux et à la queue du modèle.

11 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée

32 : répéter les étapes 27-32

34 : abaisser doucement les volets latéraux

37 : répéter les étapes 40-42

52 : répéter les étapes 50-51

57 : répéter les étapes 52-57

74 : répéter les étapes 73-74 derrière
plier la queue

77 : répéter les étapes 75-77 derrière

78 : les yeux et la queue ne ressortiront pas si vous prenez du papier monochrome

79 : modèle terminé

"Araignée"

Difficulté: *****-----

Papier: 30-40 g/m²

Taille de la feuille : 50-50 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 4 heures

7 : grille 6-6

8 : grille 12-12

9 : grille 24-24

10 : répétez l'étape 9 pour obtenir la grille 48-48

25 : ajouter des plis dans la structure du pattern

28 : ajouter des plis dans la structure du pattern

32 : répéter les étapes 30-31

35 : modèle terminé

"Scolopendre"

Difficulté: *****--

Papier: 40-50 g/m²

Feuille : ruban rectangulaire

Taille : dépend du nombre de pattes

Note * Deux paramètres sont utilisés dans le diagramme pour décrire le processus de pliage : "A" - largeur de la bande, "N" - nombre désiré de paires de pattes du scolopendre final.

5 : réaliser une série de N plis similaires aux étapes 4-5.

6 : faire un dernier pli si N est un nombre pair.

Si N est un nombre impair, sauter l'étape 6.

7 : couper le ruban le long du dernier pli

13 : couper le ruban le long du pli de l'étape 12

17 : répétez l'étape 16 pour chaque panneau sauf A/32

18 : répétez l'étape 17

19 : vue agrandie

22 : faire des plis parallèles à ceux de l'étape 21, comme indiqué sur la figure

24 : faire des plis parallèles aux bords de la feuille, comme indiqué sur la figure

25 : commencer à plier le gaufrage le long des lignes : ligne pleine - montagne, ligne pointillée - vallée

26 : répéter sur chaque couche

30 : répéter les étapes 27-29

32 : répéter sur chaque couche

33 : ajouter des plis, répéter les étapes 31-32

35 : répéter les étapes 34-35 de l'autre côté

39 : répétez l'étape 37

40 : insérer le volet dans la poche

45 : répéter les étapes 36-44 à l'extrémité gauche du gaufrage

47 : refaire pour toutes les pattes

ligne continue - vallée, ligne pointillée - montagne

48 : modèle terminé

"Chasmosaurus"

Difficulté: *****---

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 35-35 cm

Taille du modèle: 20 cm

Temps de pliage: 4 heures

11 : ajouter des plis, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée

17 : répéter les étapes 34-35 à droite

26 : pli charnière

29 : retour à l'étape 26

31 : appuyer au centre du pli en relief pour rediriger le triangle

33 : le pli est en relief

37 : répéter les étapes 26-36 à gauche

40 : ajouter des plis, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée

46 : pli charnière

48 : répéter les étapes 45-48 derrière

50 : retourner le volet à l'envers

53 : 2 couches

54 : retourner les volets à l'envers

55 : répéter les étapes 49-55 derrière

58 : le pli est en relief

59 : pli charnière

63 : le pli est en relief, trait-point -montagne, pointillé - vallée

65 : répéter les étapes 56-65 derrière

69 : enfoncement ouvert

90 : répéter les étapes 86-89 derrière

92 : donner du volume

93 : modèle terminé

"Renard"

Difficulté: *****---

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 40-40 cm

Taille du modèle: 18 cm

Temps de pliage: 6 heures

- 5 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 12 : répéter les étapes 7-11
- 15 : revenir à l'étape 11
- 20 : répéter les étapes 13-19
- 22 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 25 : répéter les étapes 22-24
- 28 : Appuyez sur les coins latéraux des volets, pliez en montagne le long de la ligne obtenue à l'étape 15.
- 28a : pattern de la zone à l'étape 28, répéter les étapes 28a-28r symétriquement à l'axe
- 28r : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 30 : répéter les étapes 26-29 derrière
- 33 : répéter les étapes 31-32
- 40 : enfoncement ouvert
- 43 : déployer la couche, déplacer le volet supérieur en position verticale
- 45 : répéter les étapes 43-44 à gauche
- 54 : répéter les étapes 52-53 en haut
- 59 : répéter les étapes 56-58 derrière
- 66 : ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 71 : répéter les étapes 68-71 derrière
- 72 : répéter derrière
- 82 : retourner l'angle
- 84 : marquer les plis
- 86 : répéter derrière
- 89 : répéter derrière
- 91 : revenir à l'étape 67
- 92 : marquer les plis
- 93 : plier le long des lignes, répéter les étapes 92-93 derrière
- 96 : répéter les étapes 94-96 derrière
- 98 : soulever la couche supérieure
- 100 : répéter les étapes 68-71 à droite
- 103 : marquer les plis
- 104 : répéter les étapes 101-104 sur les autres volets
- 109 : donner du volume
- 110 : modèle terminé

"Griffon"

Difficulté: *****--

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 50-50 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 7-8 heures

- 3 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 10 : répéter les étapes 4-9 sur les autres volets
- 18 : plier le carré en suivant les lignes marquées
- 25 : plier 2 couches
- 27 : plier la couche supérieure
- 33 : plier le long des lignes, répéter les étapes 32-33 derrière
- 38 : répéter les étapes 35-37 à gauche
- 39 : répéter les étapes 35-38 sur tous les volets derrière
- 40a : pattern du modèle à l'étape 40
- 45 : répéter les étapes 40-45 derrière
- 52 : répéter les étapes 49-51 à droite
- 56 : répéter à droite
- 66 : sur toutes les couches
- 67 : rentrer les couches supérieures dans les poches adjacentes
- 68 : répéter sur chaque couche
- 73 : répéter les étapes 57-72 trois fois
- 75 : rentrer le volet dans la poche la plus proche
- 77 : répéter les étapes 75-76 à gauche
- 79 : répéter les étapes 75-76 deux fois
- 82 : répéter les étapes 80-81 à droite
- 86 : répéter les étapes 83-85 à gauche
- 95 : répéter les étapes 89-95 pour l'autre patte avant
- 96 : répéter derrière
- 99 : plier 3 couches
- 100 : répéter l'étape 100 sur chaque couche
- 102 : répéter les étapes 99-101 derrière
- 104 : enfoncement fermé
- 107 : répéter derrière
- 114 : plier des deux côtés
- 118 : plier le long des lignes, ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
- 127 : répéter les étapes 124-127 à gauche
- 130 : façonner la tête du modèle le long des lignes
- 133 : répéter sur chaque couche
- 134 : répéter les étapes 132-134, rentrer le volet dans la poche du cou
- 136 : modèle terminé

"Tête de cerf sur écu"

Difficulté: *****-

Papier: 30-40 g/m²

Taille de la feuille : 50-50 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 7-8 heures

- | | |
|---|--|
| 13 : plier le long des lignes
23 : plier le long des lignes
26 : répéter les étapes 23-26 sur l'autre moitié
30 : plier le long des lignes
40 : répéter les étapes 31-39 à gauche
51a : marquer les plis
52 : pli charnière
53 : pli charnière
55 : retourner à l'envers
60 : plier le long des lignes
63 : répéter les étapes 41-61 à droite
67 : répéter les étapes 65-66 derrière
72 : redresser la couche avant,répéter les étapes 72-78 derrière
73 : plier le long des lignes, angle en relief
77 : plier le long des lignes
79 : pli charnière
90 : enfoncement ouvert
95 : enfoncement ouvert
99 : remettre le volet à la position de l'étape 96
100 : enfoncement ouvert
102 : répéter les étapes 96-99 à droite sur toute la longueur du volet extérieur
104 : tous les enfoncements ouverts
105 : plier le long des lignes
110 : enfoncement ouvert
111 : revenir à l'étape 106
114 : pli charnière | 115 : revenir à l'étape 86
116 : répéter les étapes 86-115 à gauche
118 : tourner la couche supérieure
128 : répéter les étapes 117-128 à droite, enfoncement ouvert
133 : plier le long des lignes
135 : plier le volet avant le long de la ligne
136 : répéter l'étape 135 pour le volet du milieu
137 : répéter les étapes 129-136 à gauche
143 : enfoncement ouvert
148 : déployer la surface marquée
149 : commencer à plier le long des lignes
152 : répéter les étapes 96 à 99 sur toute la longueur du volet.
153 : tous les enfoncements fermés
156 : répéter les étapes 147-156 à gauche
160 : répétez les opérations de la même manière que dans les étapes 148-156, le long de la ligne 158
161 : répéter les étapes 157-160 à gauche
171 : plier le long des lignes, répéter derrière, , ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée
175 : plier le long des lignes
176 répéter les étapes 172-176 à droite
179 : donner du volume
180 : modèle terminé |
|---|--|

"Crevette-mante"

Difficulté: *****-

Papier: 25-35 g/m²

Taille de la feuille : 100-100 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 18-20 heures

Note * Afin de donner au modèle une apparence réaliste à l'étape finale, il est recommandé d'utiliser la solution de MC pour les plis en relief.

L'assemblage du CP sera effectué séquentiellement (par parties) selon l'algorithme proposé.

Pattern du modèle

- | | |
|---|--|
| 7 : grille 6-6 | 40 : ligne pleine - montagne, ligne pointillée -vallée |
| 8 : grille 12-12, répéter l'étape 8 fois, pour obtenir la grille 96-96 | 43 : zone 2.3 |
| 9 : Effectuer les plis des lignes de référence par coordonnées sur le CP, (voir première page du diagramme), grille 96-96 | 45 : partie 2 terminée |
| 10 : partie 1, correspond à la zone marquée selon les lignes | 46 : partie 3 |
| 16 : répéter les étapes 12-15 | 63 : partie 3 terminée |
| 17 : répéter les étapes 12-17 à droite | 64 : partie 4, zone 4.1, zone 4.2, zone 4.3 |
| 18 : répéter les étapes 12-13 sur la couche suivante | 65 : zone 4.1 |
| 20 : répéter les étapes 15-17 | 68 : zone 4.2, répéter la zone 4.1 |
| 21 : répéter à droite | 69 : répéter les étapes 65-67 |
| 22 : répéter les étapes 12-21 sur toutes les couches | 70 : partie 4 terminée |
| 28 : répéter les étapes 24-27 sur chaque couche | 71 : plier le long des lignes, zone 5.1, zone 5.2 |
| 31 : répéter les étapes 30-31 sur tous les plis | 72 : zone 5.1 |
| 32 : partie 1 terminée | 74 : zone 5.2 |
| 33 : partie 2, zone 2.1, zone 2.2, zone 2.3 | 81 : toutes les parties terminées |
| 34 : plier le long des lignes | 85 : répéter les étapes 84-85 de l'autre côté |
| 37 : zone 2.1 | 88 : répéter à gauche |
| | 91 : n'utiliser que le volet supérieur |
| | 92 : répéter les étapes 90-92 |
| | 100 : donner du volume en pliant le long des lignes |
| | 103 : répéter les étapes 101-103 pour le côté gauche |
| | 104 : modèle terminé |

"Chouette"

Difficulté: *-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 25-25 cm

Taille du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 10 minutes

CP

zone n°1, zone n°2

"Collie"

Difficulté: **-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 25-25 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 20 minutes

CP

"Lapin"

Difficulté: ***-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 30-30 cm

Taille du modèle: 20 cm

Temps de pliage: 40 minutes

CP

zone n°1, zone n°2

"Dragonne"

Difficulté: ****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 30-30 cm

Taille du modèle: 20 cm

Temps de pliage: 1 heure

CP

"Robe de poupée"

Difficulté: ****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 25-25 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 1 heure

CP

"Mouche"

Difficulté: *****-----

Papier: 40-50 g/m²

Taille de la feuille : 40-40 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 1,5 heure

CP

"Sauterelle"

Difficulté: *****----

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 40-40 cm

Taille du modèle: 10 cm

Temps de pliage: 3-4 heures

CP

Note* Pour obtenir cette grille DP{1;3} : la grille peut être réalisée par la combinaison de deux grilles HP{1;3}, se coupant à un angle $\beta = 82^{\circ}43'$, ou de quatre grilles RP{1;7}.

pattern du projet sur la grille d'orientation DP pattern final

"Moustique"

Difficulté: *****---

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 50-50 cm

Taille du modèle: 15 cm

Temps de pliage: 5 heures

CP

Note* Pour obtenir cette grille HP{1;3} : la grille peut être réalisée par la combinaison de deux grilles RP{1;7}.

pattern du projet sur la grille de connexion pattern final

"Corbeau"

Difficulté: *****--

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 70-70 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 8-10 heures

CP

pattern du projet pattern final

//

lignes de pliage : noir - montagne, gris - vallée

"Langouste"

Difficulté: *****-

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 70-70 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 10-12 heures

CP

Note*. Ce modèle est conçu avec la méthode sectorielle 22.5° et il ne sera pas possible de lui attribuer une grille unitaire. Prenons en considération l'obtention des principaux points de référence de ce CP.

9 : répéter l'étape 8

15 : répéter les étapes 11-14 à gauche

22 : répéter les étapes 17-21 à gauche

23 : positionner les plis

24 : les autres lignes peuvent être facilement construites d'après le CP sur la première page du schéma.

"Mille-pattes"

Difficulté: *****-

Papier: 20 g/m²

Taille de la feuille : 70-70 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 10-12 heures

CP

pattern du projet sur la grille de connexion HP

pattern final

"Trilobite"

Difficulté: *****

Papier: 20-30 g/m²

Taille de la feuille : 100-100 cm

Taille du modèle: 25 cm

Temps de pliage: 15-20 heures

CP

Note* Les lignes de la grille OP sont en miroir par rapport à l'axe du pattern

pattern du projet sur la grille d'orientation OP* pattern final

LISTE DES RÉFÉRENCES UTILISÉES

1. R. Lang. « Origami Design Secrets » (2e édition, 2012), pp. 15-17, 21-25, 52-60, 95-97, 102, 128-130, 146, 177, 180, 211.
2. T. Kawasaki. « Roses, Origami and Mathematics » (1998), pp. 17-18, 88-89, 164-166, 208-210.
3. T. Kawasaki. « Deformation Theory of Bird Base » (revue JOAS – Tanteidan 57), pp. 54, 88, 133, 208-209.
4. F. Kawahata. « Introductions to Origami Design based on Box Pleating » (revue JOAS SE, 2006), pp. 29-34, 201-204.
5. A. Ermakov. « Optimisation Informatique de la Base de la Grue » (2009), pp. 208-212.
6. A. Ermakov. « Mosaïque de papier » (revue « Papier magique » N°3, 2009), pp. 160-167, 171-172.
7. R. Lang. « Origami and Geometric Constructions » (1996-2010), pp. 38-41.
8. E. Gjerde. « Origami tessellations » (2008), pp. 163-164.
9. H. Komatsu. « Creating Model Based on $22,5^\circ$ for Novice » (2010-2011, revue JOAS – Tanteidan), pp. 199-202.
10. S. Kamiya. CP du modèle « Ryu-Jin 2,1 » (2000) pp. 68, 163, 175, 177.
11. S. Kamiya. CP du modèle « Sea Turtle » (2002), pp. 177, 194-196.
12. B. Chan. CP du modèle « Stomatopod » (2006), p. 106.
13. S. Mabona. CP du modèle « Puffer Fish » (2006), p. 146.
14. H. Takashi. CP du modèle « Geistkämpfer » (2007), P. 153.