



UNIVERSITÉ EL HADJ LAKHDAR DE BATNA
INSTITUT DE GENIE CIVILE, D'HYDRAULIQUE ET D'ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE

**LABORATOIRE D'ÉTUDE ET DE MODÉLISATION DES PHÉNOMÈNES
ARCHITECTURAUX ET URBAINS, DE L'IDÉE A L'USAGE (LEMPAU)**

MÉMOIRE DE MAGISTÈRE EN ARCHITECTURE

OPTION

CONCEPTION ARCHITECTURALE

Les actions de manipulation/production morphique dans le processus de conception architecturale

PRÉSENTÉ PAR

Mr. BOUHELIS WALID

SOUS LA DIRECTION DE MONSIEUR LE PROFESSEUR

ARROUF ABDELMALEK

MÉMOIRE SOUTENU LE 12 JUIN 2016

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Pr. Bellal Tahar	Professeur	Université de Sétif	Président
Pr. Arrouf Abdelmalek	Professeur	Université de Batna	Rapporteur
Dr. Benabess Moussadek	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr. Lamri Brahim	MCA	Université de Batna	Examineur

2016

Résumé

La présente étude fait le projet de comprendre la façon dont les formes sont générées, explorées et manipulées durant le processus de conception architecturale. Elle postule que les relations et connexions entre les croquis, générés durant l'activité de conception, peuvent être définies en termes de transformations de forme et décrites via un nombre limité d'actions de transformation morphique. Ces actions, qui offrent la possibilité de décrire le processus d'exploration et de manipulation des formes, permettent de développer une compréhension des mécanismes et des logiques de l'activité d'esquisse.

Ce travail se déploie sur deux grands volets. Le premier élabore un modèle qui permet de décrire les différentes transformations de forme opérées par les sujets concevants. Il présente les actions de transformation morphique, les définit et les classe dans des catégories. Le deuxième volet œuvre, pour sa part, à comprendre les mécanismes et les logiques de manipulation des actions de transformation des formes durant le processus de production morphique.

Les résultats montrent que le modèle élaboré par la présente étude est valide. Ils confirment que les transformations de forme, appliquées aux croquis successifs, peuvent être décrites au moyen d'un nombre restreint d'actions de transformation morphique. Elles sont ici classées en trois catégories qui sont la catégorie des actions de transformation plastique, la catégorie des actions de transformation structurale et enfin la catégorie des actions de transformation figurative.

Quant au deuxième volet de ce travail, l'analyse de l'activité de conception des différents sujets concevants révèle plusieurs logiques de manipulations des actions de transformation morphique. Elle montre ainsi que la catégorie des actions de manipulation/ production morphique la plus utilisée par les sujets concevants, est celle des actions de transformation structurale, notamment par le biais de la classe des actions de transformation constitutive.

Elle montre, par ailleurs, que l'activité de manipulation des formes est constituée de deux moments, la visualisation et la transformation. Le premier connaît une faible utilisation des actions de transformation morphique. Il sert à visualiser et à détailler les idées développées. Le deuxième quant à lui, se caractérise par une forte mobilisation des actions. Il est de nature à générer et à développer différentes alternatives de conception.

Sur un autre plan, Le processus de manipulation des formes montre une constitution bi-phasique où la première phase est exploratoire et schématique, tandis que la deuxième est raffinée et détaillée. La phase de conception schématique implique l'exploration et le développement de différentes idées de conception. Elle se caractérise par l'utilisation quasi-exclusive des actions de transformation structurale. La phase de conception raffinée quant à elle, sert à détailler l'idée retenue et à en développer plusieurs versions.

Les résultats de l'analyse montrent également que le processus de manipulation/ production morphique passe par trois niveaux d'abstraction. Le premier est celui de la solution topologique. Il désigne le regroupement des éléments de l'objet en conception suivant une logique propre au sujet concevant. Il est principalement composé des actions de transformation constitutive. Le deuxième est celui de la configuration spatiale. Le concepteur s'y intéresse au positionnement et aux relations spatiales entre les éléments de l'objet. D'où l'apparition importante des actions de transformation des rapports topologiques. Enfin le niveau de l'incarnation physique, traite la conformation ainsi que les détails de l'objet en conception. Il se distingue par la hausse importante des actions de transformation plastique et figurative.

L'analyse révèle aussi deux types de transformations chez les sujets concevants, à savoir latérale et verticale. La transformation latérale convertit une idée en une autre complètement différente. Elle est marquée par l'absence des actions de transformation figurative et la sollicitation importante des actions plastiques et structurales. La transformation verticale quant à elle, est le mouvement d'une idée à une version plus détaillée de celle-ci. Elle se caractérise par la présence faible des actions de transformation plastique et structurale ainsi que par une occurrence élevée des actions figuratives.

Il s'avère enfin que les architectes participants à cette étude ont adopté deux stratégies différentes de manipulation des formes. La première, est connue sous le nom de stratégie de conception en ampleur. Le sujet concevant y traite la forme globale de l'objet avant de s'intéresser aux détails. Elle se caractérise par l'occurrence importante des actions de transformation structurale au début du processus, et la sollicitation importante des actions plastique et figurative à mesure que l'on s'approche du terme de la tâche de conception. La deuxième, baptisée stratégie de conception en profondeur, implique l'intérêt du sujet concevant pour les détails de l'objet en conception, dès les premiers croquis. Elle se distingue par l'occurrence précoce des actions de transformation plastique et figurative.

Mots clés : Processus de manipulation et de production morphique, Transformation de la forme, actions de transformation morphique, modèle des actions de manipulation et de production morphique. Analyse des recueils d'observation « Protocol analysis », transformation morphique plastique, transformation morphique structurale, transformation morphique figurative, catégories d'actions de transformation morphique, classe d'actions de transformation morphique, moments de conception, phases de conception, stratégie de transformation morphique, transformations morphiques latérales, transformations morphiques verticales, niveaux d'abstraction, stratégies de conception.

ABSTRACT

This piece of work is concerned with how shapes are generated, explored and transformed during the architectural design process. It postulates that the relations and connections between sketches, produced during the design activity, can be defined in terms of shape transformations and described according to a closed list of shape operators. These latter provide a formal description of the shape exploration process and allow a deep understanding of its logic.

To achieve its goal, this study develops two main sections. The first section creates a model to describe the different shape transformations, performed by designers, during the sketching activity. The second section, aims to understand how do these transformations occur during the process of form manipulation.

The results show that the model developed in this study is valid. They confirm that the shape transformations, applied to successive sketches, can be described by mean of a small number of shape operators. These are here defined and classified into three categories, namely the plastic category, the structural one and finally the figurative operators category.

The analysis of the different subjects design activity reveals several facts related to the process of shape transformation. It shows that the most used operators, regardless to the subject's design experience, are the structural ones, essentially in their constitutive form.

It shows, moreover, that the activity of forms manipulation is made of two moments: visualization (see) and transformation (move). The first is used to visualize and detail the

developed ideas. The second generates and develops different design alternatives on the basis of the former ideas.

On another level, the form manipulation activity shows to be a bi-phasic process. Where the first phase is exploratory and schematic used to explore and develop different design ideas, and the second one is refined and detailed, used to transform these latter into more developed and varied solutions.

The results also show that this process passes through out three levels of abstraction. The first one is that of the topological solution. It refers to the grouping of design elements according to the designer's specific logic. The second one, is that of spatial configuration during which the designer deals with the position of design elements and their spatial relationships. The last level is that of physical incarnation. It studies the design shape and details.

The analysis also reveals two types of form transformation in the design process, namely lateral and vertical transformations. A lateral transformation converts an idea into a different one whereas a vertical transformation manipulates the same idea in order to vary it in several ways.

Finally, it appears that the architects who participated to this study adopted two different strategies of form manipulation. The first one is known as the 'breadth-first' design strategy. Using this strategy, the designer sketches the overall form first, and then goes back to individual components to change their forms or to add details. The second one, named 'depth-first' design strategy, involves filling in the details of each component since the first generated sketches, before starting to work on the form and details of the next component.

Keywords :Process of form manipulation and generation, form transformation, Shape operators, protocol analysis, plastic shape operators, structural shape operators, figurative shape operators, shape operators categories, classes of shape operators, design moments, design phases, lateral transformation, vertical transformation, levels of abstraction, design strategies.

ملخص

تهدف الدراسة الآتية إلى فهم طريقة إنشاء الأشكال, استكشافها و العمل عليها أثناء التصميم المعماري. فهي تقترح إمكانية تحديد العلاقات و الصلات المنشأة أثناء النشاط التصميمي من خلال تحولات الشكل و وصفها عن طريق عدد محدود من عمليات التحول الشكلي. هذه العمليات تمكن من وصف طريقة العمل على الأشكال و التأثير عليها, و تسمح بتطوير فهم منطوق و آليات عملية الرسم التخطيطي أثناء التصميم المعماري.

تنقسم الدراسة الآتية إلى قسمين. القسم الأول يهتم بإعداد نموذج يسمح بوصف مختلف تغيرات الشكل المنجزة من طرف المصممين عبر عدد محدود من عمليات التحول الشكلي, بالإضافة إلى تعريفها و تصنيفها إلى فئات. القسم الثاني يهدف من جهته إلى فهم منطوق و آليات استخدام عمليات تحويل الأشكال أثناء التصميم المعماري.

تبين النتائج صحة النموذج المعد في هذه الدراسة, فهي تؤكد إمكانية التعبير عن تحولات الشكل المنجزة في الرسومات المتتالية عن طريق عدد محدود من عمليات التحول الشكلي. هذه الأخيرة مصنفة إلى ثلاث فئات و هي فئة عمليات التحولات التشكيلية, فئة عمليات التحولات البنوية, و فئة عمليات التحولات التمثيلية.

أما بالنسبة للقسم الثاني من الدراسة, فقد مكنا تحليل عملية تصميم مختلف المشاركين من فهم منطوق استخدام عمليات التحويل الشكلي. النتائج تبين أن فئة عمليات التحولات الشكلية الأكثر استعمالا من طرف المهندسين المشاركين هي فئة عمليات التحولات البنوية عن طريق صنف التحولات التركيبية.

كما تبين لنا من جهة أخرى ان العمل على الأشكال يمر بطورين, التصور و التحول. الأول يعرف استعمالا ضئيلا لعمليات التحول الشكلي, فهو يستخدم لعرض و تفصيل الأفكار المطورة. الطور الثاني من جهته, يتميز باستخدام كبير لهذه العمليات, ففيه يتم إنشاء و تطوير عدة خيارات للتصميم.

تظهر من جهة أخرى, عملية معالجة الأشكال بنية ذو مرحلتين, حيث أن الأولى استكشافية و تخطيطية, بينما الثانية محسنة و مفصلة. تتضمن مرحلة التصميم التخطيطية اختبار و تطوير عدة أفكار خاصة بالتصميم, تتميز بالاستعمال الحصري لعمليات التحول البنوي. أما مرحلة التصميم المحسنة فهي تستخدم لتفصيل الفكرة المختارة و تطوير عدة نسخ منها.

النتائج تبين أيضا أن العمل و الإنتاج الشكلي يمر بثلاث مستويات تجريد. الأول هو الحل الموضوعي (الطوبولوجي), يهتم بتجميع عناصر الجسم قيد التصميم حسب منطوق خاص بالمصمم, فهو مكون أساسا من عمليات التحول التركيبية. المستوى الثاني خاص بالترتيب الفضائي, يهتم خلالها المصمم بالمواقع و العلاقات المكانية بين عناصر الجسم قيد التصميم, مما يؤدي إلى الظهور الكبير لعمليات تغيير الروابط الموضوعية. أخيرا, مستوى التجسيد المادي, يتناول شكل و تفاصيل الجسم الجاري تصميمه. يتميز هذا المستوى بالارتفاع الكبير لعمليات التحول الشكلي و التمثيلية.

التحليل يبين أيضا نوعين من التحولات لدى المصممين, ألا و هي التحولات الأفقية (جانبية) و التحولات العمودية. التحول الجانبي يغير فكرة إلى أخرى مختلفة عنها. يتسم هذا الأخير بغياب عمليات التحول التمثيلية و الاستخدام الكبير لعمليات

التحول الشكلية و البنوية. التحول العمودي يهتم من جهته, بتطوير و تفصيل عدة نسخ لنفس الفكرة. يتميز بالاستعمال الضئيل لعمليات التحول الشكلية و البنوية و ظهور عمليات التحويل التمثيلية بشكل كبير.

و قد تبين لنا أخيرا اعتماد المهندسين المعماريين المشاركين في هذه الدراسة لاستراتيجيات مختلفة للعمل على الأشكال. الأولى معروفة باسم إستراتيجية التصميم الإجمالي. المصمم يتناول الشكل الإجمالي للجسم قيد التصميم قبل الاهتمام بالتفاصيل. تتميز هذه الطريقة بالاستعمال الكبير لعمليات التحول البنوية في بداية العمل التصميمي, ثم اللجوء بعد ذلك إلى الاستخدام الهام لعمليات التحويل الشكلية و التمثيلية مع اقترابه لنهاية عملية التصميم. أما الطريقة الثانية المسماة بإستراتيجية التصميم في العمق, فهي تتضمن اهتمام المصمم بتفاصيل تصميمه من أول رسم تخطيطي. تتميز هذه المرحلة بالاستعمال المبكر لعمليات التحويل الشكلية و التمثيلية.

الكلمات المفتاحية: عملية الاستعمال و الإنتاج الشكلي, تحولات الأشكال, عمليات التحولات الشكلية, نموذج الاستعمال و الإنتاج الشكلي, تحليل البروتوكول, عمليات التحولات البنوية, عمليات التحولات التمثيلية, فئات عمليات التحولات الشكلية, فئات عمليات التحولات الشكلية, أصناف عمليات التحولات الشكلية, أطوار التصميم, مراحل التصميم, التحولات الشكلية الجانبية, التحولات الشكلية الشاقولية, مستويات التجريد, استراتيجيات التصميم.

Remerciements

J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de mémoire, monsieur le professeur Arrouf Abdelmalek pour l'aide compétente qu'il m'a apporté, pour son sérieux et sa rigueur, qui ont assuré le bon déroulement et l'accomplissement de ce travail.

Je remercie également messieurs les membres du Jury pour avoir pris le temps de lire et d'évaluer mon travail.

J'aimerais remercier tout particulièrement mes parents, sans lesquels je n'aurais jamais pu accomplir ce travail. Ma famille et mes amis pour leurs encouragements et leur soutien, Nedjla, Mohamed, Keltoum, Amir, Moncef et Foued. Et enfin Feriel pour sa présence.

Enfin, Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction.....	2
1. Le projet de recherche	3
2. Contexte.....	3
INSCRIPTION EPISTEMOLOGIQUE.....	3
INSCRIPTION PARADIGMATIQUE	3
3. Hypothèses.....	4
4. Objectifs.....	4
5. Méthodologie.....	5
6. Structure du mémoire.....	6

CHAPITRE 1

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Introduction.....	8
1. Etude génétique basée sur l’analogie avec la biologie animale	8
2. La linkographie et son utilisation	9
3. La génétique littéraire de De Biasi	11
4. Protocol analysis « analyse des recueils d’observation »	12
4.1. Présentation de la méthodologie de recherche.....	13
4.2. Approches de l’analyse des recueils d’observation	15
4.3. Techniques de l’analyse des recueils d’observation.....	15
4.4. Etapes de l’analyse des recueils d’observation	16
4.4.1. Élaboration des recueils d’observation	16

4.4.2. L'enregistrement vidéo des tâches de conception.....	16
4.4.3. Description des recueils d'observation.....	17
4.4.3.1. Segmentation.....	17
4.4.3.2. Codification.....	18
4.5. Traitement des données recueillies.....	20
5. Protocole d'analyse.....	21
5.1. Le travail empirique.....	21
5.1.1. La situation de conception.....	21
5.1.2. L'expérience.....	21
5.1.3. Participants.....	21
5.1.4. Conditions de l'expérience.....	22
5.1.5. L'énoncé de l'expérience.....	24
5.2. L'élaboration du recueil d'observation de l'activité de conception.....	25
5.3. Méthode de Description des recueils d'observation.....	25
5.3.1. Segmentation.....	25
5.3.2. Codification des recueils d'observation.....	26
5.4. Modèle de description des recueils d'observation.....	27
5.5. Traitement des données.....	29
5.6.1. Analyse des données.....	30
Niveau 1. Validation du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude.....	30
Niveau 2. Analyse de la logique de la manipulation des actions de transformation morphique.....	31
5.5.2. Interprétation des résultats.....	32
Conclusion.....	32

CHAPITRE 2

DÉFINITIONS ET CLASSIFICATIONS DES ACTIONS DU MODÈLE DE MANIPULATION/ PRODUCTION MORPHIQUE

Introduction.....	35
1. Définition de la forme	35
2. Etat de l'art.....	37
2.1. Opérations morphologiques	37
2.2. Grammaires de formes (Shape grammars) et les règles de formes (shape rules)	38
2.3. Classification des actions de transformation morphique.....	40
2.3.1. Do et les transformations de position et de couleur	40
2.3.2. Les types de transformation de Ching.....	41
2.2.1. Borie et la déformation comme cas particulier de transformation	42
2.3.4. Les opérations de transformation morphique chez Prats	42
3. Phases de conception	44
4. Définition des actions de transformation morphique	45
5. Élaboration du modèle des actions de transformation morphique	46
5.1. Transformations plastiques	46
5.1.1. Transformations de la conformation (shape transformations)	47
5.1.2. Transformations de la taille (transformations dimensionnelles)	47
5.1.3. Transformations de la couleur	47
5.1.4. Transformations de la texture.....	47
5.2. Transformations structurales	48
5.2.1. Transformations des rapports topologiques (changement de position).....	49
5.2.2. Transformations des rapports géométriques (changement d'orientation)	49
5.2.2.1. Rotation	49
5.2.2.2. Réflexion.....	50

5.2.3. Transformations constitutives	50
5.2.1.1. Ajout.....	50
5.2.1.2. Suppression.....	50
5.2.1.3. Division	50
5.2.1.4. Combinaison	50
5.2.1.5. Substitution	50
5.3. Transformations figuratives	51
5.3.1. Changer le Type de présentation.....	51
5.3.2. Changer l'espace d'action/ Objet.....	52
5.3.3. Changer l'espace d'action/ Etages	52
5.3.4. Changer de point de vue	52
5.3.5. Changer de direction de vue.....	52
5.3.6. Changer la taille du croquis	52
5.3.7. Changer le niveau de complexité.....	52
Conclusion	54

CHAPITRE 3

Traitement des donnés (analyse et interprétation)

Introduction.....	63
1. Processus d'analyse des recueils d'observations	63
1.1. Description/ codification des recueils d'observation	64
2. Lecture des données codifiées.....	64
2.1. Actions de transformation morphique	65
2.2. Catégories d'actions de transformation morphique.....	67

2.3. Classes d'actions de transformation morphique	68
3. Analyse des données	70
3.1. Validation du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude	70
3.1.1. Contenu	71
3.1.2. Structure	71
3.2. La logique de manipulation des actions du modèle de production morphique	73
3.2. 1. Intensité de sollicitation des actions de transformation morphique.....	73
3.2.1.1. Catégories d'actions de transformation morphique	73
3.2.1.2. Classes d'actions de transformation morphique	74
3.2.2. Temporalité de sollicitation des actions de transformation morphique	78
3.2.3. Mode de structuration du processus de manipulation/ production morphique ...	99
3.2.3.1. Phases de conception	100
Niveau 1. Actions de transformation morphique.....	102
Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique	104
Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique.....	105
Niveau 4. Actions de transformation constitutive	107
3.2.3.2. Moments de conception	108
Niveau 1. Actions de transformation morphique.....	110
Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique	110
Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique.....	112
Niveau 4. Actions de transformation constitutive	113
Caractéristiques des types de visualisation et de transformation	114
Niveau 1. Catégories d'actions de transformation morphique	114
Niveau 2. Classes d'actions de transformation morphique.....	115
Niveau 3. Actions de transformation constitutive.....	117
3.2.3.3. Typologie des transformations.....	118

Niveau 1. Actions de transformation morphique.....	120
Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique.....	121
Niveau 3. Classe d'actions de transformation morphique.....	123
Niveau 4. Actions de transformation constitutive.....	124
3.2.3.4. Niveaux d'abstraction.....	125
Niveau 1. Actions de transformation morphique.....	127
Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique.....	129
Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique.....	130
Niveau 4. Actions de transformation constitutive.....	132
3.2.3.5. Stratégies de conception.....	134
Conclusion	138

CONCLUSION GÉNÉRALE

1. Apports de cette recherche.....	145
1.1. Les apports de connaissance.....	145
1.2. Les apports méthodologiques.....	151
2. Limites.....	152
3. Perspectives.....	152

BIBLIOGRAPHIE	154
----------------------------	-----

ANNEXES

Tables des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Exemples de variations de l'objet en conception (Gero, 2006).....	9
Figure 2 : Evolution de la fréquence des publications, basées sur le protocol analysis, au fil du temps (Jiang & Yen, 2009)	14
Figure 3 : Répartition des travaux de recherche utilisant l'analyse des recueils d'observation sur les différentes disciplines de conception (Jiang & yen, 2009)	14
Figure 4 : Répartition de l'usage de L'approche orientée-processus et de l'approche orientée-contenu dans les travaux de recherche en conception (Jiang & yen, 2009)	15
Figure 5 : La mise en place de l'équipement de l'expérience (Blida, 2002).....	17
Figure 6 : Le processus d'analyse des données des protocoles verbaux (Yang, 2002)	20
Figure 7 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 1	22
Figure 8 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 2.....	22
Figure 9 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 3.....	22
Figure 10 : La mise en place des deux caméras de l'expérience	23
Figure 11 : Deux pages du recueil d'observations de l'un des architectes participants à l'expérience.....	25
Figure 12 : Exemples d'actions de transformation morphique	27
Figure 13 : Résumé de la démarche adoptée par le présent travail	33
Figure 14 : Les niveaux constitutifs de la forme architecturale (Borie, 2006).....	36
Figure 15 : Des exemples des Transformations "verticale et latérale" (Rodgers, 2000) .	37
Figure 16 : Une règle de forme, b) une forme S, et c) exemples de l'application de la règle de forme à la forme S (Prats, 2009).....	40
Figure 17 : Le homard et la limace (Ching, 2007).....	41
Figure 18 : Les différentes classes d'actions de transformation plastique (Borie, 2006 ; Ching, 2007 ; Prats, 2009).....	48

Figure 19 : Les différentes classes d'actions de transformation structurale (Borie, 2006 ; Ching, 2007 ; Prats, 2009).....	51
Figure 20 : Catégories et classes d'actions du modèle de manipulation/production morphique.....	53
Figure 21 : Séquence de croquis tirée des recueils d'observation de l'architecte participant 2	63
Figure 22 : Résultats l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description des sujets concevants 1 et 2	71
Figure 23 : résultats de l'analyse de la classification hiérarchique ascendante des recueils de description des deux sujets concevants	72
Figure 24 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, pour chacun des sujets concevants	74
Figure 25 : Croquis produits par les deux sujets concevants.....	76
Figure 26 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 1, b) croquis 2, c) croquis 3, d) croquis 5	80
Figure 27 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 6, b) croquis 7.....	81
Figure 28 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 9, b) croquis 14.....	82
Figure 29 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 15, b) croquis 18	82
Figure 30 : Croquis produit par le sujet concevant 2 ; a) croquis 2, b) croquis 3.....	83
Figure 31 : Croquis produit par le sujet concevant 2 ; en l'occurrence le croquis 4	84
Figure 32 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 15)	86
Figure 33 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 2 (tableau 16)	87
Figure 34 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 17)	95
Figure 35 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 18)	96

Figure 36 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique par moment de conception.....	110
Figure 37 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau du moment de visualisation	111
Figure 38 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau du moment de transformation	111
Figure 39 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau du moment de visualisation	112
Figure 40 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau du moment de transformation	112
Figure 41 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau du moment de visualisation	113
Figure 42 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau du moment de transformation	114
Figure 43 : Croquis produits par le sujet concevant 1	116
Figure 44 : Croquis produits par le sujet concevant 1. Les figure a, b et c, représentent, selon leur ordre d'occurrence, les trois versions de l'idée retenue.....	118

Liste des graphes

Graphe 1 : Le facteur un de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description du sujet concevant 1.....	75
Graphe 2 : Le facteur un de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description du sujet concevant 2.....	75
Graphe 3 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, pour chacun des sujets concevants	77
Graphe 4 : Évolution des actions de transformation morphique entre les différents croquis consécutifs du sujet concevant 1.....	79
Graphe 5 : Évolution des actions de transformation morphique entre les différents croquis consécutifs du sujet concevant 2.....	79

Graphe 6 : Dendrogramme de l'analyse hiérarchique ascendante des recueils de description du sujet concevant 1 (tableau 15)	89
Graphe 7 : Dendrogramme de l'analyse hiérarchique ascendante des recueils de description du sujet concevant 2 (tableau 16)	90
Graphe 8 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque groupe de croquis, produits par le sujet concevant 1	91
Graphe 9 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 1	92
Graphe 10 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par niveau de conception, chez le sujet concevant 1.....	92
Graphe 11 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque groupe de croquis, produits par le sujet concevant 2	93
Graphe 12 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 2	94
Graphe 13 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par niveau de conception, chez le sujet concevant 2.....	94
Graphe 14 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 1	98
Graphe 15 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 2	99
Graphe 16 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1	101
Graphe 17 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2.....	101
Graphe 18 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de chaque de phase de conception, chez le sujet concevant 1.....	103
Graphe 19 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de chaque de phase de conception, chez le sujet concevant 2.....	103

Graphe 20 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1	104
Graphe 21 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2	104
Graphe 22 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1	106
Graphe 23 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2	106
Graphe 24 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1	107
Graphe 25 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2	107
Graphe 26 : Évolution des actions de manipulation/ production morphique dans le temps, chez le sujet concevant 1.....	109
Graphe 27 : Évolution des actions de manipulation/ production morphique dans le temps, chez le sujet concevant 2.....	109
Graphe 28 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1	115
Graphe 29 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1	116
Graphe 30 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1	117
Graphe 31 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1. Ce graphe révèle la	

situation des types de transformation latérale et verticale au long du processus de conception, ainsi que leurs fréquences d'occurrences.	119
Graphe 32 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2. Ce graphe révèle la situation des types de transformation latérale et verticale au long du processus de conception, ainsi que leurs fréquences d'occurrences	119
Graphe 33 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau des transformations verticales et latérales, chez le sujet concevant 1	120
Graphe 34 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau des transformations verticales et latérales, chez le sujet concevant 2	120
Graphe 35 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant1	122
Graphe 36 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant2	122
Graphe 37 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant1	123
Graphe 38 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant2	123
Graphe 39 : Moyenne d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant 1	125
Graphe 40 : Moyenne d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant 2	125
Graphe 41 : Diagramme de l'évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1. Il révèle la situation des trois niveaux d'abstraction au sein du processus de conception, ainsi que leur longueur respective	127

Graphe 42 : Diagramme de l'évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2. Il révèle la situation des trois niveaux d'abstraction au sein du processus de conception, ainsi que leur longueur respective.....	127
Graphe 43 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, calculée pour chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1	128
Graphe 44 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, calculée pour chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2	128
Graphe 45 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1	129
Graphe 46 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2	130
Graphe 47 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1	131
Graphe 48 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2	131
Graphe 49 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1	133
Graphe 50 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2	133
Graphe 51 : Évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, entre les différents croquis, générés par le sujet concevant 1	135
Graphe 52 : Évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, entre les différents croquis, produits par le sujet concevant 2	153

Graphe 53 : diagramme de l'évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par classe d'actions, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 1.136

Graphe 54 : diagramme de l'évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par classe d'actions, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2.137

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les quatre méthodes pour l'analyse empirique de l'activité de conception (Arrouf, 2007).....	5
Tableau 2 : Critères d'objectivation de la codification des données en vue de leur analyse (Yang, 2002).....	19
Tableau 3 : Modèle générale de description des recueils d'observation.....	28
Tableau 4 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation des sujets.	29
Tableau 5 : Recueil de description tiré du traitement des recueils d'observations de chaque sujet concevant.....	29
Tableau 6 : Recueil de description tiré du traitement des recueils d'observation de chaque sujet concevant.....	30
Tableau 7 : Les opérations de transformation morphique identifiées par Prats (2009). 43	
Tableau 8 : Les opérations de transformation morphique identifiées par Lim (2008)	44
Tableau 9 : les cinq niveaux de complexité élaborés par Rodgers (2000).....	53
Tableau 10 : Modèle des actions de transformation morphique élaboré par la présente étude.....	54
Tableau 11 : Nombre d'actions de transformation morphique, par passage de codification, pour les deux sujets concevants.....	64
Tableau 12 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1.....	65
Tableau 13 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 2.....	66

Tableau 14 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1	67
Tableau 15 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 2	68
Tableau 16 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1	69
Tableau 17 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 2	69
Tableau 18 : coefficient de corrélation entre les catégories d'actions de manipulation/production morphique chez les deux sujets concevants	102

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

La conception architecturale est aujourd'hui un objet de recherche privilégié, en témoigne le nombre et la diversité des publications sur ce thème (Lebahar ; Boudon et al, Canon ; Prost ; Gero, 2006 ; Tversky, 2006 ; McNeill, 2006 ; Arrouf, 2006 ; 2012). Ces travaux montrent que la conception architecturale est un processus composé de plusieurs phases. L'une d'elles est la phase de la manipulation/ production morphique (Arrouf, 2006 ; 2012). Durant ce microprocessus incrémental et itératif, la simulation graphique est fréquemment utilisée. Elle permet d'une part, d'enregistrer des idées pour une utilisation ultérieure et, d'autre part, d'explorer et de développer différentes alternatives de conception d'une manière rapide et flexible. Elle implique une transformation de la forme globale générée par les sujets concevants ou des parties de celle-ci (Lim, 2008).

Ainsi, le sujet concevant utilise différents types de représentations, correspondant aux différents stades de la conception, pour générer et évaluer des réponses possibles à sa situation de conception. Il manipule différentes configurations formelles et passe d'une conformation à une autre, moyennant des opérations de transformation morphique (Lim, 2008 ; Prats, 2009 ; Jowers, 2010). Chaque croquis est transformé par le sujet concevant par l'ajout, la suppression, la modification ou le remplacement de certaines parties jusqu'à ce que le point de satisfecit soit atteint et la réponse tant recherchée soit définitivement formulée (Prats, 2006, 2009).

La principale question de recherche posée par le présent travail est : comment les sujets concevants génèrent-ils des formes durant la phase de manipulation / production morphique?

Notre investigation s'intéresse tout particulièrement à la manière dont les croquis sont générés et manipulés et aux transformations de forme qui permettent le déploiement d'un tel processus. Le présent travail prend appui sur une étude expérimentale de l'activité de conception menée par plusieurs sujets concevants. Il fait le projet de répertorier l'ensemble des transformations morphiques qu'ils mobilisent avant de les formaliser au moyen d'un ensemble d'actions de transformation morphique qui décrivent explicitement les connexions entre croquis. Il permet ainsi une meilleure compréhension de l'activité de dessin dans le processus de conception architecturale.

1. Le projet de recherche

Schön et Wiggins (1992), suggèrent que les concepteurs procèdent par des cycles de « see-move-see ». « Seeing » ou « voir » concerne le processus de perception/interprétation des éléments de la conception graphiquement figurés. « Moving » ou « bouger » concerne le processus de transformation qui en découle et qui permet le passage d'une conformation morphique à une autre. Le présent travail fait le projet de s'intéresser à ce processus de conversation à double sens, entre le concepteur et le conçu. Il se focalise sur la compréhension et l'énonciation des mécanismes et des actions de conception qui permettent le déploiement spatio-temporel du microprocessus de production morphique.

Partant de cet objet de connaissance, ce mémoire pose trois grandes questions de recherche :

a) Quelle est la logique de manipulation des formes durant le processus de production morphique? b) Comment se fait le passage d'une conformation morphique à une autre durant ce processus? c) Quelles sont les actions de conception qui permettent le déploiement du processus?

2. Contexte

a. INSCRIPTION EPISTEMOLOGIQUE

Son objet de connaissance étant l'activité de conception, considérée dans sa phase d'initialisation, ce travail s'inscrit dans la sphère épistémologique des sciences de la conception. En tant que tel, il n'a pas de visée opératoire et ses objectifs sont de l'ordre de la seule connaissance.

b. INSCRIPTION PARADIGMATIQUE

Sur le plan paradigmatique, ce travail présente une triple inscription:

1. Il s'intéresse au contenu actif du processus de conception, à savoir l'activité de conception, considérée comme processus de production sémio-morphique qui prend la forme d'un système complexe d'opérations cognitives inter reliées (Arrouf, 2006; 2008; 2012).
2. Il est empirique et se situe dans la catégorie des *études investigatrices du travail de conception*.

3. Il part, développe et continue le modèle de l'activité de conception, élaboré par Arrouf (2006, 2012) et des catégories d'action cognitives qu'il a développées, en vue de comprendre la logique de manipulation des formes durant le processus de production morphique, de répertorier les actions de conception qui permettent son déploiement et de mesurer leur ordre d'occurrence .
4. L'inscription paradigmatique de ce travail signifie qu'il considère le processus de conception comme un enchaînement d'actions de conception (Noèses) qui portent sur des objets de conception (Noèmes) en vue de produire des changements d'état.

3. Hypothèses

Eu regard à son objet de connaissance, ce projet postule que :

1. Le sous-processus de manipulation/ production morphique du processus de conception architecturale est fait d'un nombre limité de noèses.
2. Celles-ci sont potentiellement connaissables et lisibles à travers les modalités d'enchaînement des noèmes morphiques manipulés par le processus.
3. L'enchaînement des noèmes durant ce processus est descriptible par des opérations de transformation formelle.
4. Les noèses de manipulation/ production morphique sont des actions de transformation d'états morphiques.

4. Objectifs

Les hypothèses énoncées appellent les objectifs suivants :

1. Répertorier les noèmes qui composent le processus de manipulation/production morphique.
2. Répertorier les types d'enchaînement des noèmes qui composent le processus de manipulation/production morphique.
3. Inférer et répertorier les règles d'enchaînement des noèmes qui régissent le déploiement du processus de manipulation/production morphique.
4. Déterminer et répertorier les noèses de manipulation/ production morphique et modéliser leur ordre d'occurrence.

5. Méthodologie

Plusieurs méthodes ont été élaborées en vue d'étudier et d'analyser l'activité de conception. Ces méthodes ont ceci de commun, qu'elles étudient les traces laissées par l'activité de conception: dessins, écrits, commentaires verbaux, gestuelle, etc. Leur différence réside cependant, dans le modèle de prise en charge des données considérées et dans l'objectif poursuivi par chacune d'elles. Ainsi, l'analyse génétique, que ce soit celle d'inspiration littéraire de De Biasi (1990, 2000) ou celle d'inspiration biologique de Gero (1996, 1997, 1999), tente de comprendre le déroulement du processus en suivant le développement progressif du « paradigme de forme » ou ce que l'on pourrait appeler le « génotype formel ou conceptuel ». Elle se base pour cela et de manière exclusive sur le « dossier de genèse de l'œuvre ». L'analyse cognitive cherche, pour sa part, à définir les actions cognitives qui composent l'activité de conception et leur mode d'enchaînement dans le temps du processus.

<i>Classe des études</i>	<i>Méthodes</i>
<i>Etudes cognitives</i>	<i>L'analyse des recueils d'observation ou Protocol analysis, développée par Ericsson and Simon (1986)</i>
	<i>L'analyse cognitive française (Lebahar, 1983; Quintrand, 1985; 1993)</i>
<i>Etudes génétiques</i>	<i>La génétique architecturale de De Biasi (1990, 2000)</i>
	<i>Etude génétique basée sur l'analogie avec la biologie animale (Gero & al., 1996; 1997;1999)</i>

Tableau 1 : Les quatre méthodes pour l'analyse empirique de l'activité de conception (Arrouf, 2007).

Partant des objectifs qui sont les siens, ce travail adopte la méthode dite « *analyse des recueils d'observation ou Protocol analysis* » développée par Ericsson and Simon (1986), dont la définition est détaillée dans le chapitre qui suit.

6. Structure du mémoire

Ce travail de recherche se compose de trois chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre est dédié à la présentation de la méthodologie de recherche. Il définit cette dernière, en donne un aperçu général et en expose les approches et les techniques. Il aboutit enfin à la méthode d'analyse adoptée et définit le protocole d'analyse préconisé.

Le deuxième chapitre élabore le modèle des actions de manipulation/ production morphique, sur la base de différents travaux, dédiés à l'étude de la manipulation des formes durant l'activité de conception. Il définit et classe les actions de transformation morphique qui composent le modèle ainsi élaboré.

Le troisième chapitre utilise le modèle élaboré pour analyser des situations de conception expérimentales. Il aboutit ainsi à la définition des logiques qui permettent le déploiement de l'activité de manipulation des formes, durant le processus de conception architecturale.

La conclusion générale, présente enfin les résultats obtenus et répond aux questions de cette recherche, dont elle formule aussi les apports, les limites et les perspectives.

CHAPITRE 1

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Introduction

L'objet de la présente étude, tel qu'énoncé par l'introduction générale, consiste à définir les actions de transformation morphique qui permettent le déploiement du processus de manipulation / production des formes au cours de l'activité de conception. Pour ce faire, l'analyse des recueils d'observation « **Protocol analysis** » semble être la voie la plus indiquée. Elle permet, en effet, de conduire des études objectives sur le processus de conception, d'analyser ses tâches et de comprendre leur progression dans le temps.

Ce chapitre traite des questions méthodologiques propres à ce travail. Il se divise en trois parties. La première expose le cadre méthodologique de la présente recherche, et définit quelques unes des approches les plus en vue, dans le domaine des recherches investigatrices de l'activité de conception architecturale. Elle aboutit au choix de la méthodologie adoptée, à savoir celle de « l'analyse des recueils d'observation » (Arrouf, 2006 ; 2012) de son nom anglais « Protocol analysis ».

La deuxième partie du présent chapitre se consacre à la présentation des fondements théoriques de la méthodologie retenue, et des instruments d'analyse qui en découlent en vue d'une bonne maîtrise de ceux-ci avant leur application au corpus choisi.

Pour clore ce chapitre, un protocole d'analyse est élaboré. Il répond à l'objet de cette étude. Il est présenté et expliqué dans le dernier tiers du chapitre.

1. Étude génétique basée sur l'analogie avec la biologie animale

Gero et Shi (1999) soutiennent qu'une analogie avec la biologie évolutive s'avère être une stratégie efficace pour l'élaboration d'une compréhension solide du processus de conception et le développement de nouvelles méthodes pour y arriver. Ils partent ainsi du principe que l'objet en conception se compose d'un certain nombre de composants, comme un corps se constitue d'organes, et suggèrent que son développement est similaire à celui des organes vivants.

Ces développements se diviseraient en trois types qui correspondent aux types de gènes de mutation identifiés par Gero (1990), à savoir le gène d'attribut, le gène de régulation et enfin le gène de structure. Le gène d'attribut est lié à la modification de la conformation et de la taille des composants de l'objet en conception. Le gène de régulation est apparenté à

l'existence des composants. Il contrôle l'apparition et la disparition d'un composant. Sa mutation engendre une variation globale de l'objet en conception. Le gène de structure, quant à lui, est lié à la variation du positionnement et de la couleur des éléments qui composent l'objet en conception.

La figure 1, est une illustration développée par Gero (1999) pour démontrer le potentiel d'une telle analogie. Elle montre différentes variations et transformation de l'objet en conception. Par exemple, L'objet B, est une variation radicale de la hiérarchie de l'objet A. Celle-ci est produite par la permutation de la salle de l'aile gauche avec la porte de la chambre de l'aile droite. Alors que l'objet C, illustre une variation progressive de l'objet A. La fenêtre du toit du hall d'entrée et celle du volume de l'aile droite ont subi une modification au niveau de l'attribut de la conformation, passant d'une forme rectangulaire à une forme carrée.

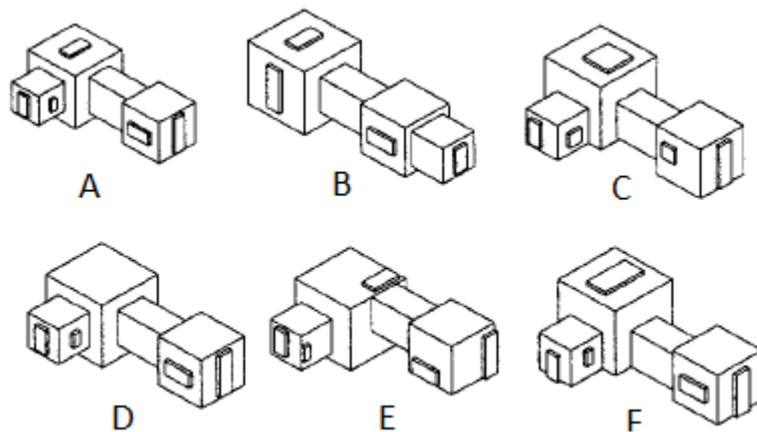


Figure 1 : Exemples de variations de l'objet en conception (Source : Gero, 2006).

A l'instar de l'approche développée par Gero (1999), le présent travail stipule que l'activité de manipulation des formes, durant le processus de conception, se déploie par des modifications et des variations progressives des éléments qui constituent l'objet en conception. Il suggère par ailleurs, que ces variations et transformations, peuvent être décrites par des opérations, qui sont répertoriées et classées selon des catégories.

2. La linkographie et son utilisation

La linkographie est une technique utilisée dans l'analyse des recueils d'observations, pour étudier les activités cognitives des concepteurs. Elle a été introduite par Goldschmidt (1990) en vue d'évaluer la productivité des concepteurs (Gero & Kan, 2006). Cette technique, décompose le processus de conception en divisant les protocoles enregistrés en petites unités appelées "design moves" ou mouvements de conception (Gero & Kan, 2006). Goldschmidt,

définit un mouvement de conception comme étant: "une étape, un acte, une opération, qui transforme la situation de conception par rapport à l'état dans lequel il était avant ce mouvement" (Goldschmidt, 1995), ou "un acte de raisonnement qui présente une proposition cohérente relative à une entité en phase de conception" (Goldschmidt, 1992).

Un linkographe est ensuite construit. Il permet de discerner les relations entre les mouvements. Chaque relation forme un lien. Le linkographe constitue ainsi une représentation graphique de la session de conception qui permet de retracer les associations qui caractérisent chaque mouvement de conception. Le processus de conception peut alors être examiné en termes de modèles, dans le linkographe, qui affiche la structure du raisonnement de conception. Trois modèles distincts ont été identifiés : morceau, un groupe de mouvements qui sont presque exclusivement liés entre eux ; réseau, un grand nombre de liens entre un nombre relativement faible de mouvements; et enfin la piste en dents de scie, une séquence spéciale de mouvements liés (Gero & Kan, 2006).

Goldschmidt a également identifié deux types de liens: "backlinks" ou lien de postériorité et "forelinks" ou liens d'antériorité. Les liens de postériorité sont des liens de mouvement qui se connectent aux mouvements précédents et les liens d'antériorité sont des liens de mouvement qui se connectent aux mouvements suivants (Goldschmidt, 1995).

L'indice de lien est le rapport entre le nombre de liens et le nombre de mouvements, et les mouvements critiques sont les mouvements de conception qui sont riches en liens. Ces deux notions sont étroitement liées à la productivité de l'activité de conception. Ainsi, une valeur plus élevée de l'indice de lien et de mouvements critiques, indique un processus de conception plus productif. Goldschmidt (1995) a étendu l'utilisation de la technique de la linkographie pour comparer les processus de conception individuels avec les processus de conception d'équipe.

Eu égard aux objectifs poursuivis pas la présente étude, la technique dite linkographie n'a pas été retenue. En effet, ce travail s'intéresse à la manière dont les formes sont générées et manipulées durant la phase de manipulation/ production morphique du processus de conception. Il fait le projet d'identifier et de définir les différentes actions de transformation morphique qui occurrent durant cette phase, et de déceler les logiques et mécanismes internes qui régissent leurs mises en œuvre. C'est pourquoi, les productions graphiques lui sont incontournables. Or la linkographie, à l'instar du protocol analysis, s'intéresse uniquement aux protocoles verbaux et rejette généralement les productions graphiques. Celle-ci a été

développée, pour transcrire les mouvements dans les protocoles et les liens entre eux (dans un ordre chronologique), afin d'établir les relations qui existent entre les idées et comprendre les modèles structurelles du raisonnement, dans l'activité de conception (Blida, 2006).

3. La génétique littéraire de De Biasi

L'approche dite analyse génétique est une méthodologie récente qui a vu le jour dans le domaine littéraire et textuel. En dépit des nombreuses disparités qui séparent l'œuvre architecturale et littéraire, une critique génétique conçue dans le domaine de la conception architecturale est envisageable. Une telle entreprise nécessite un transfert et une adaptation des méthodes et des concepts hérités de l'analyse des manuscrits vers des objets d'investigation qui ne sont pas spécifiquement textuels mais plutôt graphiques (De Biasi, 2000).

De Biasi qui a imaginé un tel transfert pense que le dossier génétique pourrait comporter essentiellement des documents graphiques (relevés cartographiques, croquis, schémas, dessins, etc.), assortis de documents visuels (photos du site), de documents techniques (notices, descriptifs de matériaux, etc.) et de maquettes. Outre les dessins, le dossier de genèse comporterait de nombreux documents écrits tels le programme et les différentes notes de réflexions personnelles. Une fois ce dernier constitué, le travail du chercheur consisterait à identifier l'ordre d'occurrence, le classement et la datation de chaque pièce, il s'agirait d'une « reconstitution des séquences chronologiques qui permettent de redéployer les dessins selon leurs filiations diachronique et chronologique » (De biasi, 2000).

Outre la datation, l'analyse génétique fait le projet d'élucider les mécanismes du processus de conception en cherchant à comprendre les logiques partielles mises en œuvre par les concepteurs dans l'élaboration des différentes parties du projet architectural (De Biasi, 2000).

De Biasi divise la méthode de l'analyse des dessins en cinq étapes. La première, est celle de l'identification de différentes pièces du dossier génétique. Elle comporte le numéro de foliotation (à fixer selon l'ordre d'apparition chronologique des dessins), son appartenance à une phase (APS, APD, DCE, DM) et sa date (si c'est possible à l'heure et à la minute près). La deuxième, correspond à la description matérielle des dessins. Elle sert à identifier la main (l'architecte, tel ou tel collaborateur de l'agence, un extérieur), la présence éventuelle d'indications textuelles ou numériques, la nature, le format et la dimension du support. La troisième est celle de l'analyse de la représentation des dessins. Elle englobe le type de

représentation (plan, coupe, élévation), l'espace de référence de l'objet traité (sur mesure selon le projet, par exemple : entrée, cour, façade rue, etc.), l'espace de référence dans le bâtiment (si le projet développe plusieurs corps de bâtiments), l'espace de référence par étage (rez-de-chaussée, R-n, R+n), l'échelle (sans échelle, 1/50, etc.) et l'orientation de l'objet (nord, est, etc.). Enfin la quatrième et la cinquième étape, sont consacrées à l'analyse génétique des dessins proprement dite.

Le travail de De Biasi nous a servi pour l'analyse des dessins produits par les sujets concevants. L'étape de la description matérielle des documents a contribué à l'élaboration du modèle de description des recueils d'observation (voir p.28, Modèle générale de description des recueils d'observation). Par ailleurs, l'étape de l'analyse de la représentation des dessins, a servi à l'élaboration de notre modèle des actions de transformation morphique ici présenté. Elle a en effet permis d'identifier des actions appartenant à la catégorie des actions de transformation figurative, du modèle des actions de manipulation/ production morphique, développé dans le second chapitre.

4. Protocol analysis « analyse des recueils d'observation »

L'activité de conception est considérée comme étant l'une des activités intellectuelles les plus importantes en raison de sa complexité et de ses effets sur la société. Compte tenu du vaste domaine de recherches sur la conception, il est surprenant de constater le peu de connaissances actuellement disponibles au sujet du travail de conception et de l'activité menée par les concepteurs.

L'une des méthodes les plus utilisées pour saisir et collecter les données empiriques du travail de conception est la méthode dite analyse des recueils d'observations ¹, de son nom anglais "protocol analysis", élaborée par Ericsson et Simon (1986).

Les méthodes d'analyse des recueils d'observation permettent l'étude, en profondeur, des tâches de conception, sans imposer les limites des méthodes expérimentales traditionnelles (Long & Bourg, 1996; Mack et al, 1983). Durant l'analyse des recueils d'observation, les sujets concevants sont appelés à verbaliser les processus et les stratégies de réflexion qu'ils utilisent pour mener une situation de conception spécifique. Les données du processus sont collectées, enregistrées et transcrites avant d'établir une codification qui fournit une lecture détaillée des données du protocole.

1- Cette traduction est due à Arrouf (2006 ; 2012).

4.1. Présentation de la méthodologie de recherche

Il y'a, depuis trente ans, un intérêt croissant pour les études de recherche empirique sur l'activité de conception (Cross, 2001). "*Cet intérêt est d'une part dû au besoin de développer des outils appropriés d'aide à la conception, et d'autre part, à la nécessité de fournir des modèles qui permettent de comprendre l'activité de conception*" (Arrouf, 2006). Pour ce faire, une gamme importante et variée de méthodes de recherche a été adoptée et adaptée à l'étude de l'activité de conception. De toutes les méthodes de recherche empirique, l'analyse des recueils d'observation "Protocol analysis " est la méthode la plus couramment utilisée au cours des dernières années. Elle est devenue la technique expérimentale la plus usitée pour l'exploration de cette activité car elle permet de conduire des études objectives sur le processus de conception, d'analyser ses tâches et de comprendre leur progression dans le temps (Arrouf, 2006).

La "Protocol analysis" ou analyse des recueils d'observation est une méthode de recherche empirique basée sur l'observation de l'activité de conception pendant son déroulement. Les protocoles de conception y prennent la forme générale d'enregistrements des comportements manifestes de concepteurs, comme la verbalisation et le dessin (Eckersley, 1988 ; Suwa & Tversky, 1997 ; Bilda & Demirkan, 2002 ; Yang, 2002 ; Gero & Purcell, 2006 ; Gero & Tang, 2006 ; Rahimian & Ibrahim, 2010 ; Blida, Yao & Zeng, 2011 ; Arrouf, 2006 ; 2012). Depuis le premier travail d'Eastman, sur le design intérieur dans les années soixante, l'analyse du protocole s'est durablement établie dans le domaine de la recherche en conception (Jiang & Yen, 2009).

En effet, plusieurs études affirment que, de toutes les méthodes de recherche empirique et d'observation de l'analyse de l'activité de conception, l'analyse des recueils d'observation, ou protocol analysis, est celle qui a été la plus utilisée et qui a reçu le plus d'attention au cours des dernières années. Désormais, elle est considérée comme la méthode la plus courante pour mettre la lumière sur les mystérieuses capacités cognitives des concepteurs (Jiang & Yen, 2009).

Une étude menée par Jiang et yen (2009) sur un total de 134 documents de recherche qui traitent de conception, dont des articles de revues, des actes de conférences et des thèses de doctorat, montre clairement que les premiers travaux qui utilisent le protocol analysis sont apparus vers la fin des années 1960. Au début, ces travaux n'ont pas gagné beaucoup d'attention. Ce n'est que vers la fin des années quatre vingt et le début des années quatre vingt dix et surtout après l'événement des Delft Protocoles workshop, tenu en 1994, que les études

des protocoles, dans le domaine de la conception, ont connu une augmentation rapide. L'intérêt grandissant porté à cette méthode, par la communauté des chercheurs en conception, continue à s'amplifier jusqu'à ce jour (Figure 2).

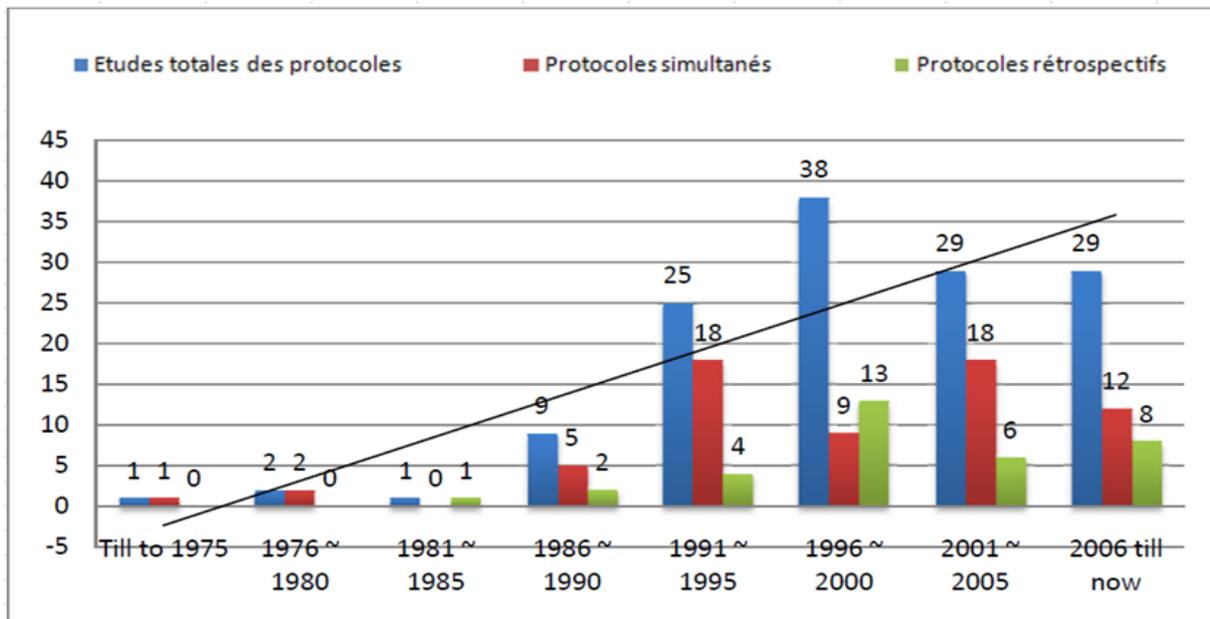


Figure 2 : Evolution de la fréquence des publications, basées sur le protocole analysis, au fil du temps (Source : Jiang & Yen, 2009).

Cet examen a également montré que toutes les grandes disciplines d'étude de la conception ont adopté l'analyse des recueils d'observations comme un outil de recherche valide. C'est ce que l'on voit sur la figure 3 ci-dessous qui montre toutefois, une prédominance pour le design industriel, l'architecture et l'ingénierie.

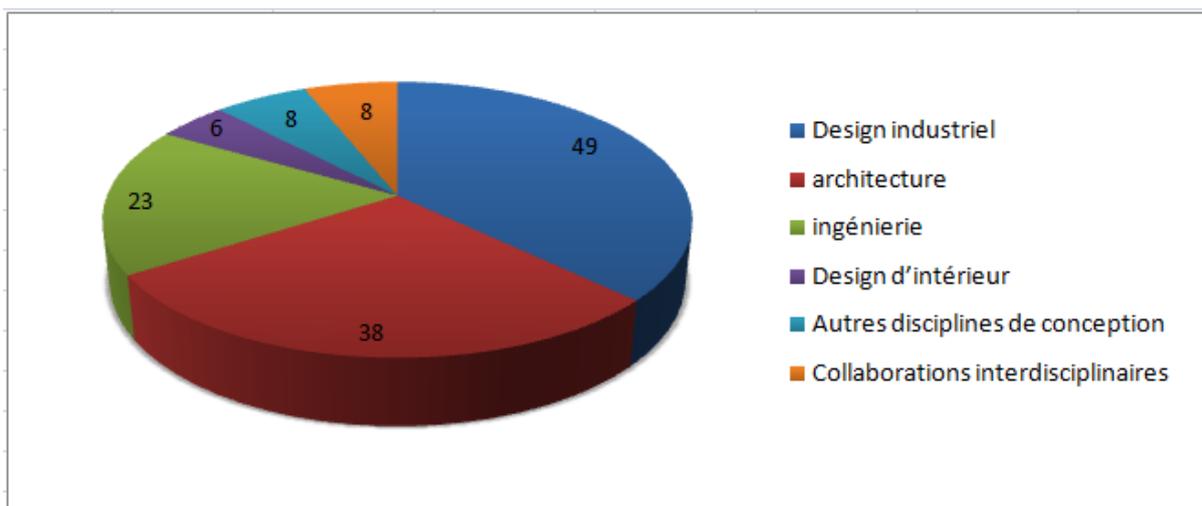


Figure 3 : Répartition des travaux de recherche utilisant l'analyse des recueils d'observation sur les différentes disciplines de conception (Source : Jiang & yen, 2009).

4.2. Approches de l'analyse des recueils d'observation

Deux grandes approches d'analyse des recueils d'observation, ont été identifiées. Il s'agit de l'approche orientée-processus et de l'approche orientée-contenu (Arrouf, 2006 ; Suwa, Gero & Purcell, 2006 ; Jiang & Yen, 2009).

La première, met l'accent sur les aspects structurels du processus de conception. Elle s'intéresse aux états du problème, ses opérateurs, ses procédures, ses objectifs et ses stratégies (Arrouf, 2006). Tandis que l'approche orientée-contenu, adoptée par ce travail, cherche à découvrir les types d'information, les ressources et les catégories de connaissances manipulées par le concepteur lors du processus de conception. Plutôt que la découverte de la structure sous-jacente du processus (Arrouf, 2006 ; Jiang & Yen, 2009), elle cherche à déterminer les contenus cognitifs et informationnels qui font l'activité de conception (Arrouf, 2006).

Les résultats de l'étude réalisée par Jiang et Yen montrent un équilibre dans l'intérêt des chercheurs pour ces deux approches (figure 4). Certaines études ont même combiné les deux méthodes afin de parvenir à une compréhension plus approfondie de l'activité de conception.

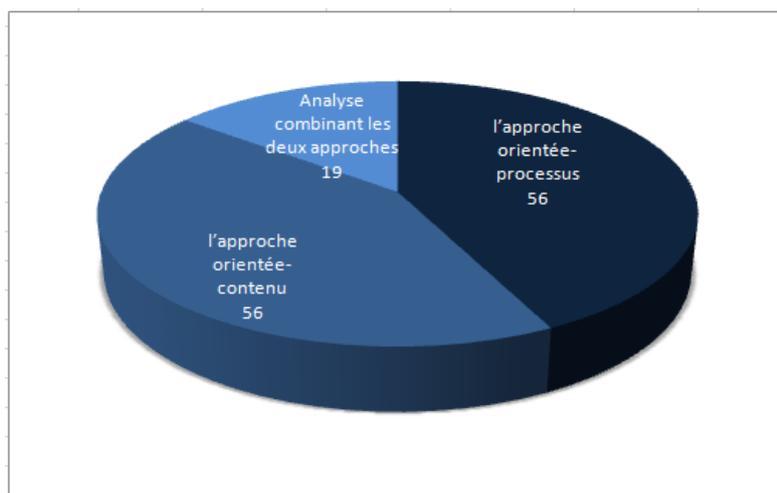


Figure 4 : Répartition de l'usage de L'approche orientée-processus et de l'approche orientée-contenu dans les travaux de recherche en conception (Source : Jiang & yen, 2009).

4.3. Techniques de l'analyse des recueils d'observation

Deux techniques de l'analyse des recueils d'observation ont été développées: simultanée et rétrospective (think aloud and retrospective techniques). Durant la première technique, adoptée par la présente étude, les sujets concevants sont tenus de travailler sur une tâche de conception donnée, tout en verbalisant leurs pensées (Arrouf, 2006).

La deuxième technique, invite les sujets concevants à concevoir d'abord puis à rapporter rétrospectivement les pensées antérieures de leurs processus de conception. Ils utilisent, pour cela, les aides visuelles fournies par les enregistrements vidéo, portant sur leurs propres processus de conception (Arrouf, 2006). Les protocoles simultanés ont généralement été utilisés lors de l'approche orientée-processus. Les protocoles rétrospectifs ont, pour leur part, été utilisés lors de l'approche orientée-contenu. Celles-ci étant concernées par la notion de réflexion dans l'action, proposée par Schön (1995, in Gero, 2006). Les chercheurs en conception choisissent l'une ou l'autre technique en fonction de leurs objectifs (Arrouf, 2006).

4.4. Étapes de l'analyse des recueils d'observation

La méthode de base de l'analyse des recueils d'observations consiste en la séquence de tâches suivantes : élaboration des recueils d'observations ; description des recueils d'observation et enfin traitement des données recueillies. (Ericsson & Simon, 1986 ; Arrouf, 2006 ; Eckersley, 1988 ; Yang, 2002).

4.4.1. Élaboration des recueils d'observation

L'élaboration des recueils d'observation comprend généralement deux étapes. La première dite exercice d'échauffement, est une tâche de conception qui dure généralement dix minutes. Elle sert à acclimater le sujet concevant à la méthode et au travail face à la caméra. La deuxième étape dure en général quarante cinq minutes et consiste en la conduite de la tâche de conception proprement dite. Elle est lancée par le biais d'un énoncé sur support écrit. Le sujet concevant est appelé à concevoir l'objet de conception tel que décrit dans l'énoncé de l'expérience (Mc Neill, 2006). La tâche de conception est réalisée, par le sujet concevant, sur une série de feuilles rassemblées dans un seul document baptisé « journal du projet » (Arrouf, 2006).

4.4.2. L'enregistrement vidéo des tâches de conception

Chaque sujet est invité à travailler sur une grande table avec un stylo et du papier. Deux caméras vidéo sont utilisées : une fournissant une vue macroscopique et l'autre une vue microscopique (Mc Neill, 2006). La première, braquée sur le sujet concevant, est placée sur le côté pour donner une vision claire des gestes et des mouvements de son visage et de ses mains. Tandis que la deuxième, regardant par-dessus l'épaule du sujet concevant, est mise en place afin de montrer les croquis et notes produites par ce dernier et de rendre compte des

mouvements et transformations détaillées, opérées sur les croquis produits, pendant la tâche de conception (Blida, 2002) (Figure 5).

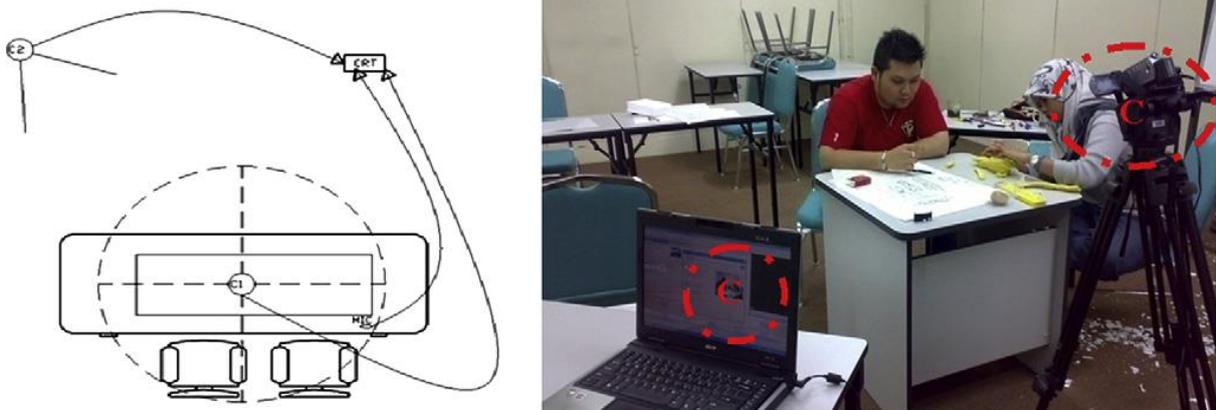


Figure 5 : La mise en place de l'équipement de l'expérience (Source : Blida, 2002).

4.4.3. Description des recueils d'observation

Suivant la méthode standard de l'analyse des recueils d'observations, les recueils sont soumis à une description qui se compose de deux grands moments : la segmentation et la codification (Arrouf, 2006).

4.4.3.1. Segmentation

Après la collecte des données, Le protocole brut est divisé en petites unités appelées "segments" (Arrouf, 2006). Dans les recherches récentes, les protocoles verbaux sont divisés par rapport aux intentions et actions des concepteurs, au lieu des événements de verbalisation ou marqueurs syntaxiques. Les intentions du concepteur sont analysées dans le but de définir les différents segments et chaque segment présente une seule intention du concepteur dans le processus de conception. Un segment y est défini comme « *une assertion ou une déclaration cohérente à propos d'un seul élément/espace/sujet* » (Arrouf, 2006). « *Tout changement dans les intentions du concepteur suggéré par le contenu de ses pensées ou de ses actions marque le commencement d'un nouveau segment* » (Arrouf, 2006).

Goldschmidt (1991), dans ses études sur des protocoles d'architectes, propose une définition de la segmentation où le protocole est segmenté par rapport à l'intention du concepteur. Elle divise le processus de conception en « mouvements » et « arguments ». Les mouvements divisent l'activité de conception en petites unités de raisonnement de conception. Chaque proposition cohérente, relative à une entité en cours de conception, est un mouvement. Les arguments sont les plus petites déclarations sur la conception ou certains de ses aspects, relatifs à un mouvement particulier de conception. Généralement, un mouvement est composé

d'un ou deux arguments. L'échelle du segment, proposée par Gero et Mc Neill (1998), ressemble plus à une échelle d'arguments, tandis que l'échelle du segment proposée par Suwa, Purcell et Gero (1998) ressemble plus à une échelle de mouvements (Arrouf, 2012).

Bien que la définition d'un segment soit précise, son application, en termes de division du protocole en segments appropriés, est encore vague. Dans l'article publié par Gero et Mc Neill (1998), un code correspond à un seul segment. En revanche, dans leur article, Suwa, Purcell et Gero (1998), suggèrent qu'il peut y avoir plusieurs codes dans le même segment (Gero et Tang, 2006). Ces codes sont utilisés pour décrire le processus de conception en vue de son analyse (Arrouf, 2006). Les bases de la segmentation sont, par ailleurs, différentes dans les deux systèmes de codification. Ceux proposés par Gero et Mc Neill (1998) sont principalement basés sur les transcriptions, tandis que ceux proposés par Suwa, Purcell et Gero (1998) sont essentiellement basés sur les actions du concepteur dans les enregistrements vidéos (Gero et Tang, 2006).

Le présent travail adopte la méthode de segmentation développée par Suwa, Purcell et Gero (1998) et par (Arrouf, 2012). Il stipule qu'un seul segment peut contenir plusieurs codes. Ces codes correspondent aux différentes actions de transformation morphique opérées par les sujets concevants au niveau de chaque segment, en l'occurrence les croquis produits par les sujets concevants.

4.4.3.2. Codification

La codification des segments issus des données recueillies représente la deuxième étape de la description des recueils d'observation. Elle utilise un modèle de codification qui permet l'exploitation des recueils d'observation. Celui-ci est une collection de groupes de descripteurs (coding schemes) qui servent de médium pour décrire le processus de conception en vue de son analyse (Arrouf, 2006). "*Le modèle de codification permet de décrire, comprendre, expliquer et même prévoir les activités cognitives de la conception*" (Arrouf, 2012). Il est élaboré en fonction du type d'étude menée et des modèles préétablis du travail de conception. Plusieurs modèles de codification ont été développés à l'occasion de différentes études du travail de conception (Arrouf, 2006). Gero et Mc Neill (1998) ont proposé un système de codification qui permet de comprendre les aspects orientés-processus du travail de conception. Il se compose de domaines de problèmes et de stratégies liées au processus de conception. Les catégories d'informations, proposées par Suwa et Tversky (1997) puis

développés par Suwa, Purcell et Gero (1998), ont été établies pour comprendre les aspects orientés-contenu de l'activité de conception. Ils ont utilisé des notions proposées par Larkin et Simon (1987) pour définir quatre catégories d'actions dans le but d'analyser ce que les concepteurs voient et peut-être pensent. Partant de ces données et des systèmes de codification, Arrouf (2006) a défini un système de codification qui se base sur onze catégories informationnelles appartenant, chacune, à un niveau cognitif donné.

Ericsson et Simon (1985) affirment que, dans la mesure du possible, le chercheur doit faire une utilisation minimale du contexte dans l'analyse des données, afin de réduire la possibilité de partialité introduite à partir des perspectives théoriques (Yang, 2002). Ils suggèrent que chaque segment doit être sélectionné par hasard parmi le groupe des données, et classées, un à la fois, sans l'aide contextuelle des segments précédents ou suivants. Ceci devrait être fait pour s'assurer que les protocoles codifiés soient le reflet de ce que le sujet concevant a réellement dit, et non les hypothèses du chercheur au sujet de ce que le concepteur pense (Yang, 2002).

Les recueils d'observation peuvent être codifiés selon deux méthodes. La première implique la codification des recueils par deux codeurs et un protocole final est obtenu en utilisant un procédé d'arbitrage sur la base de la méthode Delphi (Linstone & Turoff, 1975 in Blida, Gero & Purcell, 2006). La deuxième est la méthode des deux codifications successives élaborée par Suwa, Gero et Purcell (1998). En vertu de cette méthode, un seul et même codeur codifie les journaux une première fois et refait une deuxième codification dès que la première est terminée. Les deux codifications sont ensuite arbitrées, par le même codeur, pour produire la codification finale (Arrouf, 2006).

En somme, Ericsson et Simon (Yang, 2002) affirment que, pour comparer les données brutes au système de codification final, cinq critères devraient être respectés pour protéger à la fois l'intégrité des données et les processus qu'ils représentent (tableau 2).

Les critères de codification des données en vue de leur analyse

1. Les catégories doivent être clairement liées aux questions et hypothèses abordées dans l'étude.
 2. Dans un seul segment, les unités de sens doivent être autonomes.
 3. La verbalisation doit être codifiée en termes d'information exprimée par les sujets concevants.
-

4. Chaque catégorie doit être inclusive et mutuellement exclusive de toutes les autres catégories.

5. L'influence des données théoriques sur les données observées doit être minimisée en utilisant des codifications libres et en codifiant les segments dans un ordre aléatoire.

Tableau 2 : Critères d'objectivation de la codification des données en vue de leur analyse

(Source : Yang, 2002).

Il ya une boucle impliquée dans le processus de codification des protocoles, le développement des systèmes de codification suggère que le processus peut être soumis à plusieurs cycles d'interprétation, de définition et de raffinement (yang, 2002) (figure 6).

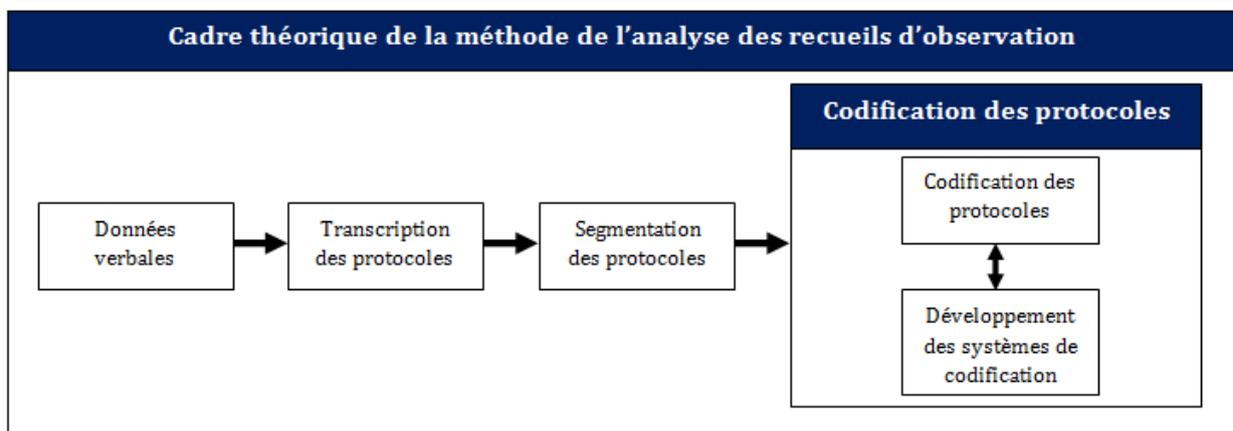


Figure 6 : Le processus d'analyse des données des protocoles verbaux (Source : Yang, 2002).

4.5. Traitement des données recueillies

Une fois la codification terminée, une nouvelle étape commence : le traitement des données. Pour obtenir des résultats à partir de la base de données que nous venons de constituer, ces mêmes données doivent faire l'objet d'un traitement qui tient compte de chacune des catégories de classification. La discussion viendra plus tard (Leray, 2008).

Il s'agit d'ordonner, classer et regrouper les données pour pouvoir les analyser. Les informations doivent être isolées, regroupées et classées dans des catégories, dans des tableaux, dans des graphiques, etc. C'est la seule manière de permettre à la quantité importante d'informations de prendre sens en laissant découvrir les liens qui n'étaient pas toujours évidents. Il faut donc traiter les informations pour les transformer en données analysables.

5. Protocole d'analyse

Cette partie se consacre à l'explication du protocole d'analyse. Elle définit la manière dont la Méthodologie adoptée est appliquée aux cas d'étude choisis et décrit les étapes de l'analyse ici élaborée.

5.1. Le travail empirique

5.1.1. La situation de conception

Notre projet de recherche adopte une méthode expérimentale qui porte sur l'observation d'une situation de conception impliquant une activité d'esquisse à main levée, par chacun des participants. Trois architectes participent à notre étude.

5.1.2. L'expérience

L'expérience se déroule en deux phases, pour une durée totale de cinquante cinq minutes. Chaque phase correspond à une tâche de conception. La première tâche consiste en un « exercice d'échauffement » tandis que la deuxième constitue le travail de conception expérimental proprement dit. Durant cette phase, il est demandé au sujet concevant de concevoir une maison individuelle sur un site dégagé. Il est ainsi appelé à produire et à dessiner des croquis à main levée sur papier et à produire simultanément un discours argumentaire. Cette phase dure quarante cinq minutes. La tâche de conception réalisée par les participants est enregistrée sur vidéo.

5.1.3. Participants

Les architectes participants jouent un rôle actif dans notre expérience. Trois architectes ont participé à notre étude. Nous nous référons aux trois architectes participants en tant que Sujet concevant 1 à sujet concevant 3. Nous avons considéré les sujets concevants 2 et 3 en tant qu'architectes expérimentés car ils ont eu des expériences diverses dans le domaine de la conception architecturale depuis dix années au minimum. Par contre le sujet concevant 1 est considéré comme un architecte novice car son expérience ne dépasse pas les trois années. Dans cette recherche nous utilisons les données issues des travaux des sujets concevants 1 et 2. Les figures qui suivent (figure 7, 8 et 9) illustrent les trois sujets concevants en train de réaliser la tâche de conception dont il est question ici.



Figure 7 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 1.



Figure 8 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 2.



Figure 9 : La tâche de conception réalisée par le sujet concevant 3.

5.1.4. Conditions de l'expérience

L'expérimentateur commence par lancer l'exercice d'échauffement. Il explique ce qu'est la méthode « penser à haute voix » et demande aux participants de faire un court exercice. Il apporte enfin les corrections nécessaires. Cette phase terminée, il procède au lancement de la deuxième. Pour ce faire, il lit les instructions aux participants. Il leur explique qu'ils sont appelés à s'engager dans une activité de conception durant laquelle ils vont simultanément concevoir, dessiner et réfléchir, à haute voix, pour une durée de quarante cinq minutes.

Le sujet concevant découvre l'énoncé de l'expérience sur support écrit. Ce dernier se compose du programme de la maison et du terrain sur lequel le projet en question sera implanté. Il leur est demandé de le lire et de poser toutes les questions qui leur semblent nécessaires. Après quoi il entame son travail de conception. Quinze minutes avant la fin de la séance, l'expérimentateur rappelle aux sujets que ceci est la quantité de temps qui reste (Blida, 2006).

Pendant l'expérience, les sujets concevant sont invité à s'asseoir sur un côté de la table qui fait face aux deux caméras. Sans interférer avec le processus de conception des participants, l'expérimentateur est présent dans la salle où se déroule l'expérience, pour faire face à tout problème technique éventuel. La mise en place de l'équipement de l'expérience est expliquée dans la figure 10 ci-dessous.

Les deux caméras sont synchronisées afin d'analyser et d'interpréter correctement les mouvements et les gestes des sujets concevants, pendant la phase de conception.



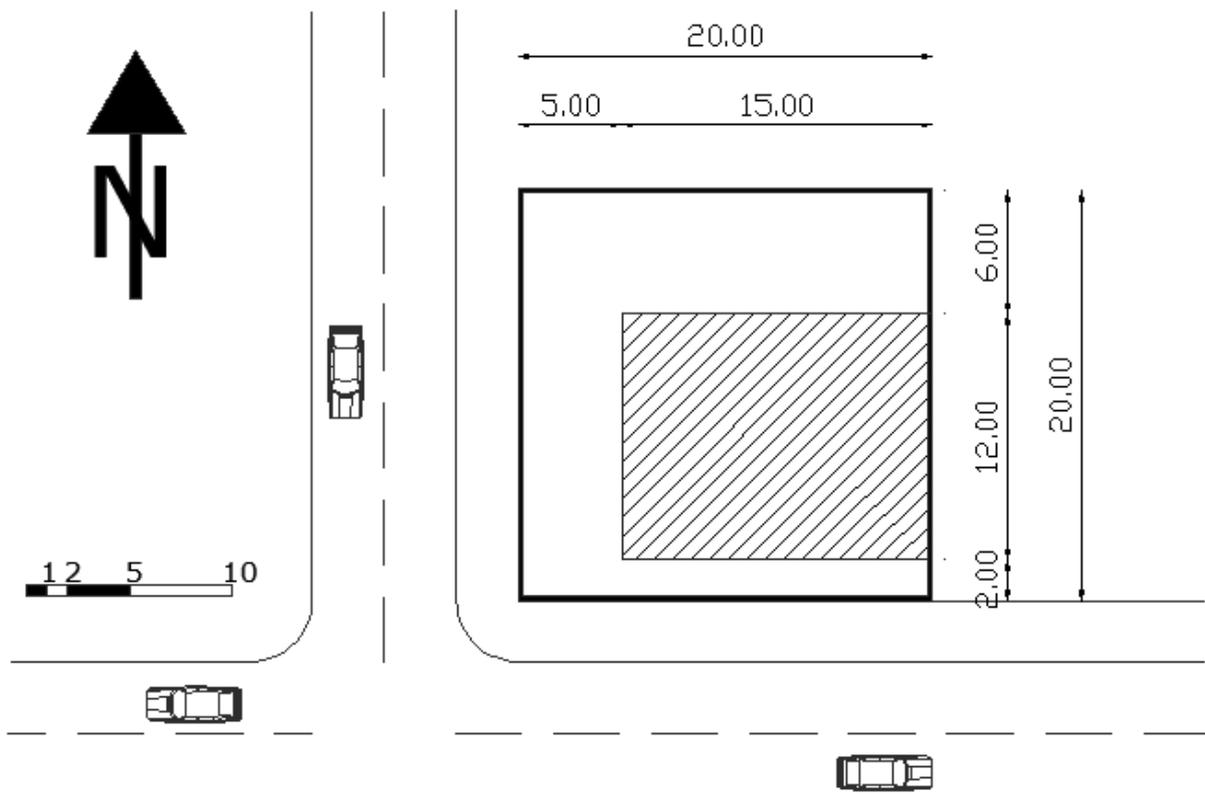
Figure 10 : La mise en place des deux caméras de l'expérience.

5.1.5. L'énoncé de l'expérience

Sur le site illustré ci-dessous, un client prévoit de construire une petite maison individuelle.

Votre tâche consiste à concevoir, à main levée cette maison dont le programme est comme suit :

Séjour / Salle à manger	40 m ²
Cuisine	15 m ²
Chambre	25 m ²
2 Chambres	15 m ²
Salle de bain	15 m ²
Garage	30 m ²



PLAN DE MASSE

5.2. L'élaboration du recueil d'observation de l'activité de conception

La tâche de conception effectuée par le sujet concevant est menée sur des feuilles de format A3. Ces dernières sont numérotées, reliées et rassemblées dans un seul document appelé « Journal du projet ». Chaque page prise en format paysage, est divisée en deux parties égales et numérotées, dans l'ordre, de gauche à droite (figure 11). Cette technique est particulièrement cruciale pour l'analyse de la tâche de conception, car elle offre non seulement l'avantage de conserver les traces laissées par l'activité de conception de chaque participant, mais elle permet également de restituer l'ordre de production des différents croquis (Arrouf, 2006).

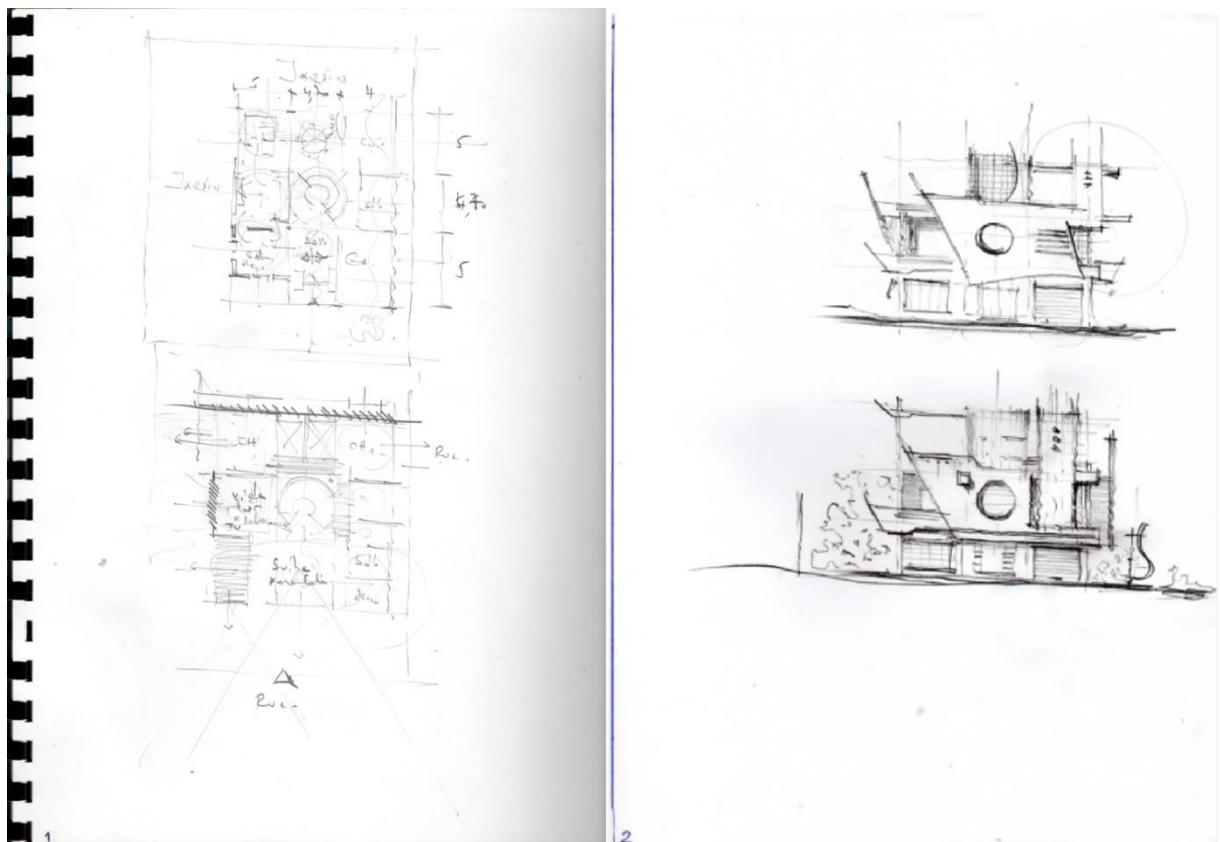


Figure 11 : Deux pages du recueil d'observations de l'un des architectes participants à l'expérience.

5.3. Méthode de Description des recueils d'observation

5.3.1. Segmentation

« L'analyse standard des recueils d'observation rejette généralement les productions graphiques. Toutes les études se limitent aux protocoles verbaux et se servent des données

graphiques comme simple complément pour leur compréhension. Ce travail considère cependant, que les productions graphiques sont porteuses d'information. Elles sont cruciales pour toute activité de conception architecturale. Il fait l'hypothèse que chaque figure produite implique une pensée autour d'un élément/ espace/ sujet donné, d'où sa valeur informationnelle importante. C'est pourquoi, lors de la segmentation, le présent travail considère chaque élément graphique comme un segment à part entière » (Arrouf, 2006).

Ceci est d'autant plus vrai que le présent travail fait le projet de comprendre la logique de manipulation des formes et les transformations morphiques qui permettent le déploiement d'une telle activité, au sein du processus de conception. C'est pourquoi les représentations graphiques sont ici primordiales et incontournables. Elles forment le support qui va permettre de retrouver les différentes actions de manipulation de transformations morphique, mises en œuvre par les sujets concevants dans l'activité de conception.

5.3.2. Codification des recueils d'observation

Pour décrire ses recueils d'observation, la présente étude adopte une stratégie de codification qui se base sur la définition d'un ensemble d'actions de transformation morphique (voir Chapitre 2).

Une fois les croquis classés selon leurs ordre de production, ils sont regroupés dans des tableaux de transformation, où ils sont comparés deux par deux. Chaque croquis est comparé avec celui que le précède immédiatement selon la successivité chrono-numérique (croquis n , $n+1$) et selon l'espace de référence. Les transformations de forme entre les croquis consécutifs sont identifiées, décrites et codifiées, par le biais des actions de transformation morphique prédéfinies. La figure 12 montre à titre d'exemple, les actions de transformation morphique utilisées pour codifier les transformations observées entre le croquis 7 et le croquis 15, produits par le sujet concevant 1. Par exemple, l'action 1 : Action de transformation des rapports géométriques : pivoter une enveloppe (séjour), action 2 : Action de transformation de la taille : agrandir la longueur d'une enveloppe (salle à manger) et l'action 3 : Action de transformation de la conformation : déviation d'une trame (hall).

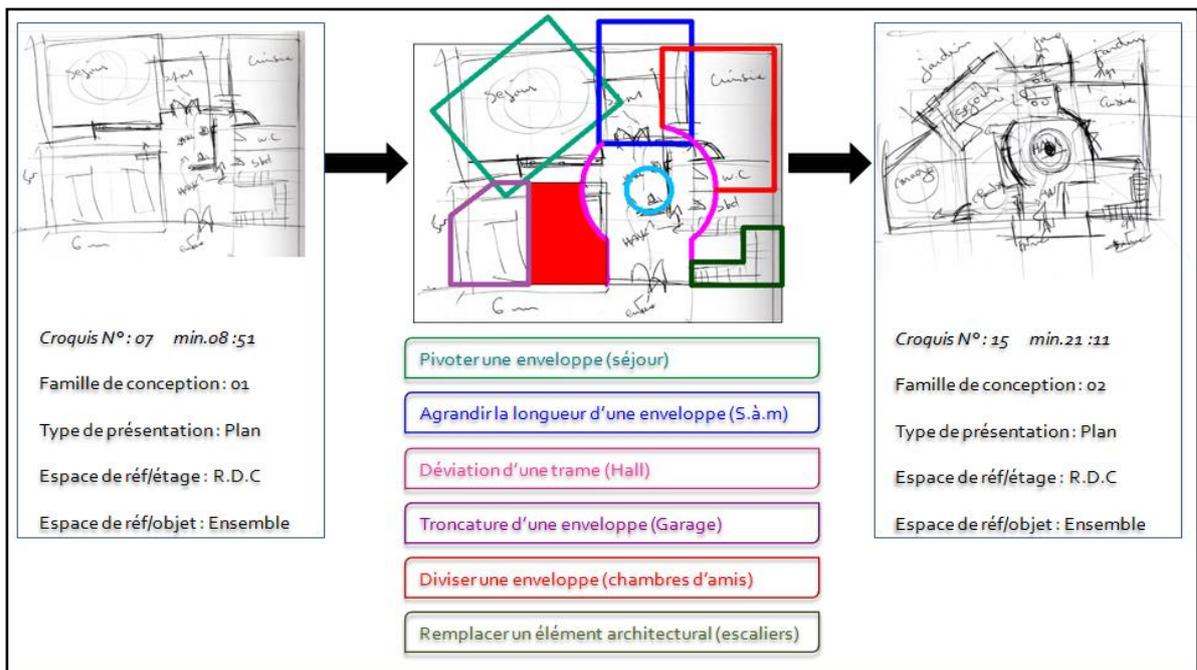


Figure 12 : Exemples d'actions de transformation morphique.

Ces actions décrivent des transformations de forme très spécifiques. C'est pourquoi de nombreuses actions ont été nécessaires pour décrire toutes les transformations de forme mobilisées par tous les sujets concevants, durant leurs tâches de conception respectives. Trente deux actions ont été nécessaires pour décrire toutes les transformations morphiques opérées au niveau du croquis 15, pris à titre d'exemple.

5.4. Modèle de description des recueils d'observation

La description des recueils d'observation est consignée dans des tableaux qui ont la même configuration que le tableau 3 ci-dessous (voir Annexe 1 et 2).

		SIGNIFICATION											
CROQUIS N° : 01 Min.	CROQUIS N° : 02 Min.	Famille de conception	Type de présentation	Espace d'action / Etage	Espace d'action / Objet	Point de vue	Direction de vue	Espace de référence	Actions	Catégorie d'action	Classe d'action	Nature de l'élément	Fonction
													

Tableau 3 : Modèle générale de description des recueils d'observation.

5.5. Traitement des données

La codification des segments est enregistrée, pour chaque sujet concevant dans un tableau objets/ attributs (Arrouf, 2012). Les croquis sont les objets du tableau et les catégories d'actions de transformation morphiques sont ses attributs. Le tableau enregistre ainsi les actions et leur nombre d'occurrence par croquis. Ceci a permis de composer les tableaux que nous commentons plus bas.

Chronologie \	Act. Trans. Morphique
CROQUIS 1→ 2	
CROQUIS 2→ N	
CROQUIS N→ N+1	
SOMME	

Tableau 4 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation des sujets concevants. La première colonne reprend les numéros des segments correspondants à l'ordre d'occurrence des croquis produits par le sujet concevant. La deuxième colonne correspond aux nombres d'actions de transformations morphiques. Les lignes enregistrent le nombre d'actions par segment. L'ordre des colonnes est ici arbitraire, tandis que celui des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments.

Chronologie \ Catégories	Act. Trans. Plastique	Act. Trans. Structurale	Act. Trans. Figurative
CROQUIS 1→ 2			
CROQUIS 2→ N			
CROQUIS N→ N+1			
SOMME			

Tableau 5 : Recueil de description tiré du traitement des recueils d'observations de chaque sujet concevant. La première colonne reprend les numéros des segments correspondants à l'ordre d'occurrence des croquis produits par le sujet concevant. Chacune des autres colonnes correspond à une catégorie d'actions de transformation morphique. Les lignes enregistrent le nombre d'actions, par catégorie d'action, pour chacun des segments. L'ordre des colonnes est ici arbitraire, tandis que celui des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments.

Classes Chronologie	conformation	taille	couleur	Texture	Rapports topologiques	Rapports géométriques	Constitutive	Type de présentation	Espace d'actions/ objet	Espace d'actions/ objet	Point de vue	Direction de vue	Niveau de complexité	Taille du croquis
	CROQUIS 1 → 2													
CROQUIS 2 → N														
CROQUIS N → N+1														
SOMME														

Tableau 6 : Recueil de description tiré du traitement des recueils d'observation de chaque sujet concevant. La première colonne reprend les numéros des segments correspondants à l'ordre d'occurrence des croquis produits par chacun des architectes participants. Chacune des autres colonnes correspond à une classe d'actions de transformation morphique. Les lignes enregistrent le nombre d'actions, par classe d'actions, pour chacun des segments. L'ordre des colonnes est ici arbitraire, tandis que celui des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments.

5.6.1. Analyse des données

Une fois les données classées et regroupées dans les tableaux illustrés ci-dessus ; commence alors un chapitre important de la démarche, à savoir leurs analyse. Ce travail se développe en deux étapes. La première, consiste en une lecture des tableaux élaborés pour chacun des sujets concevants, dans le but d'identifier les relations entre les différentes variables de cette étude. Cette étape va ensuite servir de fondement à des analyses plus poussées qui se développent sur deux niveaux.

Niveau 1. Validation du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude

Ce premier niveau d'analyse se compose de deux étapes.

A. La validation du contenu du modèle des actions de manipulation/ production morphique.

B. La validation de la structure du modèle des actions de manipulation/ production morphique.

La première étape consiste à vérifier que toutes les manipulations morphiques ont pu être décrites par le biais du modèle élaboré par le présent travail (voir chapitre 2). Ceci signifie que toutes les actions de transformation morphique sont nécessaires et suffisantes pour décrire le processus de manipulation/ production morphique.

La deuxième étape quant à elle, tente de vérifier la validité de la classification des actions de manipulation/ production morphique ici réalisée. Elle revient à démontrer que la répartition des actions d'après les catégories et les classes d'actions de transformation morphique, répertoriées par le modèle, permet de rendre compte correctement des différents types de manipulation opérés par les sujets concevants.

Niveau 2. Analyse de la logique de manipulation des actions de transformation morphique

Dans le but de comprendre la logique de manipulation des actions de transformation morphique, le deuxième niveau d'analyse se constitue de trois étapes :

A. Analyse de l'intensité de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique dans chaque processus.

Cette étape de l'analyse sert à quantifier le taux d'apparition des différentes actions, catégories et classes d'actions du modèle, dans chaque processus de conception. Elle permet ainsi de comparer la fréquence de sollicitation des actions de transformation morphique chez chacun des sujets concevants. Une telle comparaison renseigne sur la prépondérance relative des différentes actions, catégories et classes d'actions qui composent le modèle, lors de l'activité de manipulation/ production morphique.

B. Analyse de la temporalité de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique dans chaque processus.

La deuxième étape s'intéresse au déroulement temporel du processus de manipulation/ production morphique. Elle mesure l'utilisation, dans le temps, des actions, catégories et classes d'actions par les différents sujets concevants. Elle offre ainsi la possibilité d'étudier la

logique d'apparition, de répartition et d'enchaînement des actions de transformation morphique dans le temps du processus.

C. Analyse du mode de structuration du processus de manipulation/ production morphique chez les différents sujets concevants.

En vue de mieux comprendre la logique de structuration du processus de manipulation/ production morphique, ce niveau de l'analyse projette dessus des structures élaborées par d'autres chercheurs avant d'en définir le contenu actif. Il fait ainsi appel aux « moments de conception » de Schön & Wiggins (1992), aux « phases de conception » et aux « types de transformation » de Goel (1995), aux « niveaux d'abstraction » de Liu (2003), et aux « stratégies de conception » de Damle (2009).

5.5.2. Interprétation des résultats

La dernière étape de la présente recherche consiste en **l'interprétation et la discussion des résultats de l'analyse**. Il s'agit ici de discuter les résultats de la présente étude à la lumière des travaux antérieurs, du cadre de référence et des méthodes utilisées dans le travail.

Conclusion

Ce chapitre présente la méthode de l'analyse des recueils d'observation, adoptée par le présent travail. Il passe en revue quelques unes des approches relatives aux études de l'activité de conception architecturale. Il se consacre à la présentation de la méthodologie retenue, qui a servi de base à l'élaboration du protocole d'analyse, en vue de comprendre la manière dont les formes sont générées et manipulées durant la phase de production morphique via le modèle des actions de transformation morphique développé dans le second chapitre.

La figure 13 qui suit, est un résumé de la démarche adoptée. Elle synthétise les différentes étapes élaborées, dans le but de répondre aux objectifs poursuivies par la présente étude.

1- Collecte des données

Activité	Esquisse à main levée.
Enoncé de la tâche de conception	Conception d'une maison individuelle.
Méthode de collecte des données	Enregistrement vidéo horodaté, recueils d'observation.
Méthode de rapport	Réflexion à haute voix.

2- Élaboration du modèle des actions de transformation morphique

Identification et classification des actions de manipulation/ production morphique.

3- Analyse et interprétation

Codification	Codification de l'activité d'esquisse via le modèle des actions de manipulation/ production morphique.
Validation du modèle des actions de transformation morphique	Validation du contenu et de la structure du modèle des actions de manipulation/ production morphique.
Compréhension de la logique de la manipulation des actions de transformation morphique	Analyse de l'intensité de sollicitation des actions. Analyse de la temporalité de sollicitation des actions. Analyse du mode de structuration du processus de manipulation/ production morphique.

Figure 13 : Résumé de la démarche adoptée par le présent travail.

CHAPITRE 2

DÉFINITION ET CLASSIFICATION DES ACTIONS DU MODÈLE DE MANIPULATION/ PRODUCTION MORPHIQUE

Introduction

Ce chapitre est dédié à l'élaboration de l'ensemble des actions de manipulation/ production morphique qui sert de base à la codification des recueils d'observation. Il présente en premier lieu les différents travaux développés autour de notre objet d'étude et la définition de quelques concepts relatifs à la transformation de la forme. La dernière partie est consacrée à la définition et à la classification des actions de transformation morphique qui ont permis de développer le modèle de codification dont il est question ici.

1. Définition de la forme

La forme est un terme inclusif qui a plusieurs significations. Il peut se référer à un aspect extérieur qui peut être reconnue, comme celle d'une chaise ou le corps humain qui se trouve dessus (Ching, 2007). Il peut aussi faire allusion à un état particulier dans lequel quelque chose, agit ou se manifeste, comme lorsque nous parlons de l'eau sous forme de glace ou de vapeur. Dans l'art et le design, nous utilisons souvent le terme pour désigner la structure formelle de l'œuvre, la manière d'organiser et de coordonner les éléments et pièces d'une composition de façon à produire une image cohérente (Ching, 2007).

Dans le cadre de cette étude, la forme fait référence à la fois à la structure interne et au contour extérieur et le principe qui donne une unité à l'ensemble. Tandis que la forme comprend souvent un sentiment de masse en trois dimensions ou le volume, la conformation (shape) se réfère plus particulièrement à l'aspect essentiel de la forme qui régit son apparence, la configuration ou la disposition relative des lignes ou des contours qui délimitent une figure ou une forme (Ching, 2007).

Borie pense que la définition et la décomposition de l'objet à analyser constitue la clef de voûte de tout système analytique. En effet, un découpage trop ajusté sur l'objet risquerait de donner des résultats trop redondants et peu généralisables, en même temps une découpe très méthodique risque de ne pas rendre compte de la spécificité de ses structures (Borie, 2006).

Une forme est définie comme un arrangement fini d'éléments géométriques, tels que des points, des lignes et des plans, chacun avec une limite définie et l'étendue finie mais différente de zéro. De même, n'importe quel arrangement d'éléments géométriques, qui peuvent être perçus comme étant embarqués ou noyés dans une forme, est définie comme une sous-forme

« sub-shape » ou un élément. Clairement toute représentation picturale d'un objet conçu, comme une esquisse, peut être formellement représentée comme une forme, et tous les éléments de l'objet conçu qui peuvent être perçus comme une caractéristique de la forme peuvent être représentés formellement comme des sous-formes ou des éléments (Stiny, 1990).

Pour ce qui concerne les formes architecturales, les sous-formes et les éléments peuvent être définies comme étant des niveaux constitutifs et des éléments constitutifs. Les niveaux constitutifs sont des ensembles d'éléments géométriques homogènes entre eux et qui possèdent une structure propre. Les éléments sont pour leur part, les formes élémentaires caractéristiques de la forme architecturale (Borie, 2006). Borie a défini trois types d'éléments : linéaire, planaire et volumique. Il suggère que la forme architecturale peut être décomposée en cinq niveaux constitutifs : le volume global (décomposable ou non en éléments géométriques), l'enveloppe extérieure, les enveloppes intérieures, les espaces internes (volumétries) et la partition interne (considérée comme une trame). Les niveaux constitutifs de la forme architecturale sont répartis en quatre groupes correspondant aux quatre groupes de niveaux, c'est-à-dire les volumes ou espaces, les enveloppes, les lignes et les trames (figure 14).

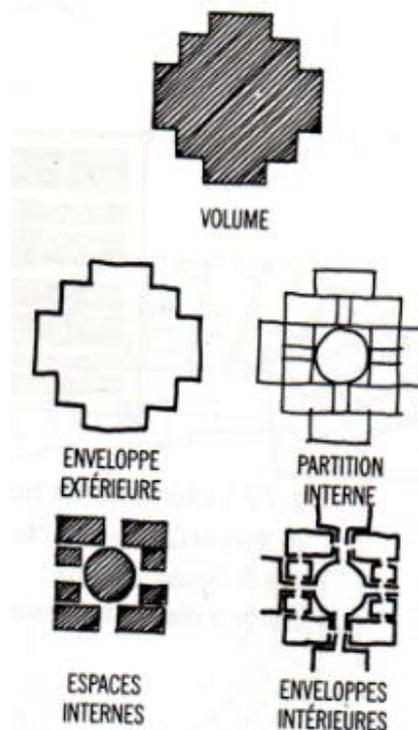


Figure 14 : Les niveaux constitutifs de la forme architecturale (Borie, 2006).

2. Etat de l'art

Plusieurs travaux, basés sur des documents relatifs aux projets, ont été menés pour essayer d'analyser et de comprendre les différents processus de transformation et les phases de modification des objets en conception.

2.1. Opérations morphologiques

La recherche de Goel (1995) suggère que les concepteurs ne génèrent pas des idées indépendantes mais plutôt une seule idée ou quelques idées liées et les développent à travers des transformations (Prats, 2009). Goel a identifié deux types d'opérations intervenant entre esquisses successives durant les différents stades de la conception. Il s'agit des transformations latérales et verticales illustrées dans la figure 15 (Goel, 1995). Les transformations "latérales ou transversales" convertissent une idée en une idée différente, alors que les transformations "verticales", constituent le mouvement d'une idée vers une version plus détaillée et plus précise de celle-ci.

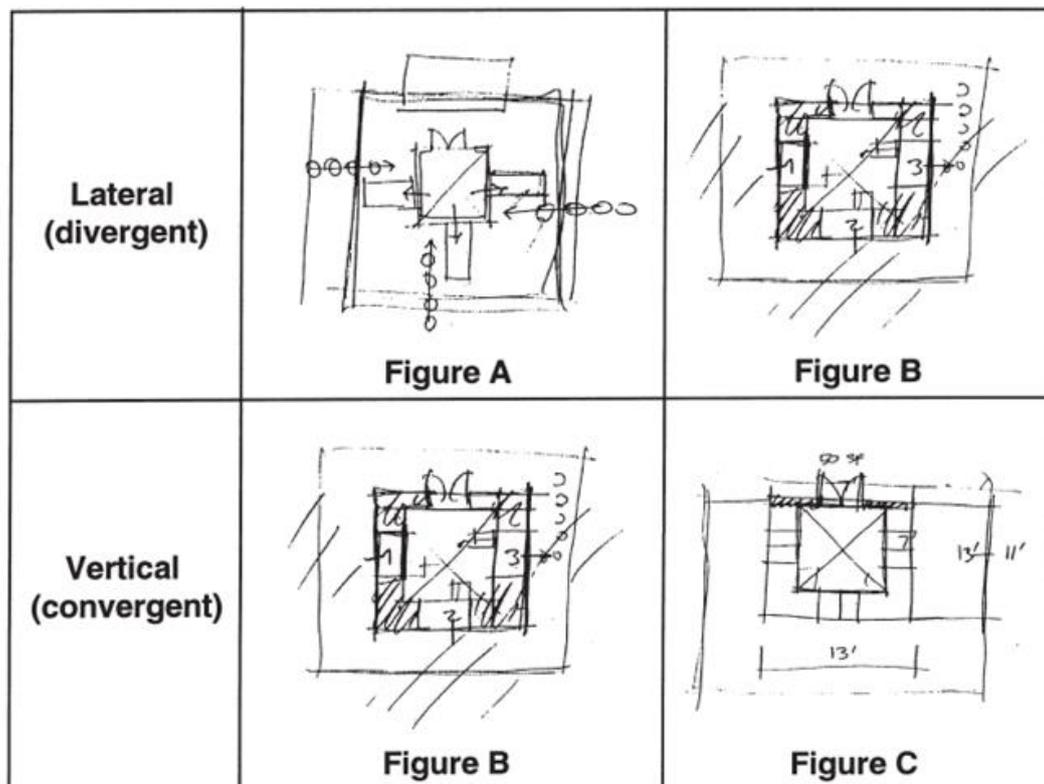


Figure 15 : Des exemples des Transformations "verticale et latérale" (Rodgers, 2000).

La figure 15 montre des croquis réalisés dans le cadre de la conception architecturale d'un guichet de poste. La figure 15 (B) est une transformation latérale de la figure 15 (A), car les trois cabines conservent leur emplacement, mais ont été intériorisées et incorporées dans la place principale. La figure 15 (C) est cependant une transformation verticale de la figure 15 (B) car il n'y a pas de modification de l'idée des cabines sur la place centrale. Il ya seulement clarification des lignes et ajout de détails et de données dimensionnelles (Rodgers, 2000).

Goel conclut que les croquis à main levée, par la vertu d'être syntaxiquement et / ou sémantiquement denses et / ou ambigus, jouent un rôle important dans la phase créative, exploratoire et ouverte, de résolution de problèmes. Il croit que les propriétés de l'esquisse à main levée facilitent les transformations latérales et empêchent les fixations précoces (Rodgers, 2000).

Partant d'un corpus singulier. Qui est celui de l'architecture dite non standard, dans laquelle la démarche de projet est guidée par une recherche formelle qui porte principalement sur l'enveloppe du bâtiment, Wetzal (2006) quant à lui fait l'hypothèse que la genèse des formes architecturales résulte d'opérations successives de transformation de formes. Il présente le concept d'opérateur comme un instrument d'action morphologique. Il soutient qu'un système de conception, basé sur la combinaison de ces opérateurs, permet au concepteur d'explorer rapidement un grand nombre de solutions spatiales. Il soutient que le processus de création de la forme architecturale repose sur l'application d'un ensemble d'opérateurs morphologiques à des formes initiales (Wetzal, 2006). Il procède par des allers et retours nombreux et des variations importantes entre différents états de la forme, qui en font un processus itératif et paramétrique. Des opérateurs tels que : Courber, tordre, Froisser, onduler,...etc, ont été identifiés et définis. Pour dégager ces opérations, Wetzal s'est appuyé sur l'analyse de différentes activités de conception à partir de documents graphiques produits par les architectes. Il a identifié des états intermédiaires de conception et a modélisé les variations de la forme entre deux de ses états consécutifs, en phase esquisse.

2.2. Grammaires de formes (Shape grammars) et les règles de formes (shape rules)

La grammaire anglaise capte formellement les principes de la langue anglaise à travers un ensemble de règles linguistiques. Ces règles aident à la composition de nouvelles phrases qui peuvent être analysées et interprétées par autrui. De même, les règles de forme (Stiny et Gips,

1972) fournissent un moyen pour décrire la forme et les transformations de forme d'une manière formelle et visuelle. (Prats, 2009).

Telle que décrite par McCromack et Cagan (2002), une grammaire de forme est une méthode de génération de conceptions en utilisant des formes primaires et des règles d'interaction entre elles. Par conséquent, elle est composée de formes et de règles de forme. Les conceptions sont générées à partir d'une grammaire de forme en commençant par une forme initiale (forme de départ) et l'application récursive de ces règles à un ensemble de formes (Trescak, 2012).

Les grammaires de forme fournissent une description formelle des processus d'exploration et de génération des formes, utilisés par les concepteurs, durant l'activité de conception (Prats, 2009). Elles sont définies selon les séries de règles, et une forme initiale à laquelle ces règles peuvent être successivement appliquées. Elles ont été utilisées comme un moyen pour analyser des objets conçus dans des professions comme l'architecture (Koning et Eizenberg, 1981) et le design de produits (Agarwal et Cagan, 1998). Ces grammaires tentent d'expliquer les travaux de conception en formalisant les relations spatiales entre leurs éléments et cherchent par ailleurs à générer des alternatives de conception.

Le présent travail utilise le concept de règles de forme pour décrire explicitement les transformations de forme entre les croquis. En d'autres termes, il tente de formellement de décrire le chemin tracé par les concepteurs dans le but d'acquérir une compréhension de la façon dont les formes et les éléments sont manipulés tout en explorant des alternatives de conception.

L'analyse du processus d'esquisse en termes de règles de forme peut aider à développer une compréhension des principes fondamentaux de la genèse et de l'exploration de formes (Prats, 2009). Ces règles de forme reflètent les types de transformation de forme employés par les sujets concevants (Jowers, 2010).

L'application d'une règle de forme reflète le processus exploratoire de « voir-bouger-voir », tel qu'il est utilisé par les concepteurs durant l'activité de conception (Schön et Wiggins, 1992). Dans « voir », une règle formalise la perception d'une forme en reconnaissant les formes secondaires particulières, et dans « Bouger », la règle manipule la forme selon la modification et le remplacement des sous-formes reconnues. Ce processus de reconnaissance

et de manipulation de formes secondaires conduit à la genèse de séquences de formes d'une manière qui reflète la façon dont les concepteurs génèrent des séquences de croquis (Prats & Earl, 2006 ; Jowers , 2010).

Une règle de forme est une règle de remplacement de la forme A dans B, où A et B sont deux formes (Prats, 2009). La figure 16a donne un exemple d'une règle de forme qui tourne (pivote) un carré de 45 ° autour de son centre. Une règle est applicable à une forme 'S' (Figure 16b, par exemple) si la forme sur le côté gauche de la règle est une sous-forme de la forme 'S', sous une transformation de similitude.

Par exemple, si un carré se trouve être une sous-forme de la forme 'S' ; alors il peut être tourné de 45 °. La figure 16c montre trois exemples différents de l'application de la règle dans la figure 13a à la forme dans la figure 16b.

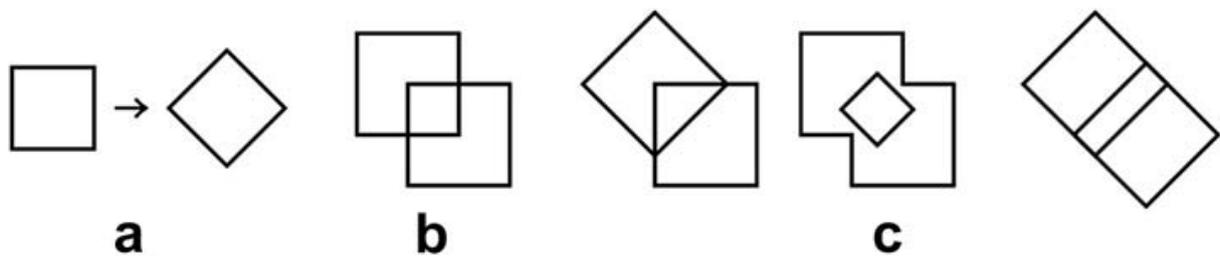


Figure 16: a) Une règle de forme, b) une forme S, et c) exemples de l'application de la règle de forme à la forme S (Source : Prats, 2009).

2.3. Classification des actions de transformation morphique

2.3.1. Do et les transformations de position et de couleur

Dans une étude réalisée sur une collection de dessins faits pour la conception d'un bungalow par l'architecte Neimann, Do et al (2000) attestent que les relations entre deux dessins, peuvent être codifiées via un ensemble de transformations appliquées à chaque élément de l'objet de conception. Ils ont développé une classification des différents types de représentation, d'angles de vue, des éléments, des transformations qu'ils subissent, et tout particulièrement dans leur localisation et leurs couleurs. Cette classification a permis

d'identifier des variations réalisées entre croquis. Les auteurs ont été en mesure d'identifier les transformations mais se sont arrêtées aux transformations simples, qui sont de l'ordre de la rotation, la translation ou la symétrie. Do pense que les transformations identifiées sont basiques et que d'autres travaux pourraient aboutir à une classification plus détaillée des opérations de transformation déployées par les concepteurs.

2.3.2. Les types de transformation de Ching

Dans son ouvrage, Ching (2007) fait l'hypothèse que toutes les formes peuvent être comprises comme étant des transformations de formes primaires. Ces variations sont générées par la manipulation d'une ou plusieurs dimensions, par l'addition ou la soustraction de formes ou d'éléments. Il a ainsi défini trois types de transformations, à savoir : les transformations dimensionnelles, soustractives et additives (Ching, 2007). Une transformation dimensionnelle est la modification d'une ou de plusieurs dimensions de la forme. Une transformation soustractive, quant à elle, correspond à la soustraction ou le retranchement d'une portion de la forme. Enfin, une transformation additive consiste à rajouter un élément à une forme.

Wetzel (2006) suggère que le travail de Francis D. K. Ching (2007) sur les formes architecturales permet d'identifier deux principales stratégies de production de forme, et éventuellement, deux principales classes d'opérateurs. Celle de la " transformation par composition " et celle de la "transformation par métamorphose", représentées respectivement par un homard et une limace (figure 17). Ces classes sont relatives aux propriétés visuelles et compositionnelles de la forme définies par Ching (2007).

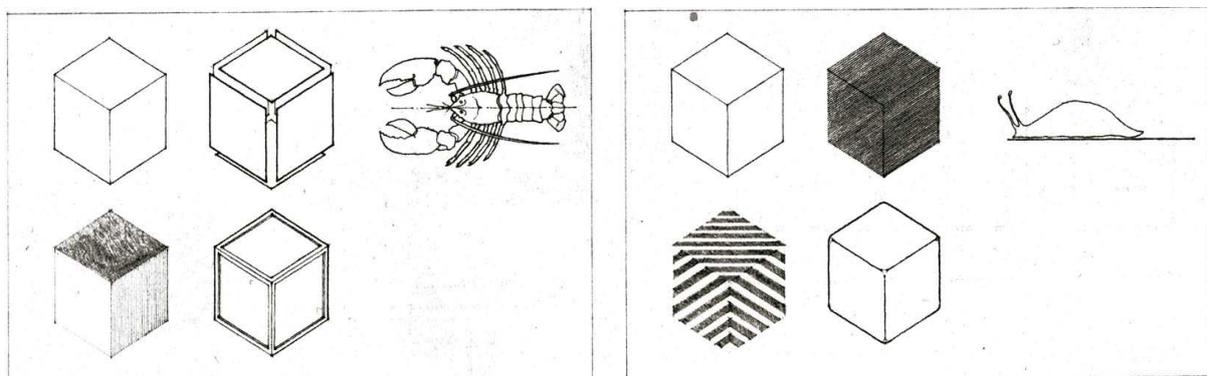


Figure 17 : Le homard et la limace (Ching, 2007).

2.2.1. Borie et la déformation comme cas particulier de transformation

À partir d'une étude menée sur une collection de projets architecturaux et urbains, représentés en deux dimensions, Borie est parvenu à faire une classification des différentes modalités de déformation morphique. Sa première classe se rapporte à la partie de la forme sur laquelle s'applique la déformation. Elle cherche à connaître le niveau constitutif de la composition impliqué. La deuxième classe s'occupe de la façon dont l'élément est déformé. Autrement dit, elle répertorie les types possibles de déformations d'un élément ou d'un système géométrique architectural. La troisième classe s'intéresse à l'ampleur de cette déformation. Bien qu'il se soit intéressé, dans son investigation, à l'idée de déformation qui apparaît désormais comme un simple cas particulier de transformation purement géométrique, Borie atteste de l'existence d'autres types de transformation. Il signale par exemple l'existence de transformations topologiques et dimensionnelles, qui n'ont pas été discutées dans son ouvrage et qui peuvent devenir autant de sujets d'étude (Borie, 2006).

2.3.4. Les opérations de transformation morphique chez Prats

Une autre recherche menée par Prats (2009) affirme que les transformations de forme, dans les croquis, peuvent être prises comme moyen pour comprendre le processus de conception. En effet, dans son article, Prats présente un travail empirique impliquant plusieurs activités de conception à main levée, menées par des designers industriels et des architectes. Huit designers industriels professionnels, quatre architectes et deux chercheurs dans le domaine de l'architecture ont participé à cette étude. Tous les participants avaient plus de 3 ans d'expérience professionnelle dans leurs disciplines respectives. Cette recherche suggère que les transformations de la forme appliquées aux croquis successifs, peuvent être décrites via un nombre limité d'opérations formelles (transformations morphiques), en l'occurrence, sept. Il s'agit des opérations suivantes : **transformations du contour, transformations de la structure, substitution d'un élément, ajout d'un élément, suppression d'un élément, découpage d'un élément**, et enfin **changement de vue**. Le tableau ci-dessous présente les opérations de transformation morphique, identifiées par Prats (tableau 7).

Researcher 1 Rules - ID	Researcher 2 Rules - Arch	Schema	Examples from sketches
Outline transformation	Bend		
	Straighten		
	Thicken		
	Extend shape		
	Change width/length		
Structure transformation	Flip		
	Change angles		
	Change direction		
	Split (use both parts)		
	Change position		
Substitute element	---		
Add element	Add a new shape		
	Combine shapes		
Delete element	Delete element		
Cut element	Split (use one part)		
Change view	Change view		

Tableau 7 : Les opérations de transformation morphique identifiées par Prats
(Source : Prats, 2009).

Une étude similaire réalisée par Lim (2008), confirme l'hypothèse, soutenue par Prats, selon laquelle les transformations de la forme appliquées aux croquis successifs peuvent être décrites via un nombre limité d'opérations. Elle a permis de réduire le nombre de ces opérations de sept à deux, à savoir : **transformations du contour** et **transformations de la structure**. Celles-ci ont ensuite été décomposées en quatre opérations formelles plus spécifiques. Les transformations du contour ont été décomposées en : courber- redresser- changer la longueur/ largeur et changer les angles. Et les transformations de la structure ont été détaillées en : renverser/ miroir- changer de direction- découper une forme- changer de position. Le tableau ci-dessous (tableau 8) présente les opérations de forme identifiées par Lim (2008).

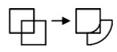
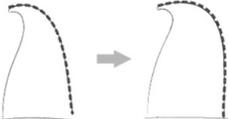
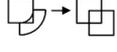
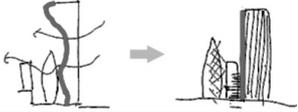
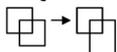
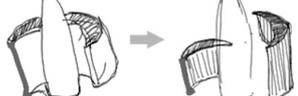
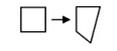
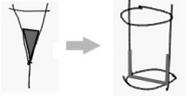
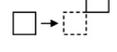
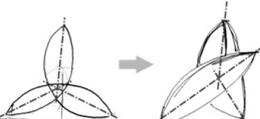
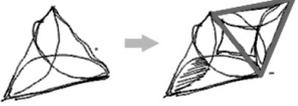
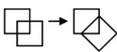
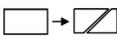
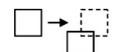
Multi-level shape rules		Examples (general-level)	Examples (detailed-level)
Outline transformation	Bend 		
	Straighten 		
	Change length/width 		
	Change angles 		
Structure transformation	Flip/Mirror 		
	Change shape direction 		
	Split shape (use both parts) 		
	Change shape position 		

Tableau 8 : Les opérations de transformation morphique identifiées par Lim

(Source : Lim, 2008).

3. Phases de conception

L'étude de Goel a permis d'identifier deux phases dans le processus de production morphique du travail de conception architecturale (Goel, 1995). La première phase est baptisée phase schématique ou conceptuelle. La deuxième phase, est connue sous le nom de phase raffinée et détaillée. La phase de conception schématique ou préliminaire implique la génération et l'exploration de différentes alternatives. La génération et l'exploration des alternatives de conception sont facilitées par la nature abstraite de l'information prise en considération, le degré d'engagement faible relativement aux idées générées, la grossièreté du détail, et le nombre important des transformations horizontales ou latérales. Une transformation latérale, est le mouvement d'une idée à une autre différente, plutôt qu'une version plus détaillée de la même idée. Elle est utilisée pour l'élargissement de l'espace du problème et pour l'exploration et le développement des idées (Goel, 1995). La phase de conception raffinée et

détaillée, est plus structurée. Des engagements vis à vis d'une solution particulière sont faits et propagés à travers l'espace du problème. Elle est caractérisée, par la nature concrète des informations prises en considération, le degré d'engagement élevé aux idées générées, l'attention portée aux détails et un nombre important de transformations verticales. Elle est le mouvement d'une idée vers une version plus détaillée de celle-ci (Goel, 1995). La phase de conception schématique, est accompagnée de croquis ambigus, vagues et mal-structurés. Tandis que la phase de conception raffinée et détaillée, est accompagnée de croquis précis, détaillés et plus-structurés (Goel, 1995).

4. Définition des actions de transformation morphique

Nous retenons de cette présentation de travaux, sur la transformation de la forme architecturale, l'existence d'une collection d'opérateurs morphologiques au cœur de nombreuses théories qui soutiennent nos propres hypothèses.

Une transformation est ici définie comme étant un processus durant lequel un objet change progressivement de forme afin d'en obtenir une autre (Terzidis, 1989). Elle est l'action qui modifie une forme réelle ou virtuelle (Borie, 2006). Ces modifications et variations sont générées par le biais de la manipulation ou de l'altération d'une ou plusieurs propriétés de la forme ou de l'élément originel (ching, 2007). Un cube, par exemple, peut être transformé en formes prismatiques similaires par des changements discrets de hauteur, de largeur ou de longueur. Il peut être comprimé en une forme plane ou être étiré en une forme linéaire (Ching, 2007).

Ainsi, le concepteur passe de formes sources empruntées à des domaines divers (géométrie, nature, mécanique...) à des formes cibles capables d'accueillir le programme du maître d'ouvrage. Ce cheminement se fait par des allers et retours nombreux et des variations importantes entre différents états de la forme qui en font un processus itératif et paramétrique. Ce processus de création de la forme architecturale repose sur l'application d'un ensemble d'opérateurs morphologiques aux formes initiales (Wetzel, 2006).

Ces actions de transformations sont formalisées selon des règles de forme qui décrivent explicitement les liens entre les croquis et permettent une meilleure compréhension de l'activité d'esquisse dans la conception (Prats, 2009).

5. Élaboration du modèle des actions de transformation morphique

Le modèle des actions de manipulation/ production morphique, élaborés par la présente étude, s'appuie sur les travaux qui traitent de la manière dont les formes sont générées et manipulées, et les opérations de transformation qui permettent le déploiement d'un tel processus. Partant des travaux développés par : Borie (2006) ; wetzel (2006) ; Ching (2007) ; Do et al (2000) ; Lim (2008) ; Prats (2009) ; Rodgers (2000) et De Biasi (2000), le présent travail a défini un modèle de codification qui se compose de trois catégories d'actions de transformation morphique, à savoir les actions de transformation plastique, les actions de transformation structurales et les actions de transformations figurative. Celles-ci sont décomposables en quatorze classes d'actions (Figure 20, les catégories et classes d'actions du modèle des actions de manipulation/ production morphique). Les actions de transformation plastique sont mises en œuvre pour modifier l'apparence et l'aspect extérieur d'un élément ou d'une forme. Tandis que les actions de transformations structurales sont mobilisées pour explorer différentes solutions qui se rapportent à l'organisation, la disposition et la constitution de l'objet en conception. La catégorie des actions de transformation figurative, quant à elle, sert à la figuration et à la représentation de l'objet en conception, en vue de tester et d'évaluer les transformations morphiques opérées par les sujets concevants.

Les actions de transformation plastique et structurale, sont identifiées et classées par rapport aux propriétés de la forme définies par Ching (2007), à savoir : les propriétés visuelles (plastiques) et les propriétés compositionnelles (structurales). La catégorie des actions de transformation figurative est créée, pour qualifier la transformation qui ne se rapporte pas à la forme de l'objet en conception. Elle est de l'ordre de la visualisation et de l'exploration.

5.1. Transformations plastiques

Les transformations plastiques correspondent à la première stratégie de ching (1996) identifiée comme celle de la limace. La forme des semences y subit des modifications morphologiques mais pas topologiques, avec des opérateurs tels que torsion, étirement ou pincement (figure 18). Nous nous référons à Cela comme étant "**la transformation par métamorphose**" ou "**transformation plastique**" (Wetzel, 2006). Le mot plastique se réfère à l'apparence extérieure et au contour d'un élément ou d'une forme, aux jeux de lignes, de formes ou de couleur. Les transformations plastiques sont principalement utilisées pour le raffinement de la forme architecturale (Prats, 2009). Elles se composent de quatre classes d'actions. Ces classes décrivent les transformations affectant les propriétés purement visuelles

d'une forme ou d'un élément à savoir : **la conformation, la taille, la couleur et la texture** (Ching, 2007).

5.1.1. Transformations de la conformation (shape transformations)

Cette classe d'actions décrit les transformations qui affectent la propriété de la conformation d'une forme ou d'un élément (shape). Ici, la conformation se réfère à l'apparence de la forme. C'est la configuration ou la disposition relative des lignes ou des contours qui délimitent une figure ou une forme. La conformation est donc, l'aspect principal par lequel nous identifions et classons les formes. (Ching, 2007)

5.1.2. Transformations de la taille (transformations dimensionnelles)

Cette classe d'actions décrit les transformations qui affectent la propriété de la taille d'une forme ou d'un élément. Ici, la taille se réfère aux dimensions physiques de largeur et de longueur, la profondeur d'une forme ou d'un élément. Bien que ces dimensions déterminent les proportions d'une forme, son échelle est déterminée par sa taille par rapport à d'autres formes dans son contexte (Ching, 2007).

Une forme ou un élément peut être transformé en modifiant une ou plusieurs de ses dimensions, tout en conservant son identité en tant que membre d'une famille de formes (Ching 2007).

5.1.3. Transformations de la couleur

Cette classe d'actions décrit les transformations qui affectent la propriété de la couleur d'une forme ou d'un élément.

La couleur se réfère à Un phénomène de lumière et de perception visuelle qui peut être décrit en termes de perception de la teinte, de la saturation et de la valeur tonale. La couleur est l'attribut qui distingue le plus clairement une forme de son environnement. Il affecte également le poids visuel d'une forme (Ching, 2007).

5.1.4. Transformations de la texture

Cette classe d'actions décrit les transformations qui affectent la propriété de texture d'une forme ou d'un élément. La texture se réfère à la qualité visuelle et surtout tactile donnée à une

surface par la taille, la configuration, la disposition et les proportions des parties. La texture détermine également le degré auquel les surfaces d'une forme réfléchissent ou absorbent la lumière incidente (Ching, 2007).

La figure illustrée ci-dessous présente les différentes classes de la catégorie des actions de transformations plastiques (figure 18).

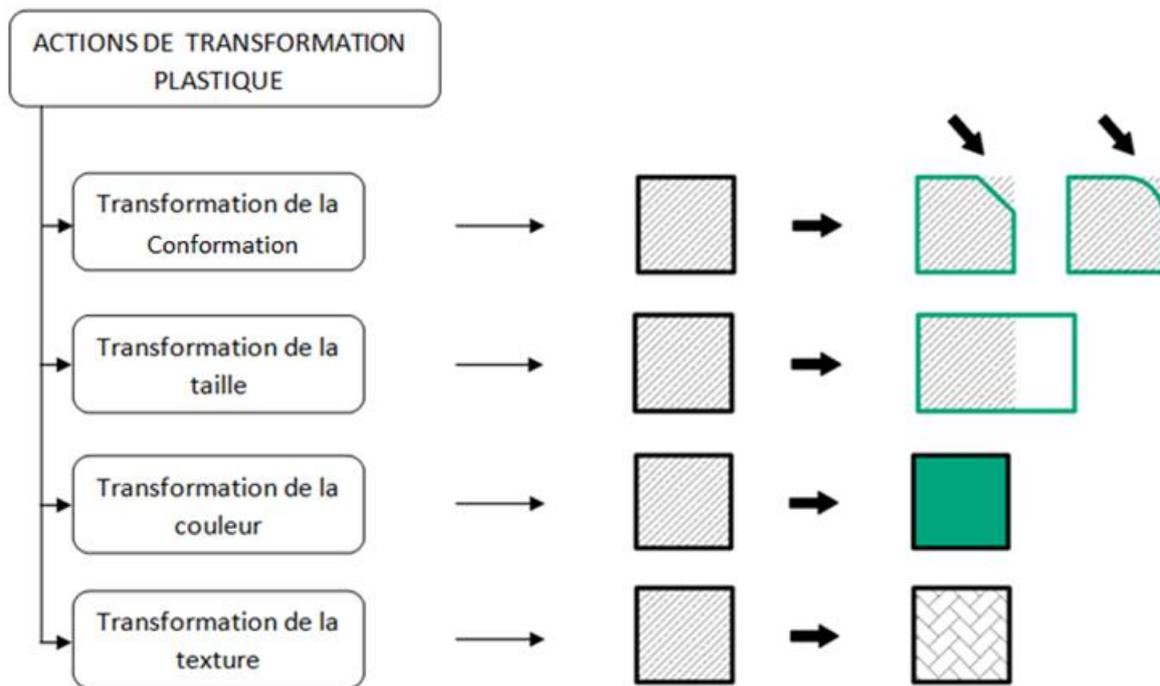


Figure 18 : Les différentes classes d’actions de transformation plastique

(Source : Borie, 2006 ; Ching, 2007 ; Prats, 2009).

5.2. Transformations structurales

Le travail de Francis D. K. Ching (1996) sur les formes architecturales nous permet également d'identifier la deuxième stratégie qui est métaphoriquement représentée par un homard. Elle consiste à créer des formes grâce à l'ajustement et la combinaison. La forme des semences est faite de formes unitaires que nous allons, par exemple additionner, juxtaposer, superposer (figure 19). Le mot structure signifiant « constitution interne » ou « rapports internes » de l'objet architectural ; des rapports que les formes et les éléments entretiennent entre eux, à

savoir : les rapports géométriques et les rapports topologiques (Borie, 2006), nous nous référons à ces transformations comme étant "**une transformation Structurale**" ou "**une transformation par composition**" (Wetzel, 2006).

Les transformations structurales sont principalement utilisées pour exprimer les différentes relations spatiales entre les éléments. En raison des transformations de structure qui ont tendance à affecter la disposition d'une conception, ils sont plus susceptibles d'entraîner des modifications radicales de la forme que les transformations de son aspect (Prats, 2009) ou transformation plastique.

Cette catégorie d'actions décrit les transformations affectant les propriétés relationnelles qui gouvernent la structure et la composition des éléments, à savoir : **les rapports topologiques (position), les rapports géométriques (orientation) et la constitution** (Borie, 2006 ; Ching, 2007).

5.2.1. Transformations des rapports topologiques (changement de position)

Cette classe d'actions désigne le premier type de rapports qui existe entre éléments formels. Il décrit les transformations qui affectent la propriété de la position d'une forme ou d'un élément (Borie, 2007).

La position se réfère à L'emplacement d'une forme ou d'un élément par rapport à son environnement ou du champ visuel dans lequel il se situe (Ching, 2007).

5.2.2. Transformations des rapports géométriques (changement d'orientation)

Cette classe d'actions désigne le deuxième type de rapports qui existent entre éléments formels. Il décrit les transformations tels que le changement d'orientation et la réflexion d'une forme ou d'un élément.

5.2.2.1. Rotation

Cette action décrit les transformations qui affectent l'orientation d'une forme ou d'un élément (Borie, 2006). L'orientation se réfère à La direction d'une forme par rapport au plan du sol, aux points cardinaux, à d'autres formes, ou à la personne qui perçoit la forme (Ching, 2007).

5.2.2.2. Réflexion

La réflexion d'une forme ou d'un élément est une symétrie orthogonale par rapport à un point, une droite ou un élément.

5.2.3. Transformations constitutives

Cette classe d'actions décrit les transformations qui affectent la constitution et la composition d'une forme. Les transformations constitutives sont principalement utilisées pour décrire l'apparition, l'absence, l'union et la division d'éléments formels entre deux croquis successifs.

5.2.1.1. Ajout

Cette règle de transformation décrit l'introduction d'un élément à un croquis. Une transformation est considérée comme ajout d'un élément quand un croquis affiche un élément qui n'est pas présent dans le croquis précédent (Prats, 2009).

5.2.1.2. Suppression

Cette règle de transformation décrit le retrait d'un élément d'un croquis. Par opposition à l'ajout d'un élément, supprimer un élément se produit quand un élément est absent dans un croquis alors qu'il était présent dans le croquis précédent (Prats, 2009).

5.2.1.3. Division

Cette règle de transformation décrit le fractionnement (découpage) d'une forme ou d'un élément en deux ou plusieurs éléments. Diviser, par exemple, un cercle en deux croissants (Prats, 2009).

5.2.1.4. Combinaison

Cette règle de transformation désigne le contraire de la règle qui précède. Elle décrit la réunion (fusion, addition, union) de deux ou plusieurs formes ou éléments en un ou plusieurs éléments, dans le but de former une seule et unique forme. Combiner, par exemple, deux croissants pour former un cercle (Prats, 2009).

5.2.1.5. Substitution

Cette règle de transformation décrit le remplacement d'un élément existant dans un croquis par un nouvel élément. Une transformation de la forme est considérée comme remplacement, seulement si la forme ajoutée est nouvelle (Prats, 2009).

La figure illustrée ci-dessous présente les différentes classes de la catégorie des actions de transformations structurale (figure 19).

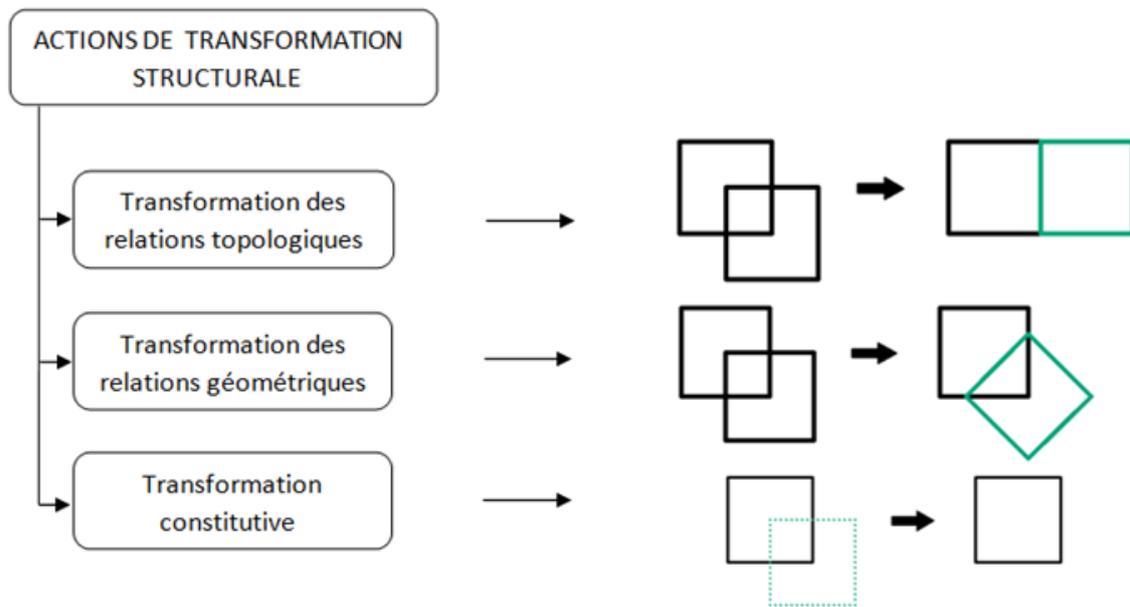


Figure 19 : Les différentes classes des actions de transformation structurale

(Source : Borie, 2006 ; Ching, 2007 ; Prats, 2009).

5.3. Transformations figuratives

Contrairement aux autres catégories d'actions de transformation, définies ci-dessus, les actions de transformation figurative ne représentent pas des transformations de la forme de la conception. Elles sont principalement utilisées pour permettre l'exploration et la visualisation des opérations de transformation entreprises par le sujet. Leur but est de tester et de détailler les solutions graphiquement figurées, formulées par le sujet concevant.

Cette classe décrit les transformations affectant : le type de présentation, l'espace d'action/objet, l'espace d'action/ Etages (De Biasi, 2000), le point de vue (Prats, 2009), la direction de vue, la taille du croquis, et le niveau de complexité (Rodgers, 2000).

5.3.1. Changer le Type de présentation

Une transformation est considérée comme un Changement de type de présentation si, par exemple, un croquis est représenté en plan et le croquis suivant est représenté en coupe ou en élévation.

5.3.2. Changer l'espace d'action/ Objet

Une transformation est considérée comme un Changement de l'espace d'action/ Objet si, le concepteur travaille sur un croquis qui représente un élément ou un espace architectural donné et passe au croquis suivant, à un autre élément ou un espace complètement différent. C'est l'exemple du passage de la conception de l'entrée à celle de la cuisine.

5.3.3. Changer l'espace d'action/ Étages

Une transformation est considérée comme un changement de l'espace d'action/ Étages si, par exemple, le concepteur qui travaille sur un croquis du rez-de-chaussée, passe, au croquis suivant au premier étage.

5.3.4. Changer de point de vue

Une transformation est considérée comme un Changement de point de vue si, par exemple, un croquis représente la vue latérale d'un objet est le même, et le croquis suivant représente le même objet en perspective (Prats, 2009).

5.3.5. Changer de direction de vue

Une transformation est considérée comme un Changement de direction de vue si, le point de vue de deux croquis successifs de l'objet est le même alors que leur champs de vision sont différents.

5.3.6. Changer la taille du croquis

Une transformation est considérée comme un zoom avant ou arrière si, les dimensions du graphisme du croquis suivant ont respectivement subi un agrandissement ou une réduction.

5.3.7. Changer le niveau de complexité

Une transformation est considérée comme un changement du niveau de complexité si, le niveau de détails de deux croquis consécutifs a subi un changement en passant d'un simple croquis à un croquis plus complexe. Une définition plus détaillée de l'évaluation de la complexité est présentée dans le tableau suivant (tableau 9).

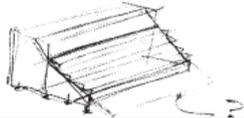
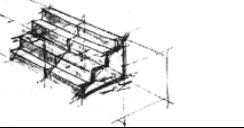
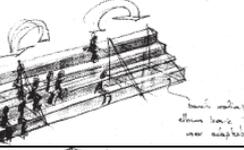
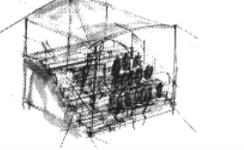
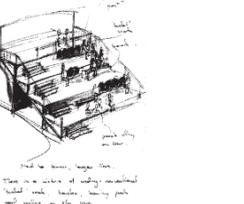
<p>Niveau de complexité 1</p> <p>Dessin au trait monochrome. Pas d'ombre pour suggérer une forme en 3D. Aucun texte ou annotations numériques sont utilisées.</p>	
<p>Niveau de complexité 2</p> <p>Dessin au trait monochrome. Pas d'ombre pour suggérer une forme en 3D, mais il y'a utilisation de différentes épaisseurs de ligne.</p>	
<p>Niveau de complexité 3</p> <p>Monochrome, avec ombrage (nuances, hachures) approximatif, utilisé pour suggérer une forme en 3D. Une ou deux brèves annotations peuvent apparaître, avec au maximum 6 ou 7 mots.</p>	
<p>Niveau de complexité 4</p> <p>Nuance subtile et fortement suggestive de la forme en 3D. Le dessin sera certainement annoté. La couleur peut être utilisée pour illustrer certaines parties de la conception ou de l'arrangement.</p>	
<p>Niveau de complexité 5</p> <p>L'utilisation intensive de l'ombrage pour suggérer une forme en 3D. L'annotation sera utilisée pour poser des questions d'idée ou pour l'expliquer. La couleur va être fortement utilisée. Généralement un dessin très chargé, de nombreuses lignes seront utilisés dans sa construction.</p>	

Tableau 9 : les cinq niveaux de complexité élaborés par Rodgers (2000).

La figure ci-dessous présente les différentes catégories et classes d'actions du modèle de manipulation/ production morphique élaboré par le présent travail (figure 20).

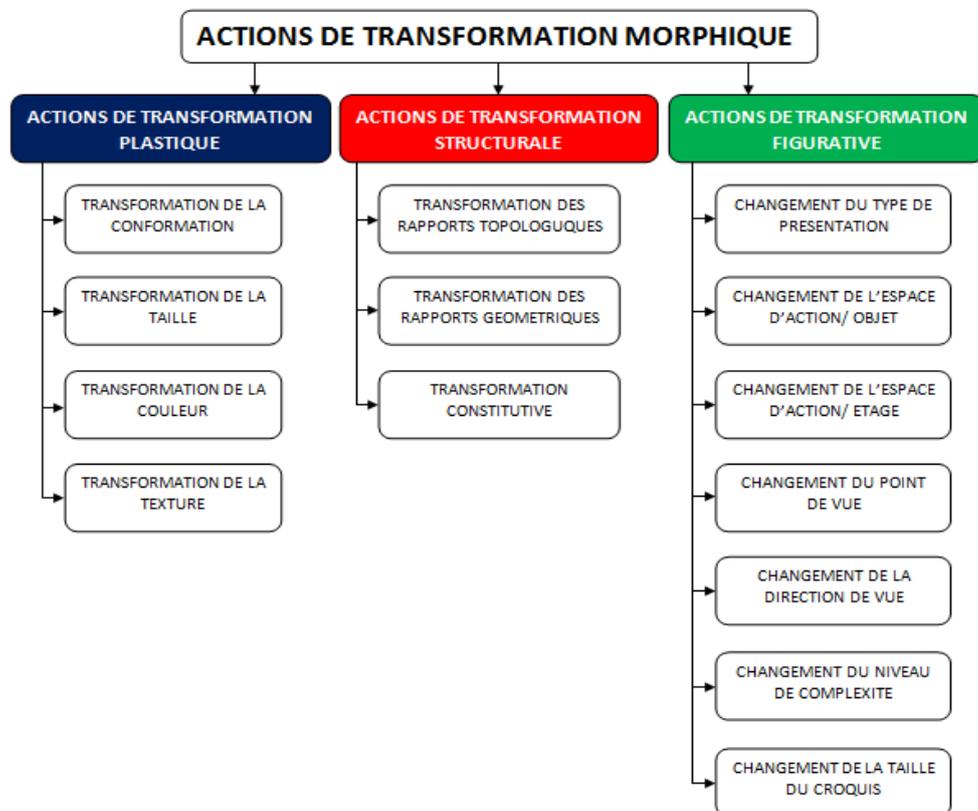
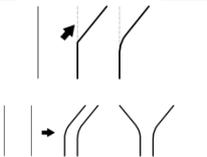
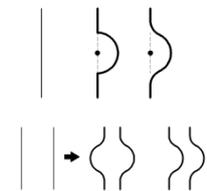
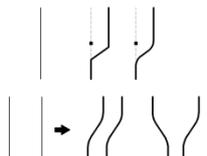
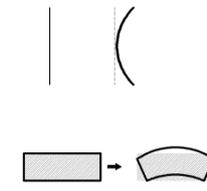
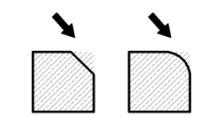
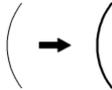
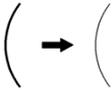
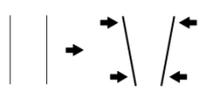
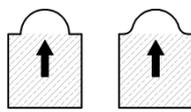
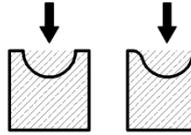
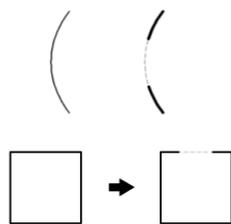
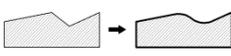


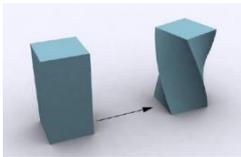
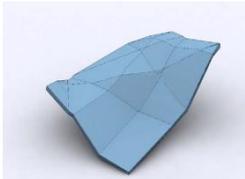
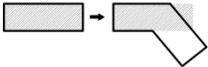
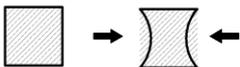
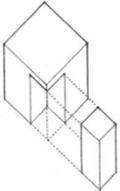
Figure 20 : Catégories et classes d'actions du modèle de manipulation/production morphique.

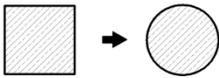
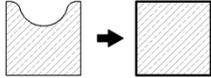
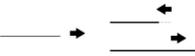
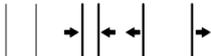
Conclusion

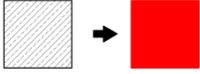
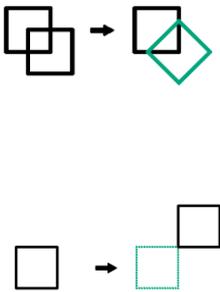
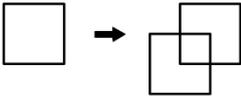
Les transformations de la forme appliquées aux croquis successifs, sont décrites via un nombre limité d'actions de transformation morphique. Bien que les noèses présentées ici soient suffisantes pour capter les transformations de la forme, opérées par les architectes participants à notre étude, l'ensemble des actions de transformation morphique n'est pas supposé être complet. Il est possible que d'autres expérimentations puissent se traduire par des ajouts à la série. Il existe néanmoins, trois grandes catégories d'opérations de transformation morphique qui sont : **les transformations plastiques, les transformations structurales et les transformations figuratives**. Le tableau 10, illustre cet ensemble d'actions de transformation morphique, avec des illustrations sous forme de règles qui expriment chaque action de transformation de la forme, de manière abstraite.

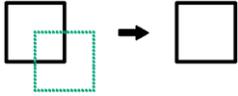
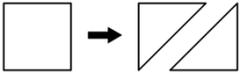
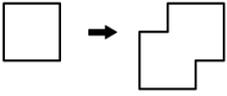
Catégorie d'actions	Code	Classe d'actions	code	Actions	Définitions	illustrations
Catégorie des actions de transformation plastique	PL	Actions de transformation de la conformation	CO	Infléchir	Action qui consiste à plier légèrement un élément ou une forme (Courbe ou anguleuse).	
				Dévier	Action qui consiste à changer la direction d'un élément ou d'une forme pour éviter ou contourner un élément.	
				Dévoier	Action qui consiste à détourner un élément ou une forme de sa trajectoire linéaire.	
				Courber	déplacement des deux extrémités d'un élément ou d'une forme, de façon adoucie, suivant un point de convergence.	
				Tronquer	Action qui consiste à retrancher l'extrémité d'un élément ou d'une forme.	

				<p>Epaissir</p> <p>Action qui consiste à rendre un élément ou une forme plus épaisse, plus dense.</p> 
			<p>Affiner</p> <p>Action qui consiste à rendre un élément ou une forme plus fine, plus mince.</p> 	
			<p>Converger</p> <p>Action qui consiste à tendre (orienter) des éléments vers un même point.</p> 	
			<p>Boursoufler</p> <p>Action qui consiste à distendre une partie de l'enveloppe, la gonfler par places.</p> 	
			<p>Enfoncer</p> <p>Action qui consiste à pousser une partie de l'enveloppe d'une forme de telle sorte qu'un creux se forme.</p> 	
			<p>Ouvrir (percer)</p> <p>Action qui consiste à retrancher une partie de l'enveloppe d'un élément ou d'une forme pour créer une ouverture.</p> 	
			<p>Lisser</p> <p>modification d'un élément ou d'une forme de façon à rendre sa surface unie, polie.</p> 	
			<p>Glisser</p> <p>déplacement de l'extrémité d'un élément ou d'une forme suivant deux directions opposées.</p> 	
			<p>Pincer</p> <p>modification des extrémités d'un élément ou d'une</p>	

					forme suivant deux directions opposées.	
				Tordre	Rotation du volume, suivant un axe de rotation, réalisée de façon adoucie entre le centre de la forme et ses extrémités.	
				Froisser	Implantation d'un ensemble de plis de façon aléatoire sur toute ou partie d'un élément ou d'une forme.	
				Onduler	Modification d'un élément ou d'une forme suivant un ensemble de courbes implantées sur un plan.	
				Plier	déplacement d'un élément ou d'une forme suivant une rotation par rapport à un axe de pliage situé sur un plan.	
				Plisser	implantation d'un ensemble de plis sur un élément ou une forme.	
				Serrer	déplacement d'un élément ou d'une forme suivant deux directions opposées se rapprochant sur un même plan.	
				Soustraire	Action qui consiste à retrancher une partie d'une forme.	

				Remplacer	Changement total d'un élément ou d'une forme, qui ne peut être décrit par les opérateurs illustrés ci-dessus.	
				Redresser	Action qui consiste à donner à un élément ou une forme déformée, sa forme première.	
		Actions de transformation de la taille (dimensionnelles)	TA	Agrandir la longueur	Action qui consiste à étirer une forme un élément dans une ou deux directions opposées vers l'extérieur, dans le sens de la longueur.	
				Réduire la longueur	Action qui consiste à étirer une forme un élément dans une ou deux directions opposées vers l'intérieur, dans le sens de la longueur.	
				Agrandir la largeur	Action qui consiste à étirer une forme un élément dans une ou deux directions opposées vers l'extérieur, dans le sens de la largeur.	
				Réduire la largeur	Action qui consiste à étirer une forme, un élément dans une ou deux directions opposées vers l'intérieur, dans le sens de la largeur.	
				Agrandir la hauteur	Action qui consiste à étirer une forme un élément dans une ou deux directions opposées vers l'extérieur, dans le sens de la hauteur.	
				Réduire la hauteur	Action qui consiste à étirer une forme un élément dans une ou deux directions opposées vers l'intérieur, dans le sens de la hauteur.	

					deux directions opposées vers l'intérieur, dans le sens de la hauteur.	
		Actions de transformation de la couleur	CL	Changer la couleur	Action qui consiste à remplacer la couleur d'un élément ou d'une forme par une autre couleur.	
		Actions de transformation de la texture	TX	Ajouter une texture Supprimer une texture Substituer une texture	Cette action décrit l'introduction d'une texture à un élément ou une forme. Cette action décrit le retrait de la texture d'un élément ou d'une forme. Cette action décrit le remplacement de la texture d'un élément ou d'une forme.	
Catégorie des actions de transformation structurale	ST	Actions de transformation des rapports topologiques	RT	Déplacer	Cette action décrit le changement de l'emplacement ou de la position d'un élément ou d'une forme.	
		Actions de transformation des rapports géométriques	RG	Pivoter (rotation) Réflexion	Cette action décrit les transformations affectant la propriété de l'orientation d'une forme ou d'un élément. Cette action décrit une symétrie d'un élément ou d'une forme par rapport à un élément.	
		Actions de transformation constitutive	CN	Ajouter	Cette action décrit l'introduction d'un élément à un croquis. Une transformation est considérée comme ajout d'un élément quand un croquis affiche un élément qui	

				<p>Supprimer</p> <p>Diviser</p> <p>Combiner</p> <p>Substituer</p>	<p>n'est pas présent dans le croquis qui le précède dans la séquence.</p> <p>Cette action décrit le retrait d'un élément à partir d'un croquis. Par opposition à l'ajout d'un élément. Supprimer un élément se produit quand un élément est absent dans un croquis alors qu'il est présent dans le croquis précédent.</p> <p>Cette action décrit le fractionnement (découpage) d'une forme ou d'un élément en deux ou plusieurs éléments. Diviser par exemple, un cercle en deux croissants.</p> <p>Cette action de transformation désigne le contraire de la règle qui précède. Elle décrit la réunion (fusion, addition, union) de deux ou plusieurs formes ou éléments dans le but de former une seule et unique forme. Combiner, par exemple, deux croissants pour former un cercle.</p> <p>Cette action de transformation décrit le remplacement d'un élément existant dans un croquis par un nouvel élément.</p>	  
		Changement du type de présentation	TP	<p>Une transformation est considérée comme un Changement de type de présentation si, par exemple, un croquis est représenté en plan et le croquis</p>		

Catégorie des actions de transformation figurative	FIG	Changement d' l'espace d'action/ objet	EAO	<p>suisant est représenté en coupe ou en élévation.</p> <p>Une transformation est considérée comme un Changement de l'espace d'action/ Objet si, le concepteur travaille sur un croquis qui représente un élément ou un espace architectural donné et passe au croquis suivant à un autre ou un espace complètement différent. C'est l'exemple du passage de la conception de l'entrée à celle de la cuisine.</p>
		Changement de l'espace d'action/ Etages	EAE	<p>Une transformation est considérée comme un Changement de l'espace d'action/ Etages si, par exemple, le concepteur qui travaille sur un croquis plan du rez-de-chaussée, passe au croquis suivant au le plan du 1^{er} étage</p>
		Changement du point de vue	PV	<p>Une transformation est considérée comme un Changement de point de vue si, par exemple, un croquis représente la vue latérale d'un objet et le croquis suivant représente le même objet en perspective.</p>
		Changement de la direction de vue	DV	<p>Une transformation est considérée comme un Changement de direction de vue si, le point de vue des deux croquis successifs de l'objet alors que leurs champs de vision sont différents.</p>

		Changement de la taille d'un croquis	TC		Une transformation est considérée comme un zoom avant ou arrière si, les dimensions du graphisme du croquis suivant ont respectivement subi un agrandissement ou une réduction.	
		changement du niveau de complexité d'un croquis	NC		Une transformation est considérée comme un changement du niveau de complexité si, le niveau de détails de deux croquis consécutifs a subi un changement en passant d'un simple croquis à un croquis plus complexe. Une définition plus détaillée de l'évaluation de la complexité est présentée dans le tableau suivant (tableau 10).	

Tableau 10 : Modèle des actions de transformation morphique élaboré par la présente étude.

CHAPITRE 3

TRAITEMENT DES DONNÉES

« ANALYSE ET INTERPRÉTATION »

Introduction

Ce chapitre présente les résultats du processus d'analyse des recueils d'observation. Celui-ci emprunte le chemin décrit par le protocole d'analyse. Il se compose de trois moments. Le premier est celui de la description/ codification des différentes manipulations morphiques opérées par les sujets concevants. Il s'agit d'identifier et de quantifier les transformations de forme opérées par les sujets concevant via le modèle des actions de transformation morphique, développé au second chapitre du présent travail. S'ensuit le moment de la lecture des données codifiées. Il représente le premier niveau d'analyse des recueils de description. Enfin le moment de l'analyse des données codifiées des deux sujets. Il analyse les données recueillies en profondeur, et permet de comprendre les logiques internes propres à l'activité de manipulation/ production morphique chez les deux sujets concevants.

1. Processus d'analyse des recueils d'observations

Les trois architectes participants ont produit un total de 30 croquis. Eu regard à l'objectif de la présente étude, seuls deux journaux, de deux sujets concevants, ont été retenus pour cette analyse. Il s'agit des sujets concevants 1 et 2.

Les croquis produits par chacun des architectes participants (figure 21) sont classés dans des tableaux (voir tableau 3 : modèle général de description des recueils d'observations). Chaque croquis est considéré comme un segment à part entière et fait l'objet d'un descriptif approfondi. Les enregistrements vidéo ont été d'une grande aide quant à l'identification de l'ordre et du sens des différents croquis générés par les deux sujets concevants.

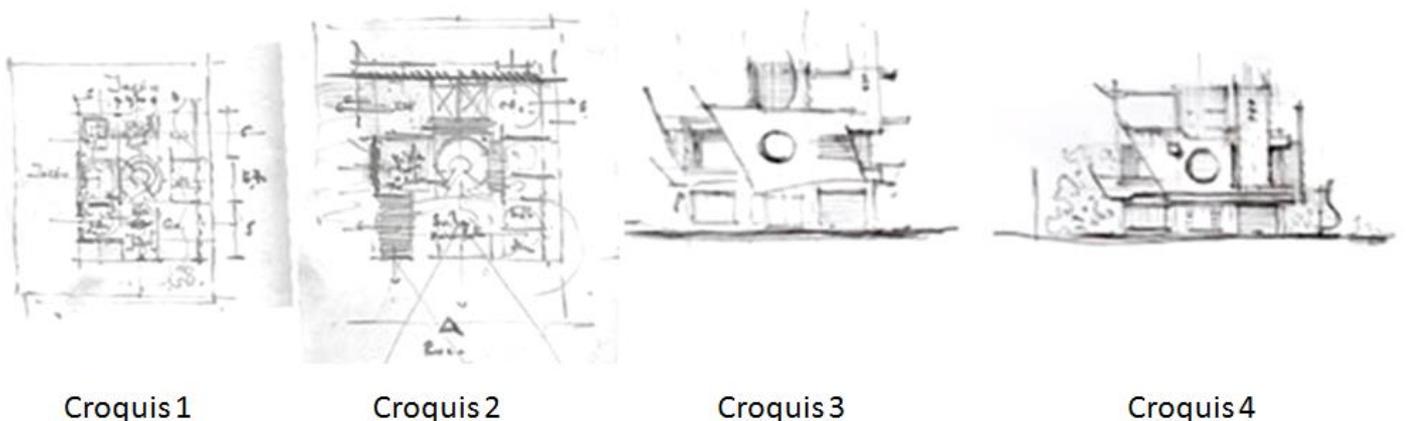


Figure 21. Séquence de croquis tirée des recueils d'observation de l'architecte participant 2.

1.1. Description/ codification des recueils d'observation

Une fois les segments classés selon leur ordre d'occurrence, ils sont regroupés dans des tableaux de codification. Toutes les transformations de forme opérées par les sujets concevants, entre les croquis consécutifs y sont identifiées, décrites et codifiées via le modèle des actions de manipulation/ production morphique, précédemment élaboré (voir annexe 1 et 2).

La méthode de codification a prouvé que les actions et catégories d'actions de transformation morphique, précédemment élaborées, sont suffisantes pour décrire toutes les manipulations morphiques, tout comme elles ont pu contenir la totalité des transformations morphiques identifiées. Ce constat signifie que le modèle élaboré par la présente étude est valide que toutes les actions de transformation morphique, qui ont été élaborées, sont nécessaires et suffisantes pour décrire le processus de manipulation/ production morphique.

À l'issue des deux passages de codification et de leur arbitrage final, cette étude a produit, pour les recueils d'observations des deux sujets concevants, les résultats consignés au niveau du tableau 11 ci-dessous.

	Recueils d'observation	Sujet concevant 1	Sujet concevant 2
Nombre d'actions de transformation morphique	Premier passage	202	55
	Deuxième passage	239	53
	Arbitrage	219	48

Tableau 11 : Nombre d'actions de transformation morphique, par passage de codification, pour les deux sujets concevants.

2. Lecture des données codifiées

Cette étape consiste en une lecture des tableaux de description, élaborés pour chacun des sujets concevants. Elle permet d'en dégager les ressemblances et les dissemblances, via les tableaux de codification. Elle se développe en trois niveaux qui correspondent respectivement aux actions, aux catégories et aux classes d'actions du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude.

2.1. Actions de transformation morphique

Ce niveau permet de comparer la fréquence d'occurrence des actions de manipulation/production morphique chez les deux sujets concevants. Il représente le premier niveau de lecture des données.

Chronologie	TM
CROQUIS 1→ 2	5
CROQUIS 2→ 3	7
CROQUIS 3→ 4	2
CROQUIS 4→ 5	6
CROQUIS 5→ 6	11
CROQUIS 6→ 7	25
CROQUIS 7→ 8	5
CROQUIS 8→ 9	5
CROQUIS 9→ 10	2
CROQUIS 10→ 11	6
CROQUIS 11→ 12	9
CROQUIS 12→ 13	6
CROQUIS 13→ 14	17
CROQUIS 14→ 15	32
CROQUIS 15→ 16	11
CROQUIS 16→ 17	15
CROQUIS 17→ 18	37
CROQUIS 18→ 19	18
SOMME	219

Tableau 12 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1. La première colonne reprend les numéros des segments correspondants à l'ordre d'occurrence des croquis produits par l'architecte. La deuxième colonne correspond au nombre d'actions de transformation morphique. Les lignes enregistrent le nombre d'actions pour chacun des segments. L'ordre des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments au long du processus.

Chronologie	TM
CROQUIS 1→ 2	1
CROQUIS 2→ 3	11
CROQUIS 3→ 4	36
SOMME	48

Tableau 13 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 02.

La lecture des tableaux 12 et 13 nous apprend que le nombre de croquis produits durant la tâche de conception, dont il est question ici, diffère d'un architecte participant à un autre. En effet le sujet concevant 1 a produit dix neuf croquis alors que le sujet concevant 2 n'en a produit que quatre.

On note, en deuxième lieu, que la somme des actions de transformation morphique diffère d'un architecte participant à un autre. En effet, le sujet concevant 1 a utilisé deux cents dix neuf actions de transformation morphique alors que le deuxième sujet concevant n'en a utilisé que quarante huit.

Les deux tableaux montrent également que le nombre d'actions de transformation morphique diffère d'un croquis à un autre et ce pour les deux architectes participants. La fréquence des actions, enregistrée entre deux croquis consécutifs, par exemple entre CROQUIS 1→ 2 et CROQUIS 2→ 3, n'est pas la même et ce pour les deux architectes participants. On constate ainsi que la plus grande fréquence d'actions de transformation mesurée entre deux croquis consécutifs pour l'architecte participant 01 est de 37 actions. Elle équivaut à un taux de 16,89% et elle a été enregistrée au niveau du (CROQUIS 17→ 18). Chez le deuxième architecte, la plus grande fréquence d'actions, enregistrée entre deux croquis consécutifs, est de 36 actions, elle équivaut à un taux de 75,51 % et elle a été enregistrée au niveau du (CROQUIS 3→ 4). Dans le même ordre d'idées, la fréquence la plus petite des actions de transformation, mesurée entre deux croquis consécutifs, pour l'architecte participant 1, est de deux actions. Elle équivaut à un taux de 0,91 % et elle a été enregistrée à deux reprises au niveau des CROQUIS 3→ 4 et CROQUIS 9→ 10. Chez le deuxième architecte, la fréquence la plus petite, enregistrée entre deux croquis consécutifs, est d'une seule action. Elle équivaut à un taux de 2,04 % et correspond au passage du CROQUIS 1→ 2.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués par l'expérience des deux sujets concevants dans le domaine de la conception architecturale. En effet, le sujet concevant 1 est un architecte novice. Il a par conséquent besoin de générer un nombre important de croquis et d'effectuer un nombre relativement élevé de transformations morphiques pour tester différentes propositions et développer la solution finale. Contrairement au deuxième sujet, qui est un architecte expérimenté et qui n'a pas besoin d'effectuer beaucoup de manipulations de l'objet en conception, pour développer, tester et valider la solution retenue.

2.2. Catégories d'actions de transformation morphique

Ce niveau permet de comparer la fréquence d'occurrence des catégories d'actions de manipulation/ production morphique chez les deux sujets concevants. Il est le deuxième niveau de lecture des données.

Chronologie \ Catégories	Plastique PL	Structurale ST	Figurative FIG
CROQUIS 1→ 2	0	5	0
CROQUIS 2→ 3	1	5	1
CROQUIS 3→ 4	0	1	1
CROQUIS 4→ 5	0	6	0
CROQUIS 5→ 6	2	9	0
CROQUIS 6→ 7	5	18	2
CROQUIS 7→ 8	0	3	2
CROQUIS 8→ 9	0	4	1
CROQUIS 9→ 10	1	0	1
CROQUIS 10→ 11	0	3	3
CROQUIS 11→ 12	1	5	3
CROQUIS 12→ 13	0	3	3
CROQUIS 13→ 14	2	12	3
CROQUIS 14→ 15	5	25	2
CROQUIS 15→ 16	1	9	1
CROQUIS 16→ 17	3	11	1
CROQUIS 17→ 18	6	29	2
CROQUIS 18→ 19	5	12	1
SOMME	32	160	27

Tableau 14 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1. La première colonne reprend les numéros des segments correspondants à l'ordre d'occurrence des croquis produits par l'architecte. Chacune des autres colonnes correspond à une catégorie d'actions de transformation morphique. Les lignes enregistrent le nombre

d'actions, par catégorie d'actions, pour chacun des segments. L'ordre des colonnes est ici arbitraire, tandis que celui des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments au long du processus.

Catégories \ Chronologie	Plastique PL	Structurale ST	Figurative FIG
CROQUIS 1 → 2	0	0	1
CROQUIS 2 → 3	1	9	1
CROQUIS 3 → 4	7	29	0
SOMME	8	38	2

Tableau 15 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 02.

Les tableaux 14 et 15 nous apprennent que le plus grand nombre d'actions de transformation morphique, mesuré pour l'architecte participant 1, est celui des actions de transformation structurale. Il compte un total de cent soixante actions équivalent un taux de 73,06 %. S'en suivent les actions de transformation figurative, avec un total de vingt sept actions et un taux de 12,33 %. Viennent enfin les actions de transformation plastique avec un total de trente deux actions et un taux de 14,61 %. Par ailleurs, le plus grand nombre d'actions de transformation morphique, mesuré pour l'architecte participant 2, est également celui des actions de transformation structurale. Il est de trente huit actions équivalent un taux de 77,55%. S'en suivent les actions de transformation plastique, avec un total de huit actions et un taux de 16,32 %. Les actions de transformation figurative suivent derrière avec un total de trois actions qui équivaut à un taux de 6,12 %.

Ces résultats montrent que la catégorie d'actions de transformation morphique la plus sollicitée, chez les deux sujets concevants, est celle des actions de transformation structurale. Ils suggèrent que l'activité de la manipulation des formes est essentiellement structurale.

2.3. Classes d'actions de transformation morphique

Ce niveau permet de comparer la fréquence d'occurrence des classes d'actions de manipulation/ production morphique chez les deux sujets concevants. Il constitue le troisième niveau de lecture des données.

Classes d'actions Chronologie	CO	TA	CL	TX	RT	RG	CN	TP	EAO	EAE	PV	DV	NV	TC
CR 1→2	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
CR 2→3	1	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0
CR 3→4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
CR 4→5	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0
CR 5→6	2	0	0	0	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0
CR 6→7	4	1	0	0	3	0	15	0	0	0	0	0	1	1
CR 7→8	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	1
CR 8→9	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0
CR 9→10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CR 10→11	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	1
CR 11→12	0	0	0	1	0	0	5	1	1	0	0	0	0	1
CR 12→13	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	1	0
CR 13→14	1	0	0	1	0	0	12	1	0	0	0	0	1	1
CR 14→15	2	3	0	0	2	3	20	1	0	0	0	0	1	0
CR 15→16	1	0	0	0	0	0	9	0	0	1	0	0	0	0
CR 16→17	1	1	0	1	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0
CR 17→18	2	3	0	1	5	1	23	1	0	0	0	0	1	0
CR 18→19	1	3	0	1	1	0	11	0	0	1	0	0	0	0
SOMME	16	11	0	5	17	4	139	9	4	2	0	0	6	5

Tableau 16 : Recueil de description tiré du traitement du recueil d'observation du sujet concevant 1. La première colonne reprend les numéros des segments dans l'ordre de production des croquis. Chacune des autres colonnes correspond à une classe d'actions de transformation morphique. Les lignes enregistrent le nombre d'actions, par classe d'actions, pour chacun des segments. L'ordre des colonnes est ici arbitraire.

Classes Chronologie	CO	TA	CL	TX	RT	RG	CN	TP	EAE	EAO	PV	DV	NC	TC
CR1→2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CR 2→3	0	1	0	0	0	0	9	1	0	0	0	0	0	0
CR 3→4	3	4	0	0	1	0	28	0	0	0	0	0	0	0
SOMME	3	5	0	0	1	0	37	1	1	0	0	0	0	0

Tableau 17 : Recueil de description tiré du traitement des recueils d'observation du sujet concevant 02.

CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d'action/étage, **EAO** : espace d'action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.

Les tableaux 16 et 17 montrent que le plus grand nombre d'actions de transformation structurale, pour l'architecte participant 1, est celui des actions de transformation constitutive (CN), avec un total de cent trente neuf actions. Il équivaut à un taux de 63,47% des actions de transformation structurale. Pour l'architecte participant 2, la plus grande fréquence d'actions structurales mesurée, est également celle des actions de transformations constitutives (CN) avec un total de trente sept actions. Il équivaut à un taux de 75,51 % des actions de transformation structurale. On constate également que la plus grande fréquence des actions de transformation morphique, mesurée entre deux croquis consécutifs, pour l'architecte participant 1, est celle des actions de transformation constitutive, avec une valeur de vingt trois actions (CROQUIS 17→ 18). Ceci se confirme chez le l'architecte participant 2, avec vingt huit actions de transformation constitutive au niveau du passage (CROQUIS 3→ 4). Ces résultats révèlent que la catégorie des actions de transformation morphique la plus utilisée, chez les deux sujets concevants, est celle des actions de transformation constitutive. Ceci donne à penser que l'activité de manipulation des formes porte principalement sur la constitution de l'objet en conception. Elle est essentiellement constitutive.

3. Analyse des données

La présente recherche a pour objectif l'étude des transformations de forme, opérées par les architectes, pendant la phase de production morphique du processus de conception architecturale. Les résultats qui suivent sont issus de l'analyse telle que décrite et conduite par le présent travail. Elle s'intéresse à la manière dont les formes sont manipulées via le modèle des actions de manipulation/ production morphique et fait le projet d'en comprendre la logique. Pour y parvenir, ce travail se compose de deux niveaux d'analyse, tels que précédemment définis, dans le protocole d'analyse. À savoir :

Niveau 1. Validation du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude.

Niveau2. Restitution de la logique de manipulation des actions de transformation morphique du modèle précédemment élaboré, dans le processus de conception architecturale.

3.1. Validation du modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude

Cette partie de l'analyse cherche à montrer que les transformations de forme, opérées par les sujets concevants, peuvent être décrites par le biais des seules actions de transformation

morphique préalablement répertoriées par le modèle élaboré au deuxième chapitre. Pour ce faire, elle se développe en deux volets. Le premier, valide le contenu du modèle tandis que le deuxième en confirme la structure.

3.1.1. Contenu

La description/ codification menée par le présent travail, montre que les actions, catégories et classes d'actions du modèle des actions de transformation morphique élaboré, ont toutes été sollicitées pour décrire et codifier les actions de transformation morphique des sujets concevants. Par ailleurs, toutes les actions des sujets concevants ont pu être prises en charge par le modèle. C'est pourquoi, nous pouvons affirmer que toutes les actions qui composent le modèle des actions de manipulation/ production morphique, ici élaboré, sont à la fois nécessaires et suffisantes pour décrire, de manière exhaustive et complète, l'activité de production et de manipulation des formes dans le processus de conception architecturale.

3.1.2. Structure

Le modèle, élaboré par le présent travail, structure les actions de production et de manipulation des formes, mises en œuvre par les sujets concevants, lors de l'activité de conception, en trois catégories, à savoir : la catégorie des actions de transformation plastique, celle des actions de transformation structurales et enfin celle des actions de transformation figurative.

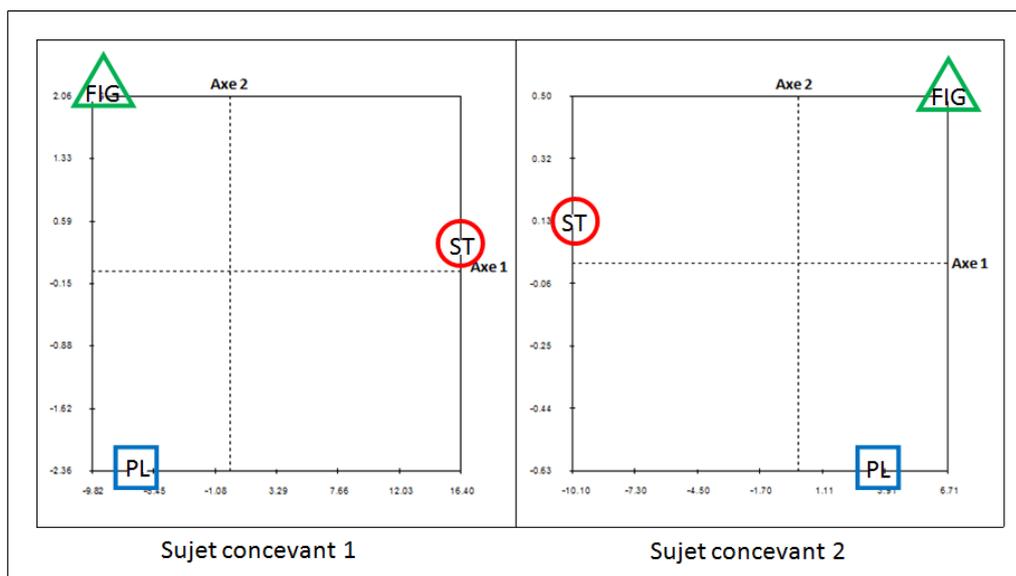


Figure 22 : Résultats de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description des sujets concevants 1 et 2 (PL : plastique, ST : structurale, FIG : figurative).

Cette classification s'avère adéquate. C'est ce qui est notamment confirmé par l'analyse en composantes principales des données des deux sujets concevants. En effet, cette analyse isole chaque catégorie d'actions à part et oppose, via l'axe 2, la catégorie structurale aux catégories plastique et figurative (figure 22).

Cette classification est également confirmée par les résultats de la classification hiérarchique ascendante, représentés dans les graphes ci-dessous (figure 23).

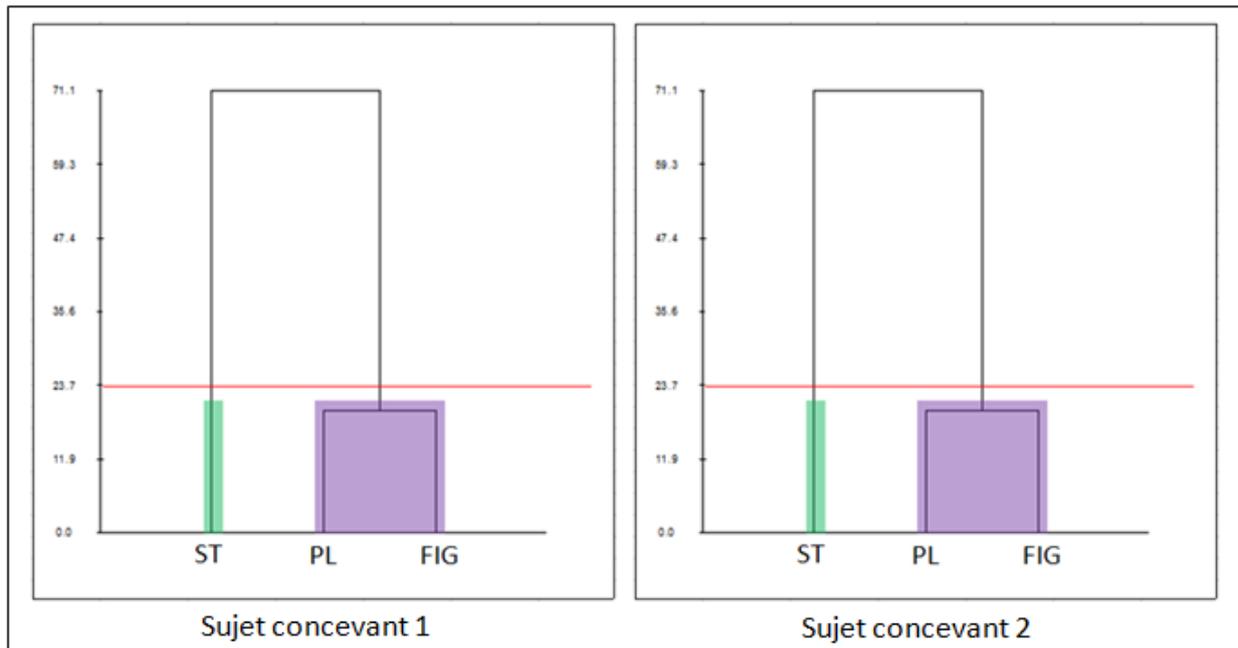


Figure 23 : résultats de l'analyse de la classification hiérarchique ascendante des recueils de description des deux sujets concevants.

Les dendrogrammes des deux sujets concevants, montrent, que les actions de manipulation/production morphique sont effectivement classées en deux groupes distincts. Le premier est représenté par la catégorie des actions de transformation structurale, alors que le second est composé des catégories d'actions de transformation plastique et figurative. À l'instar de l'analyse factorielle, cette analyse, oppose la catégorie d'actions de transformation structurale aux catégories des actions de transformation plastique et figurative même si la catégorie des actions de transformation figurative ne transforme pas réellement l'objet en conception. Elle est de l'ordre de la visualisation. Elle est sollicitée dans l'objectif d'évaluer et de tester les solutions morphiques développées par les différents sujets concevants (figure 23).

Ces résultats signifient que le deuxième niveau de validation du modèle est positif et que les actions de transformation morphique du modèle précédemment élaboré, peuvent être classées au moyen des trois catégories d'actions identifiées.

3.2. La logique de manipulation des actions du modèle de production morphique

Le modèle des actions de manipulation/ production morphique, élaboré et validé, sert de fondement à cette partie de l'analyse. Ce niveau vise la compréhension des logiques qui régissent l'activité de manipulation des formes au sein du processus de conception. Il se compose des trois étapes précédemment définies dans le protocole d'analyse, à savoir :

A. Analyse de l'intensité de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique dans chaque processus.

B. Analyse de la temporalité de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique dans chaque processus.

C. Analyse du mode de structuration du processus de manipulation/ production morphique chez les différents sujets concevants.

3.2.1. Intensité de sollicitation des actions de transformation morphique

L'intensité de sollicitation des actions de transformation morphique est mesurée par le calcul du nombre d'apparitions de celles-ci au niveau de chaque croquis, de chacun des deux processus. Elle s'intéresse à la logique de concentration des actions de transformation morphique au niveau de chaque processus et permet de mettre la lumière sur la nature de l'activité de manipulation/ production morphique chez les deux sujets concevants.

3.2.1.1. Catégories d'actions de transformation morphique

La figure 24 ci-dessous, présente le taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, chez les deux sujets concevants. Celle-ci montre que les deux diagrammes possèdent la même structure, et que la fréquence des actions de transformation structurale occupe la plus grande surface chez les deux sujets. Elle révèle que le travail de manipulation/ production morphique est un travail essentiellement structural.

Par ailleurs la figure 24 révèle l'existence de dissemblances entre les deux diagrammes. On constate une légère hausse des actions de transformation plastique, chez le sujet concevant 2 et une baisse importante des actions de transformation figurative. La dissemblance enregistrée au niveau des actions de transformation plastique est dûe au fait que le sujet 2 est un architecte expérimenté. Par conséquent il prête beaucoup plus d'attention aux détails que le

sujet 1, qui est un architecte novice. Ceci explique également la différence constatée entre les deux sujets au niveau du taux de sollicitation des actions de transformation figurative. Contrairement au sujet 2, le sujet 1 a besoin de produire un nombre plus important de croquis sous différentes formes de représentation, tels que des plans, des élévations et des zooms avant, afin de résoudre tous les problèmes liés à l'objet en conception et formuler la solution finale. Les résultats des expériences menées par Blida (2006), sur des concepteurs experts et novices soutiennent notre interprétation. Ils suggèrent que, contrairement aux concepteurs novices, l'extériorisation n'est pas une activité nécessaire pour les sujets expérimentés. La figuration n'est donc pas un acte indispensable pour un concepteur expert pour développer un réseau cohérent d'idées/ concepts sous certaines conditions.

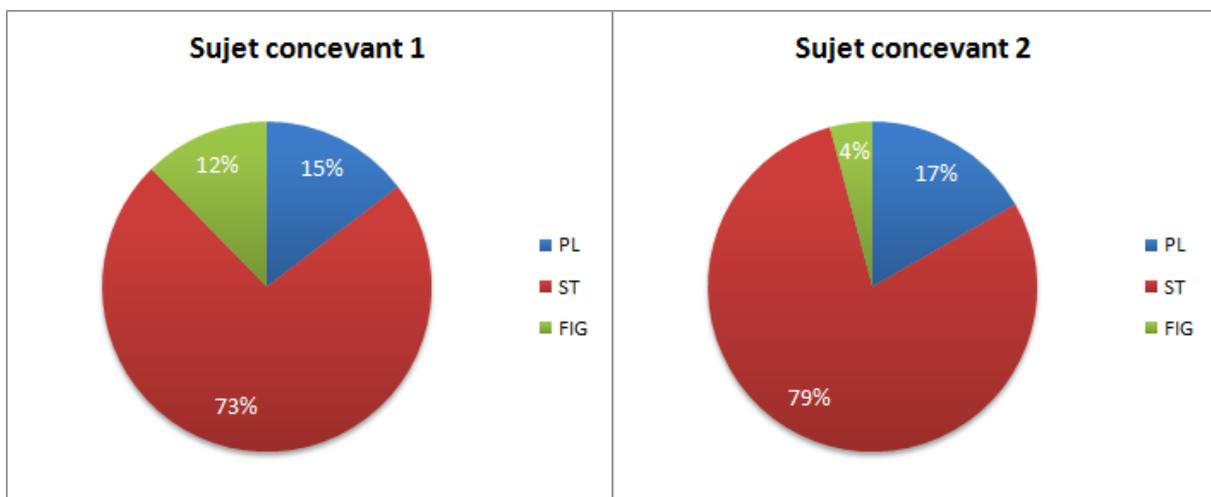
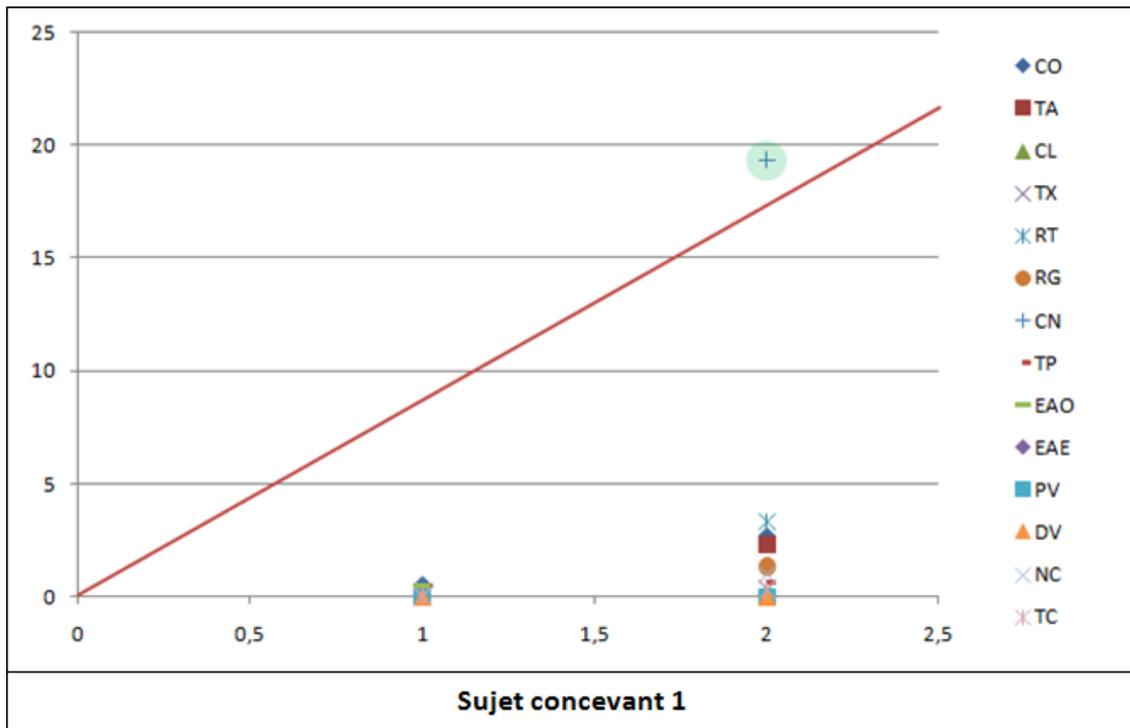


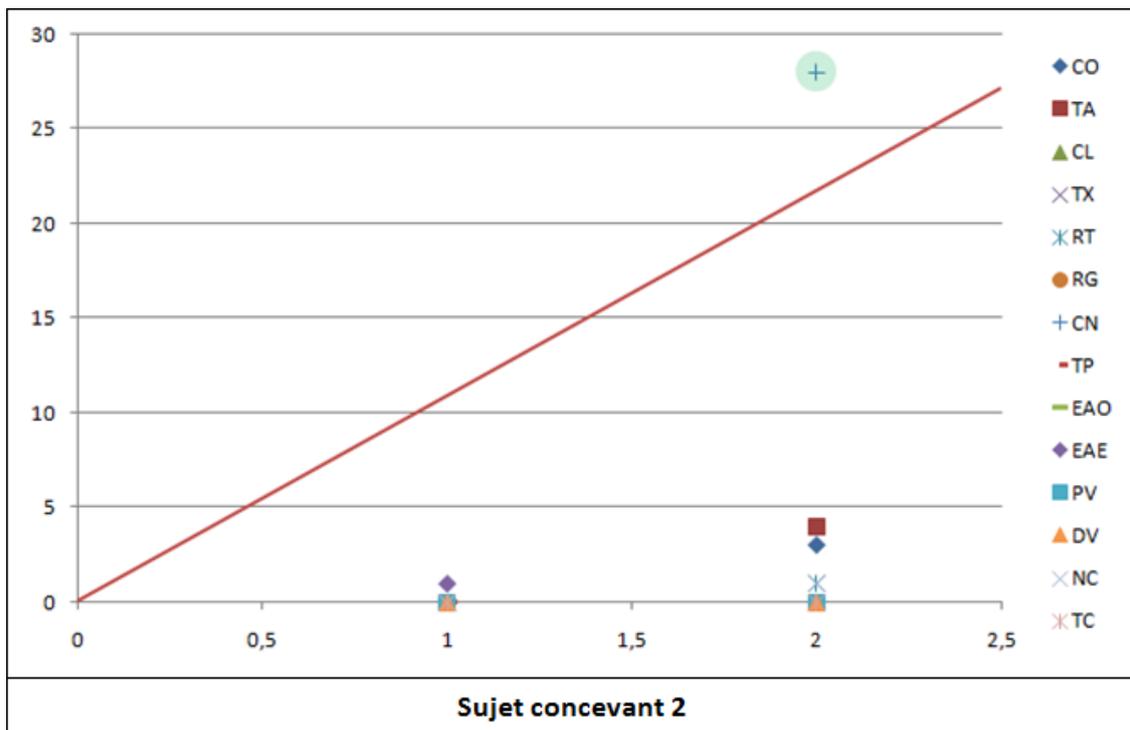
Figure 24 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, pour chacun des sujets concevants.

3.2.1.2. Classes d'actions de transformation morphique

Le facteur un de l'analyse factorielle des données des deux sujets concevants, oppose les actions de transformation constitutive au reste des classes d'actions de transformation morphique. La ressemblance entre les diagrammes des deux sujets, révèle l'existence d'une logique commune dans l'exploration et la production des croquis. Ils montrent en effet, que la classe d'actions de transformation morphique la plus sollicitée est la classe des actions de transformation constitutive (graphe 1 et 2).



Graphe 1 : Le facteur un de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description du sujet concevant 1.

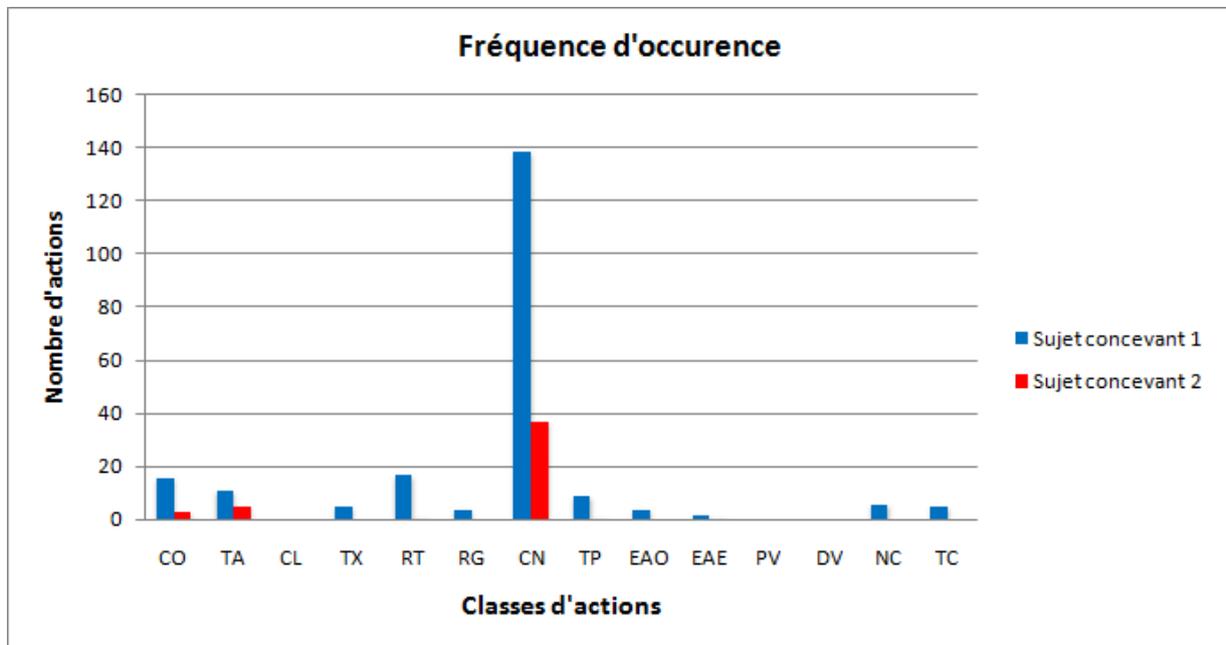


Graphe 2 : Le facteur un de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils de description du sujet concevant 2.

CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d'action/étage, **EAO** : espace d'action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.

L'analyse des croquis produits par les deux sujets concevants confirme cette interprétation. On constate en effet que les premiers croquis produits par le sujet 2 sont de nature détaillée, contrairement à ceux du sujet 1, qui sont simples et vagues, comme le montre la figure 25 ci-dessus.

Ces résultats sont confirmés par le calcul de la fréquence des classes d'actions chez les deux sujets concevants. En effet, le graphe 3 ci-dessous, révèle que la classe d'actions de transformation morphique la plus utilisée chez les sujets 1 et 2, est celle des actions de transformation constitutive, en dépit de leurs expériences respectives, fort différentes, dans le domaine de la conception architecturale. Ces résultats suggèrent que l'activité de manipulation/ production morphique est essentiellement constitutive.



Graphe 3: Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, pour chacun des sujets concevants.

CO : conformation, **TA :** taille, **CL :** couleur, **TX :** texture, **RT :** rapports topologiques, **RG :** rapports géométriques, **CN :** constitutives, **TP :** type de présentation, **EAE :** espace d'action/étage, **EAO :** espace d'action/objet, **PV :** point de vue, **DV :** direction de vue, **NC :** niveau de complexité, **TC :** taille croquis.

Le graphe 3 permet également la comparaison de l'utilisation des classes d'actions de transformation de forme, mises en œuvre par les sujets concevants 1 et 2. Les résultats montrent des dissemblances significatives entre les deux sujets concevants. Ils révèlent la présence de la quasi-totalité des classes de transformation morphique chez le sujet 1,

contrairement au sujet 2, chez qui on ne retrouve que trois classes. Ce sont les actions de transformation constitutive, de transformation de la conformation et des rapports topologiques. L'absence quasi-totale des actions de transformation topologique ainsi que les classes d'actions de transformation figurative chez le sujet 2, suggère qu'il reproduit une solution qui a déjà été proposée dans des situations de conception antérieures.

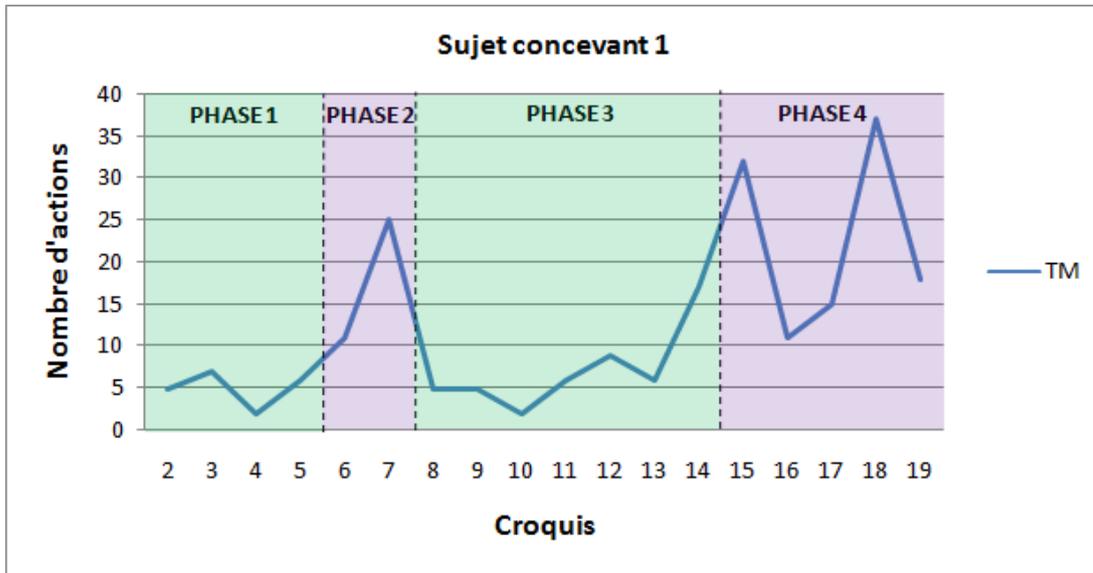
En effet, la fréquence des actions de transformation des rapports topologiques, qui sont intimement liées à la phase de l'exploration des différentes alternatives de plans et l'expression des différentes relations spatiales entre les éléments, montre que le sujet 2 n'est pas passé par la phase exploratoire et schématique du processus de production morphique. Tandis que la fréquence des actions chez le sujet 1 s'explique par son intérêt aux problèmes liés à l'arrangement et au positionnement des espaces qui constituent l'objet, durant la phase de conception schématique, ainsi que par l'attention qu'il porte au positionnement d'éléments architecturaux tels que portes, fenêtres et mobiliers, durant la phase de conception raffinée et détaillée. Par ailleurs, La forte présence des classes d'actions de transformation figurative chez le sujet 1, contrairement au sujet 2, s'explique par son besoin d'évaluer et de visualiser la solution retenue, en opérant plusieurs changements relatifs au type de représentation, afin d'évaluer et tester la solution retenue.

3.2.2. Temporalité de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique

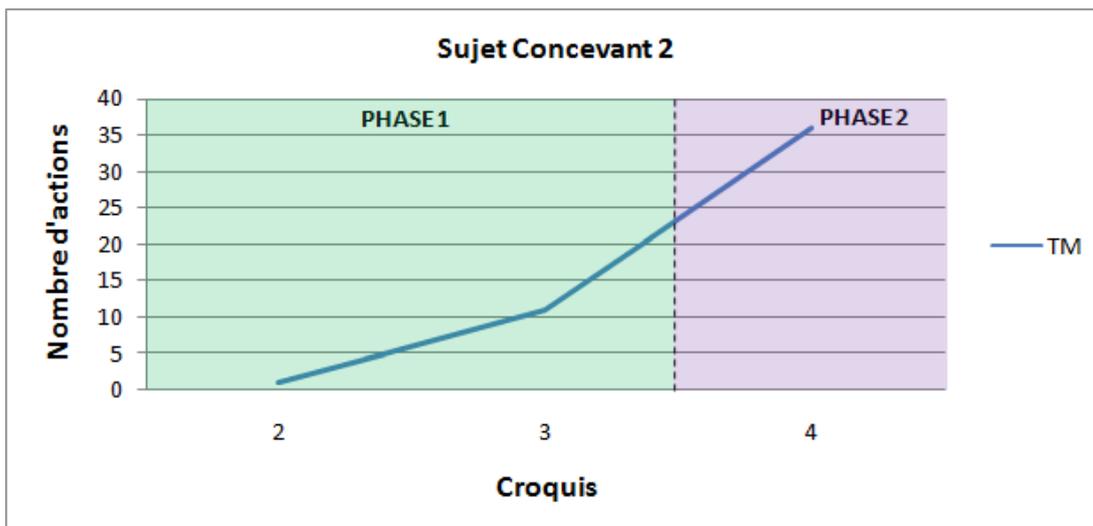
Cette partie représente le deuxième niveau de l'analyse menée par le présent travail. Elle s'intéresse à la disposition, dans le temps du processus, des sollicitations des actions du modèle de manipulation/ production morphique, élaboré par la présente étude, et fait le projet de déceler les logiques qui lui sont liées. Elle est réalisée par le calcul de la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique au niveau de chaque croquis, pour être ensuite représentée sous-forme de diagramme en courbe, chez les sujets concevant 1 et 2 (graphe 4 et 5).

Les graphes 4 et 5, montrent que la courbe de l'évolution des actions de transformation morphique, dans le temps, du processus 1, est d'allure oscillante, alors que celle du processus 2, est d'allure croissante est sans fluctuations. La configuration des deux courbes suggère que les deux sujets concevants ont adopté deux stratégies différentes de manipulation de formes. En effet, la sollicitation dans temps des actions de manipulation morphique, chez le sujet 1, suggère qu'il est entrain d'explorer et de tester différentes solutions et idées de conception,

contrairement au sujet 2, qui en a développé qu'une seule. Ceci laisse penser que ce dernier a reproduit une solution qui a été proposée antérieurement. Elles montrent par ailleurs, que l'activité de manipulation/ production morphique, des deux sujets concevants, est passée par plusieurs phases. Celles-ci sont de l'ordre de quatre chez le sujet 1 et de l'ordre de deux chez le sujet 2.

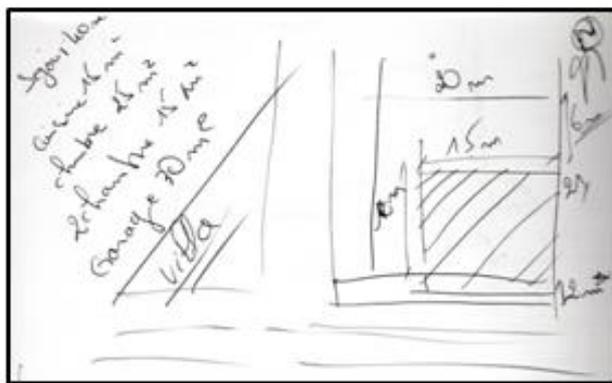


Graphique 4 : Évolution des actions de transformation morphique entre les différents croquis consécutifs du sujet concevant 1. L'axe des ordonnées représente le nombre d'actions de transformation morphique tandis que l'axe des abscisses représente l'ordre d'occurrence des croquis dans le temps.

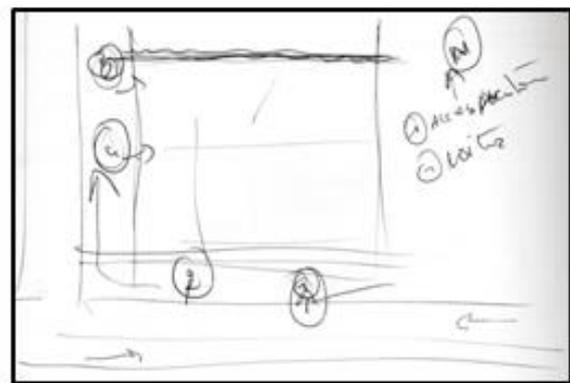


Graphique 5 : Évolution des actions de transformation morphique entre les différents croquis consécutifs du sujet concevant 2. L'axe des ordonnées représente le nombre d'actions de transformations morphiques tandis que l'axe des abscisses représente l'ordre d'occurrence des croquis dans le temps.

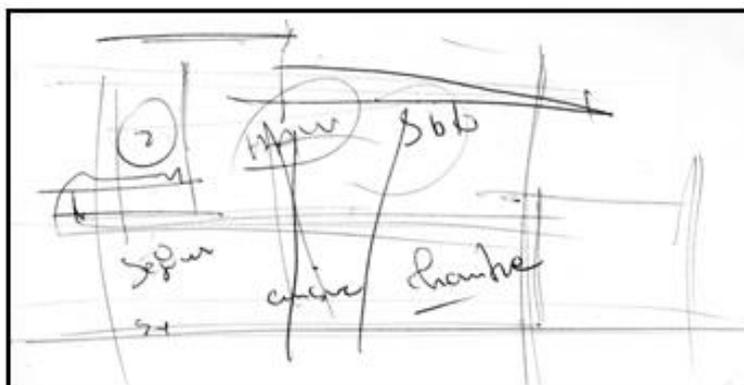
Chez le sujet concevant 1, la première phase englobe les cinq premiers croquis générés par celui-ci. Elle est caractérisée par une faible sollicitation des actions de transformation morphique. Le sujet y visualise les données de la tâche de conception et propose une idée relative à la constitution de l'objet à concevoir et à la disposition des espaces qui figurent sur l'énoncé de la tâche de conception. Il a en premier lieu, positionné les entrées mécaniques et piétonnes au niveau du deuxième croquis, et a classé les espaces sur deux niveaux dans le troisième croquis, qui représente une élévation de la maison en conception, puis les a positionné au niveau du quatrième croquis sous-forme de plan. Les croquis produits durant cette phase sont simples, vagues et peu structurés (figure 26).



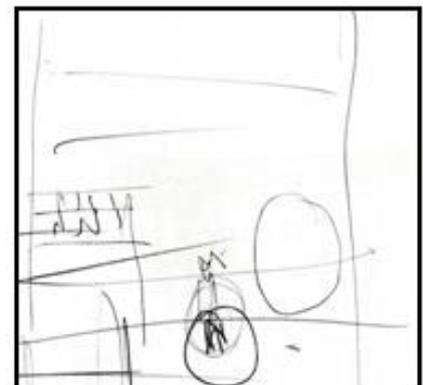
a : croquis 1, le sujet y visualise les données de la situation de conception.



b : croquis 2, un plan que le sujet utilise pour positionner les entrées piétonnes et mécaniques.



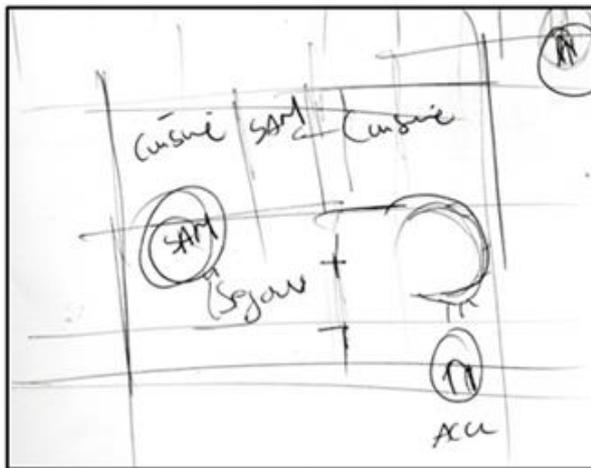
c : croquis 3, une élévation que le sujet utilise pour positionner les espaces sur les deux niveaux de la maison.



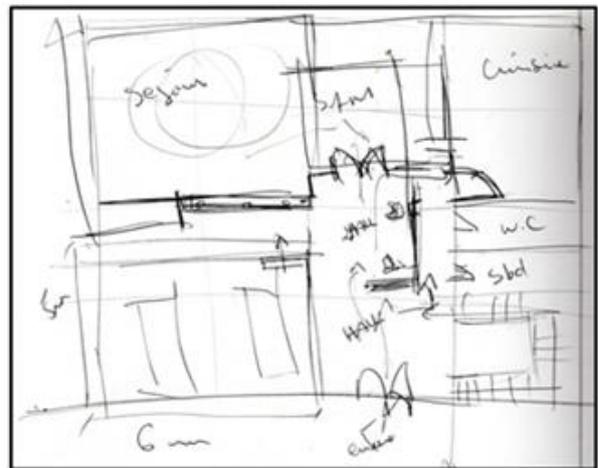
d : croquis 5, un plan que le sujet utilise pour positionner les espaces au niveau du rez-de-chaussée de la maison.

Figure 26 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 1, b) croquis 2, c) croquis 3, d) croquis 5.

La deuxième phase est constituée des croquis six et sept. Elle est caractérisée par une utilisation relativement forte des actions de transformation morphique. Le sujet concevant 1 y génère des croquis sous-forme de plans, dans le but d'explorer différentes idées et alternatives relatives à la disposition et à la configuration des espaces qui composent l'objet en conception. Il y transforme l'objet en conception par le biais du changement de la position des différents espaces suivant une logique propre à lui. Les croquis qui appartiennent à cette phase sont, à l'instar de la première phase, simples et peu structurés (figure 27).



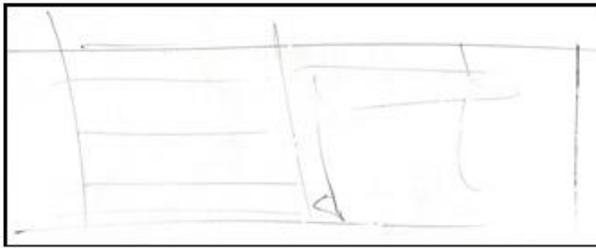
a : croquis 6, un plan que le sujet utilise pour explorer une disposition différente des espaces au niveau du rez-de-chaussée.



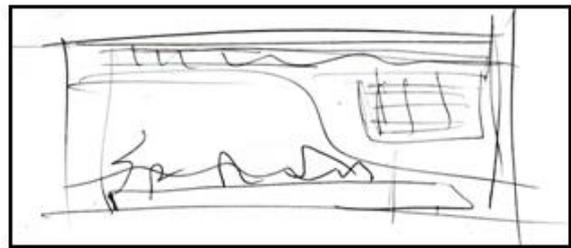
b : croquis 7, un plan que le sujet utilise encore une fois, pour proposer une autre configuration des espaces au niveau du rez-de-chaussée.

Figure 27 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 6, b) croquis 7.

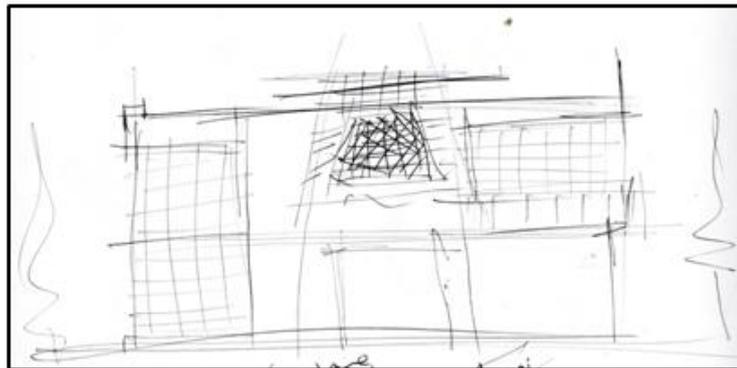
La troisième phase quant à elle, débute à partir du huitième croquis et s'achève au niveau du quatorzième. Elle est caractérisée, à l'instar de la première phase, par une faible mobilisation des actions de transformation morphique. Le sujet concevant 1 s'y intéresse aux détails de l'idée développée au niveau de la phase précédente. Il propose différentes représentations de l'objet en conception sous-forme d'élévation, de changements du point de vue et de zooms sur les espaces et éléments de la maison, en vue de tester et de valider des solutions et de détailler leur conformation. Les croquis qui composent cette phase sont ainsi détaillés, précis et bien structurés, et leur taille a subit un agrandissement considérable (figure 28).



a : croquis 8, une élévation de l'entrée de la maison et du garage, que le sujet utilise pour visualiser et détailler la solution retenue.

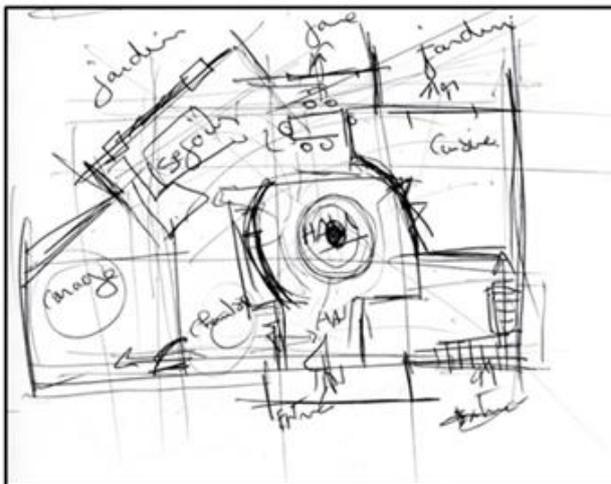


b : croquis 9, le sujet s'y intéresse à la conformation et aux détails du mur de séparation par le biais d'une élévation.

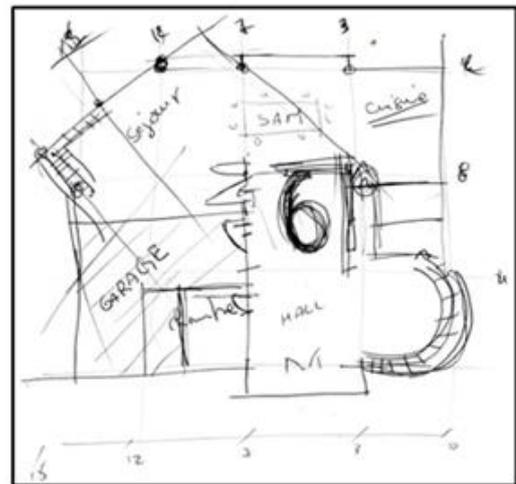


c : croquis 14, une façade que le sujet propose pour visualiser et développer les solutions retenues au niveau des plans du rez-de-chaussée et du premier étage.

Figure 28 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 9, b) croquis 14.



a : croquis 15, le sujet s'y intéresse aux détails de l'objet en conception. Il y modifie la conformation des espaces et des éléments qui le constituent.

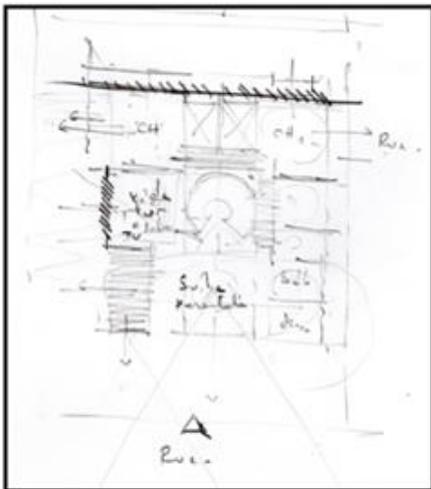


b : croquis 18, un plan que le sujet utilise, encore une fois, pour transformer la conformation et la taille des espaces et des éléments de la maison.

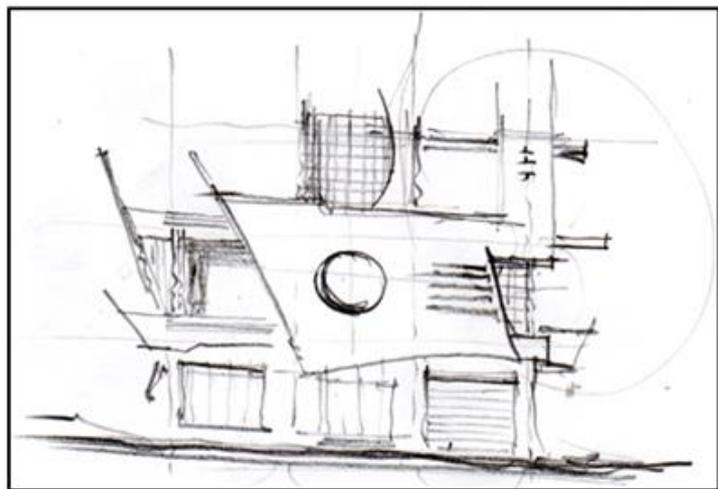
Figure 29 : Croquis produits par le sujet concevant 1 ; a) croquis 15, b) croquis 18.

Enfin, la quatrième phase commence au quinzième croquis et se termine au niveau du croquis numéro dix-neuf qui est le dernier croquis produit par le sujet concevant 1. Elle est caractérisée une forte mise en œuvre des actions de transformation morphique. Le sujet 1 s’y intéresse également aux détails et propose différentes versions de la même idée. Il y transforme l’objet en conception par le biais de la modification de la conformation et de la taille des espaces et des éléments architecturaux qui le constituent. Il y ajoute des éléments architecturaux tels que portes, fenêtres et mobilier. Les croquis produits durant cette phase sont également détaillés, complexes et bien structurés (figure 29).

En ce qui concerne le sujet concevant 2, la première phase est constituée des trois premiers croquis générés. Elle se caractérise par une faible sollicitation des actions de transformation morphique. Le sujet 2 y visualise l’idée retenue et effectue seulement des changements de représentation en passant des plans du rez-de-chaussée et du premier étage à une façade. Il extériorise en fait une seule idée. Les croquis qui appartiennent à cette phase sont détaillés, complexes et précis (figure 30).



a : croquis 2, un plan que le sujet utilise pour extérioriser l’idée retenue.

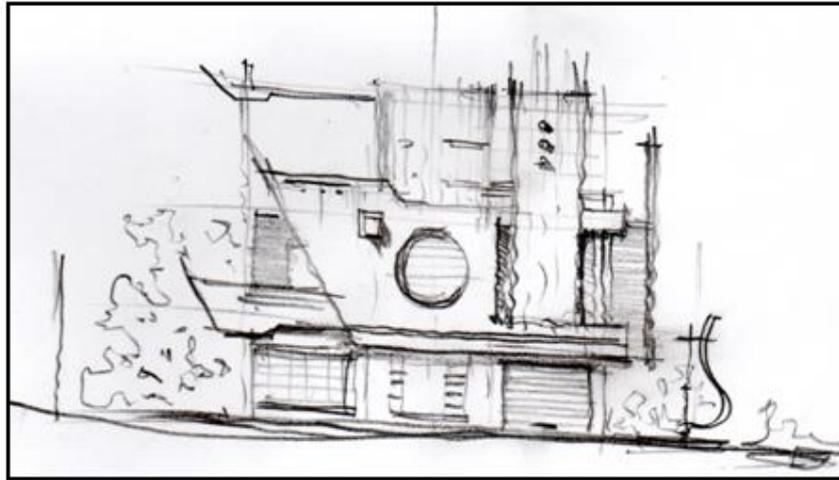


b : croquis 3, une façade que le sujet utilise également pour extérioriser l’idée retenue.

Figure 30 : Croquis produit par le sujet concevant 2 ; a) croquis 2, b) croquis 3.

La deuxième phase quant à elle, englobe le quatrième et dernier croquis généré par le sujet concevant 2. Elle est caractérisée par une forte utilisation des actions de transformation morphique. Le sujet 2 y porte une attention particulière aux détails de l’objet en conception. Il y transforme ce dernier par des changements qui portent sur la conformation, la taille et la

position des éléments qui en constituent l'enveloppe extérieure et la façade. Les croquis produits durant cette phase sont, à l'instar de la première, détaillés, complexes et bien structurés (figure 31).



Croquis 4, le sujet y transforme la façade précédente (croquis 3). Il y modifie la conformation, la taille et la position des éléments qui constituent l'enveloppe extérieure de la maison.

Figure 31 : Croquis produit par le sujet concevant 2 ; en l'occurrence le croquis 4.

L'analyse de l'évolution dans le temps, des actions de transformation morphique (graphe 4 et 5), ainsi que les croquis générés respectivement par les sujets concevants 1 et 2, montre que le processus de manipulation/ production morphique chez les deux sujets peut être décomposé en plusieurs phases. Ces phases peuvent être classées selon deux types. Le premier, est caractérisé par une faible sollicitation des actions de transformation morphique, tandis que le deuxième, se distingue par une forte mise en œuvre de celles-ci. Ces résultats suggèrent que ces types correspondent aux cycles de conception définis par Schön et Wiggins (1992) à savoir les cycles de « see- move- see ». Ces cycles se composent de deux moments distincts. Le premier, connu sous le nom de « Seeing » ou « visualisation », concerne le processus de perception/interprétation de l'objet en conception, graphiquement figuré. Le deuxième, quant à lui, est baptisé « Moving » ou « transformation ». Il s'agit du processus de modification et de transformation de l'objet qui en découle et permet le passage d'une conformation morphique à une autre.

En effet, le processus de manipulation/ production morphique, chez le sujet concevant 1, est constitué de deux moments de visualisation. Ils sont tous les deux caractérisés par la faible sollicitation des actions de transformation morphique. Le premier englobe les cinq premiers croquis générés. Le sujet y visualise les données de la situation de conception, et propose une idée relative à la configuration des espaces qui composent l'énoncé de la tâche de conception. Le deuxième est composé du huitième croquis jusqu'au quatorzième. Le sujet y visualise et développe la solution retenue, et effectue des changements de représentation afin de la détailler et de la tester. Le processus du sujet 1 est par ailleurs, constitué de deux moments de transformation. Ils se distinguent par la forte mise en œuvre des actions de transformation morphique. Le premier se compose des croquis six et sept. Le sujet y explore plusieurs alternatives relatives à la configuration des espaces qui constituent l'objet en conception. Le deuxième englobe les croquis allant du quinzième jusqu'au dix-huitième. Le sujet y développe plusieurs alternatives relatives à la conformation et à l'aspect des espaces et des éléments qui constituent l'objet en conception. En ce qui concerne le sujet concevant 2, le processus de manipulation des formes est composé d'un seul moment de visualisation. Il se caractérise également, par la faible mobilisation des actions de transformation morphique. Il englobe les trois premiers croquis générés. Le sujet y extériorise l'idée retenue et la visualise par le biais de changement de représentation. Le processus du sujet 2 est également constitué d'un seul moment de transformation. Il se distingue, à l'instar du processus 1, par la forte utilisation des actions de transformation morphique. Le sujet y développe une autre alternative de la façade de l'objet en conception, et apporte des modifications relatives à la conformation, la taille et la position des éléments qui la constituent.

Cette interprétation est confirmée par les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des recueils de description des sujets 1 et 2, qui enregistrent la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque segment (tableau 14 et 15). Les résultats qui en découlent sont représentés par les graphes des figures 32 et 33.

Trois groupes de croquis peuvent être ainsi schématiquement constitués chez le sujet 1 (figure 32). Le premier est constitué des croquis 2, 3, 4, 5, qui se caractérisent par une faible utilisation des actions de transformations figuratives (FIG). Le deuxième groupe est composé des croquis 8, 12, 13, qui se caractérisent par une faible utilisation des actions de transformations plastiques (PL). Le troisième groupe est constitué des croquis 7, 15, 18; qui se caractérisent par une forte utilisation des actions de transformations structurales (ST).

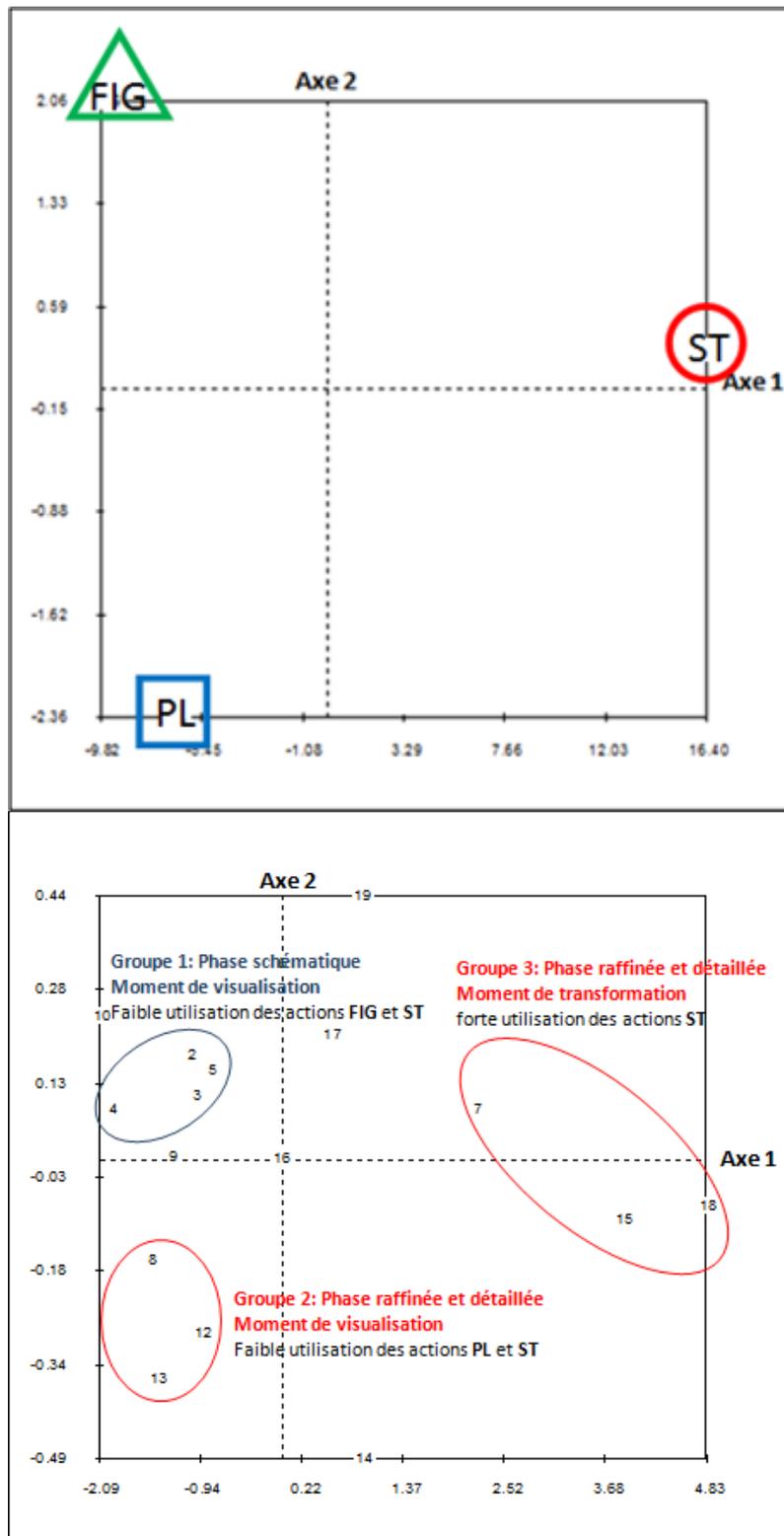


Figure 32 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 14). Les points du premier graphe correspondent aux variables qui sont en l'occurrence les catégories d'actions de transformation morphique, tandis que ceux du deuxième graphe correspondent aux spécimens représentés par les croquis produits par le sujet 1.

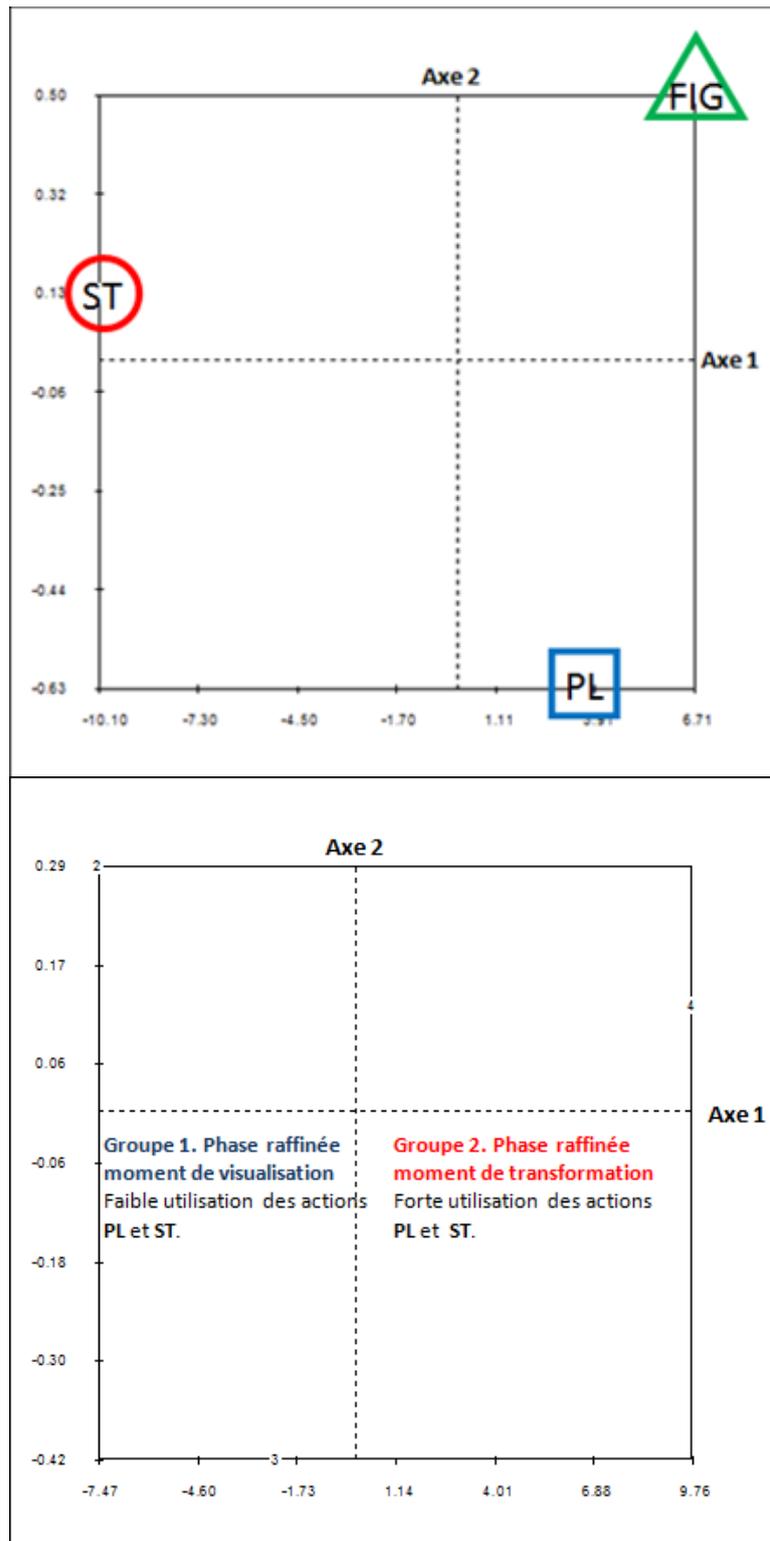


Figure 33 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 2 (tableau 15). Les points du premier graphe correspondent aux variables qui sont en l'occurrence les catégories d'actions de transformation morphique, tandis que ceux du deuxième graphe correspondent aux spécimens représentés par les croquis produits par le sujet 2.

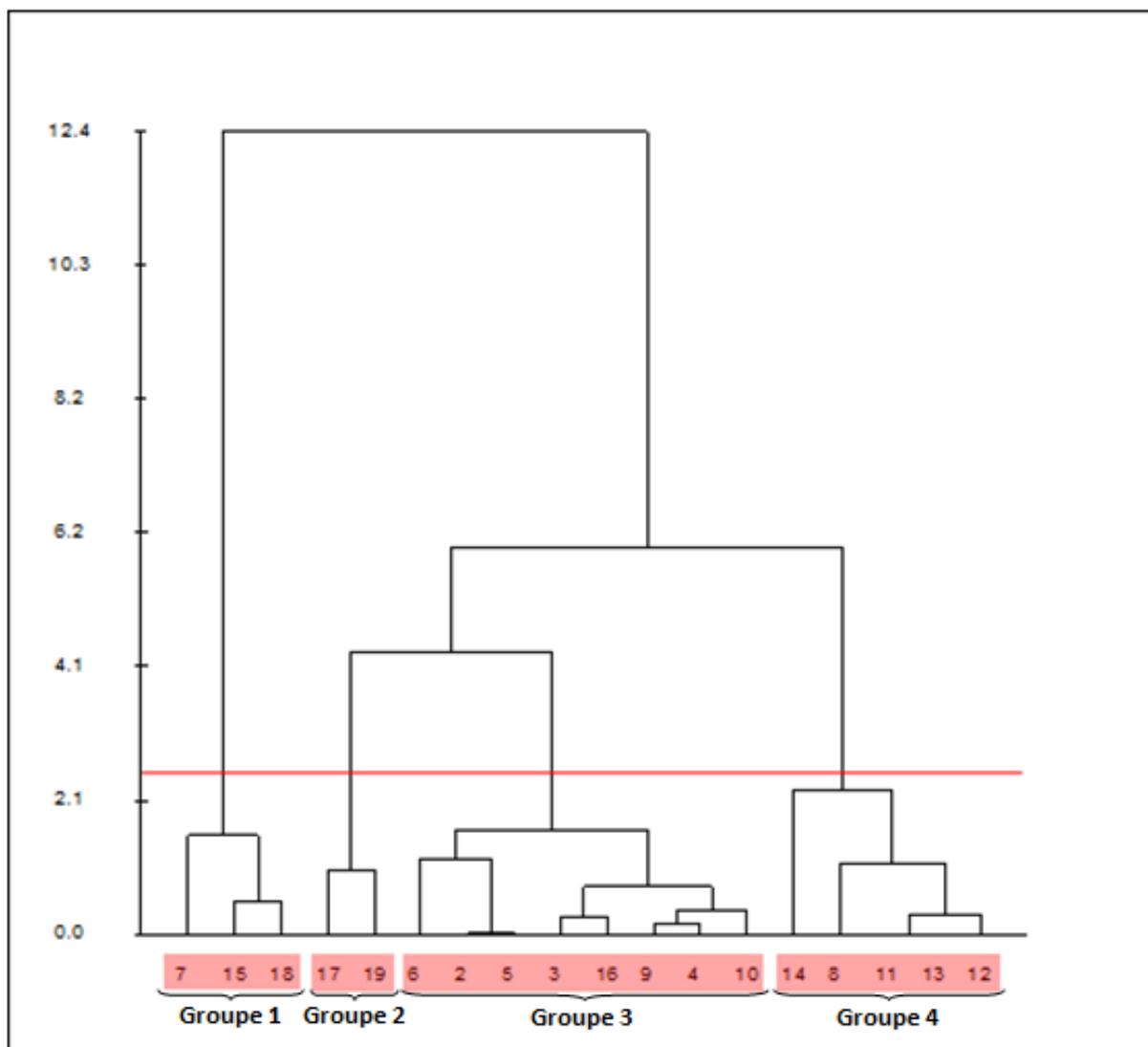
Chez le sujet 2, deux groupes de croquis peuvent être schématiquement constitués (figure 33). Le premier est constitué des croquis 2, et 3, qui se caractérisent par une faible utilisation des actions de transformations plastique (PL) et structurale (ST). Le deuxième groupe est composé du croquis 4, qui se caractérise par une forte utilisation des actions de transformation plastique (PL) et structurale (ST).

Les résultats de l'analyse factorielle des recueils de description des sujet concevants 1 et 2, montrent que :

1. L'activité de manipulation/ production morphique chez les sujets concevant 1 et 2, est constituée de deux moments importants. Le premier est celui de la visualisation. Il est marqué par une faible utilisation des actions de transformation plastique et structurale. La visualisation sert ici à détailler la solution retenue. Les sujets concevants, y proposent différents types de représentation de l'objet en conception. Le deuxième moment, est celui de la transformation de l'objet. Il est marqué par une forte sollicitation des actions de transformation structurale et plastique. Les sujets concevants y développent la solution retenue par le biais des transformations morphiques. Ils y proposent différentes versions de la même idée, qui sont de l'ordre de trois chez le sujet 1 et deux chez le sujet 2.

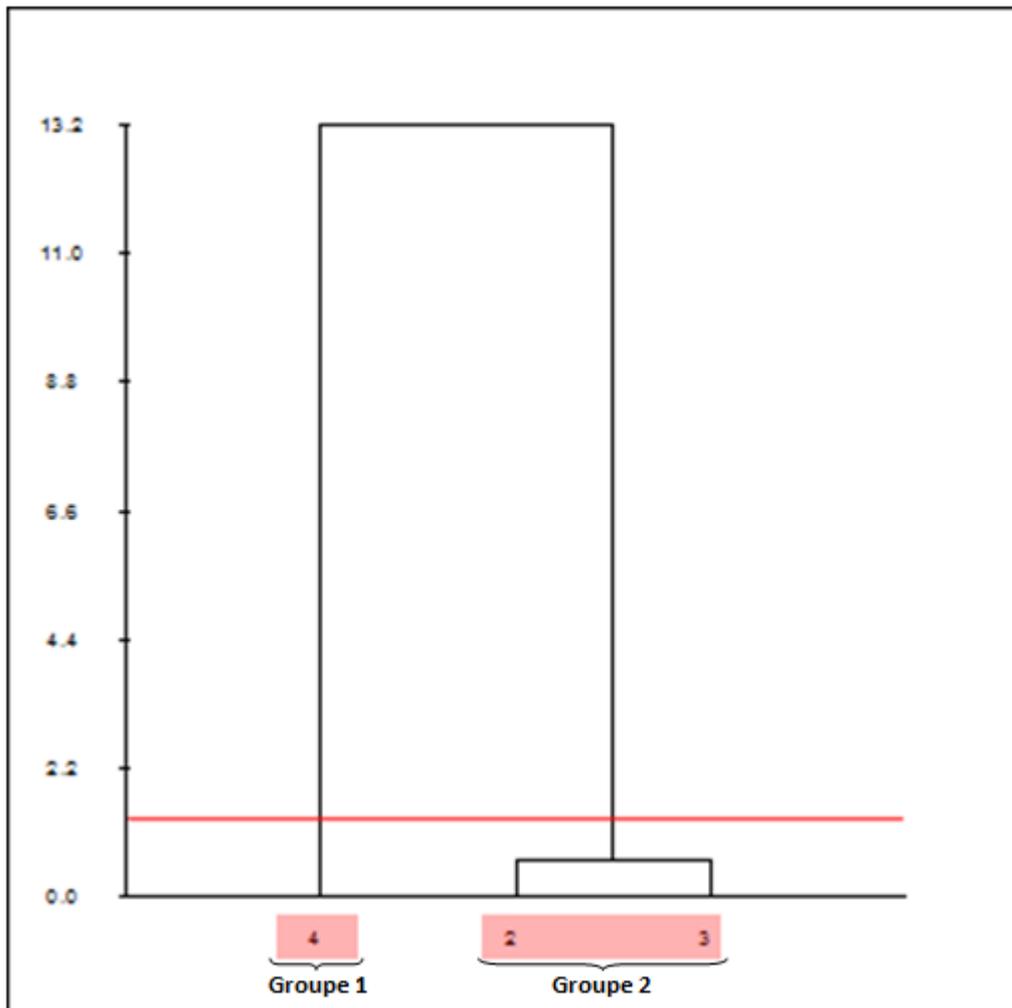
2. Le moment de visualisation est de deux types chez le sujet concevant 1. Le premier, est celui qui a lieu au début du processus, durant la phase exploratoire et schématique de l'activité de conception. Il est marqué par une faible sollicitation des actions de transformation structurale et figurative. Ce type de visualisation sert surtout à visualiser les données de la situation de projet et la perception qui en est faite par le sujet concevant. Le deuxième type est celui qui vient plus tard dans le temps du processus, durant la phase raffinée et détaillée de l'activité de conception. Il est caractérisé par une faible utilisation des actions de transformation plastique et structurale. Il sert à détailler et à développer la solution retenue durant la phase de conception exploratoire et schématique.

Ce résultat est confirmé par l'analyse ascendante hiérarchique (CAH) des recueils de description des deux sujets concevants. Il est représenté dans les graphes 6 et 7 suivants.



Graph 6 : Dendrogramme de l'analyse hiérarchique ascendante des recueils de description du sujet concevant 1 (tableau 14). Les spécimens correspondent aux croquis générés par le sujet 1.

Le graphe 6 montre clairement quatre groupes de croquis chez le sujet concevant 1. Le groupe 1 est constitué des croquis 7, 15 et 18. Le groupe 2 est constitué des croquis 17 et 19. Le groupe 3 est constitué des croquis 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 16 et enfin le groupe 4 est constitué des croquis 8, 11, 12 et 13. Chez le sujet concevant 2, la (CAH) révèle deux groupes de croquis. Le groupe 1 est constitué des croquis 2 et 3, et le groupe 2 est composé du croquis 4 (graphe 7).

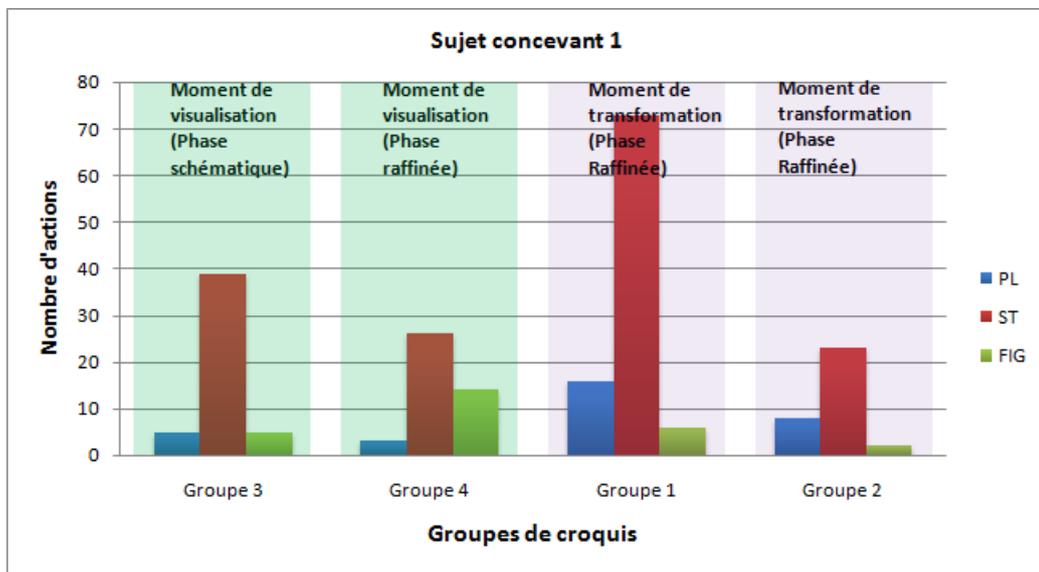


Graph 7 : Dendrogramme de l'analyse hiérarchique ascendante des recueils de description du sujet concevant 2 (tableau 15). Les spécimens correspondent aux croquis générés par le sujet 2.

Dans le but de comprendre les résultats de l'analyse de la classification hiérarchique ascendante, d'autres analyses plus approfondies ont été nécessaires. Nous avons calculé la fréquence des actions de transformation morphique, par catégories d'actions, dans chaque groupe chez les sujets concevants 1 et 2. Les résultats de cette opération sont représentés au niveau des graphes 8 et 10 ci-dessous. Ces résultats confirment ceux de l'analyse factorielle en composantes principales menée ci-dessus.

Le graphe 8 montre que le moment de visualisation chez le sujet concevant 1 est de deux types. Un premier type de visualisation qui opère durant la phase de conception exploratoire et schématique. Il se caractérise par une faible présence des actions de transformation figurative. Il sert à extérioriser des idées relatives aux problèmes de conception. Le deuxième type est propre à la phase de conception raffinée et détaillée et présente une plus forte

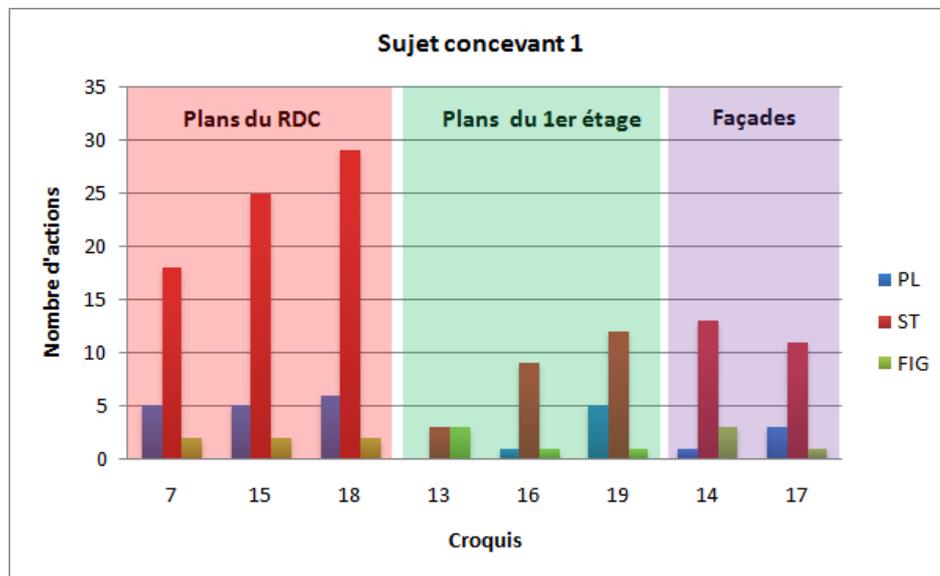
fréquence des actions de transformation figurative. Il est de nature à visualiser et à détailler l'idée retenue.



Graph 8 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque groupe de croquis, produits par le sujet concevant 1.

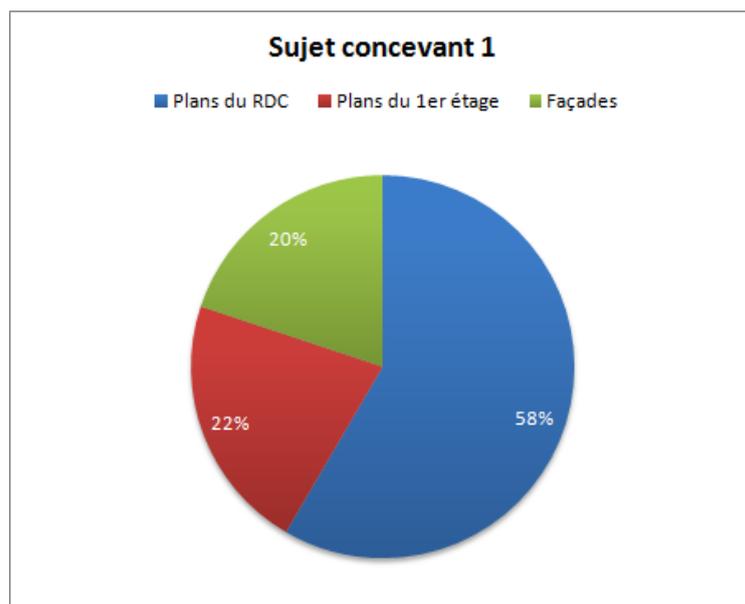
Par ailleurs, le graphe 8 permet de comparer les groupes de croquis 1 et 2, qui appartiennent au moment de transformation du sujet concevant 1. Les deux groupes sont constitués d'actions de transformation plastique, structurale et figurative. La différence réside cependant au niveau de leurs fréquences d'occurrences respectives. On constate en effet une forte présence des trois catégories d'actions au niveau du premier groupe qui est exclusivement constitué des plans du rez-de-chaussée de l'objet en conception, alors que ceux du groupe 2, sont un plan du premier étage et une façade. Ils suggèrent que la transformation de forme opérée par le sujet 1, se situe principalement au niveau des plans du rez-de-chaussée de l'objet en conception. Ceci est confirmé par le calcul et la comparaison de la fréquence des actions par catégories d'actions au niveau des plans du rez-de-chaussée, des plans du premier étage et des façades, enregistrée au niveau du graphe 9 ci-dessous. Il révèle que la manipulation des formes chez le sujet 1, se situe essentiellement au niveau des plans du rez-de-chaussée. Ces résultats nous font dire que, les transformations morphiques opérées aux niveaux du plan du 1^{er} étage et de la façade, obéissent aux solutions morphiques développées au niveau des plans du rez-de-chaussée. Autrement dit, les solutions développées au niveau des plans du premier étage et des façades, ne sont que la projection de solutions plastiques et structurales développées au niveau des plans du rez-de-chaussée de l'objet en conception, d'où la baisse importante de la fréquence des actions de transformation plastique et structurale au niveau des

plans du 1^{er} étage et des façades. Même l'ordre d'occurrence des croquis propres à chacun des niveaux de conception confirme ces faits. Ainsi les croquis qui traitent du premier étage viennent toujours après ceux du rez-de-chaussée et ceux des façades après ceux du premier étage.

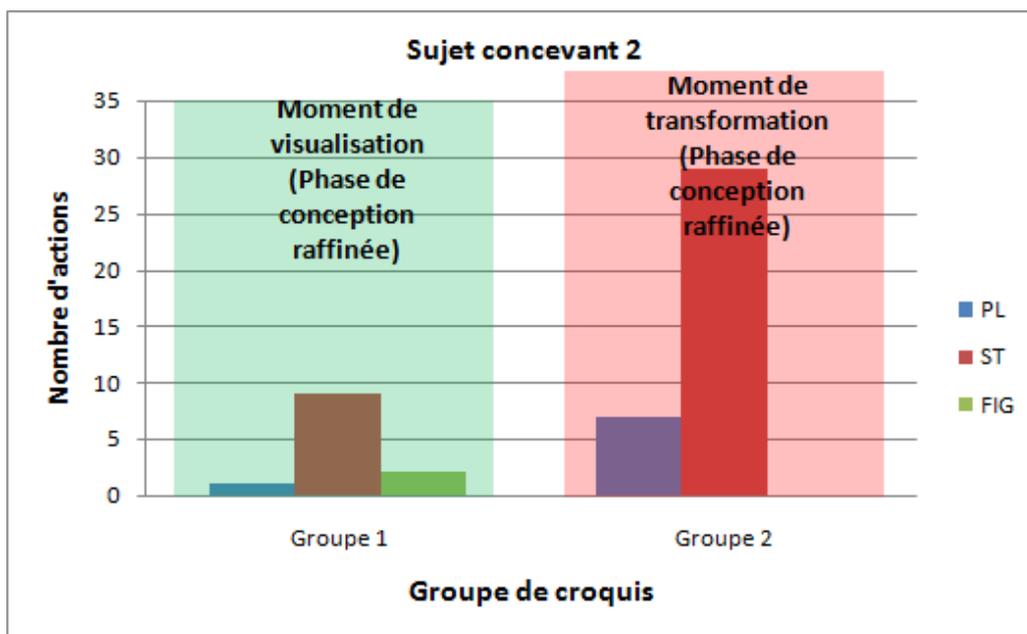


Graphe 9 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 1.

Ceci est notamment confirmé par le graphe 10 ci-dessous, qui montre une forte concentration des actions de transformation morphique au niveau des plans du rez-de-chaussée.

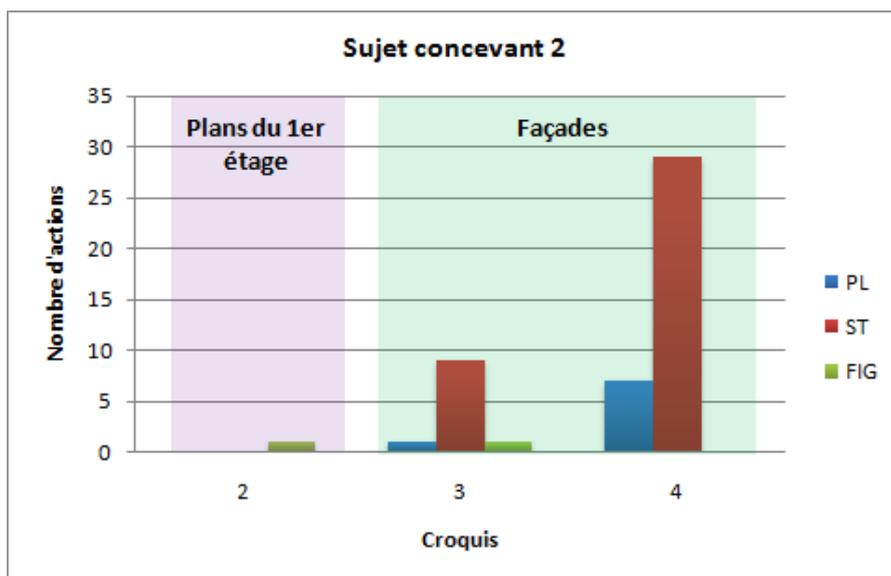


Graphe 10 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par niveau de conception, chez le sujet concevant 1.



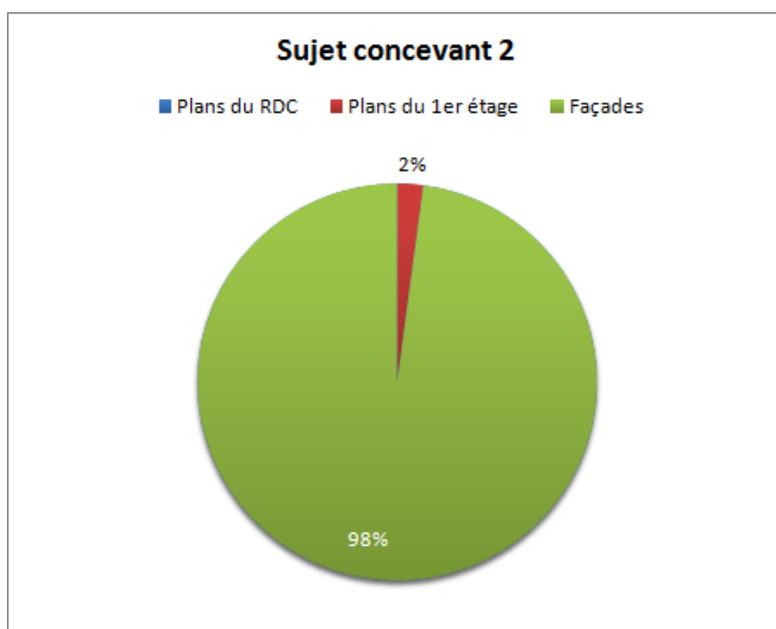
Graphe 11 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque groupe de croquis, produits par le sujet concevant 2.

En ce qui concerne le sujet concevant 2, le graphe 11 montre que la fréquence, la plus importante, des actions de transformation structurale et plastique est recensée au niveau du deuxième groupe, en l'occurrence celui des façades. Ceci est confirmé par le calcul du pourcentage d'occurrence des actions de transformation morphique au niveau des deux groupes. En effet, le pourcentage d'occurrence des actions de transformation morphique au niveau du premier groupe représente 25% du total des actions, tandis que celui du deuxième groupe est de 75%. Ces résultats nous donnent un aperçu général sur la manière dont les formes sont manipulées chez le sujet concevant 2, et nous font dire que la manipulation de la forme, opérée par ce dernier, se situe essentiellement au niveau des façades (graphe 12). Les résultats obtenus par la présente analyse, laissent penser que le sujet concevant 2, a reproduit une solution développée dans des situations de conception antérieure, d'où la faible fréquence des actions de transformation figurative et le nombre relativement restreint de croquis. Autrement dit, la fréquence importante des actions de transformation morphique au niveau des façades suggère que l'architecte participant 2, reproduit le même plan et tente tout simplement de modifier une façade type pour essayer de donner non pas un projet différent mais une image différente du même projet.



Graphe 12 : Fréquence d’occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d’actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 2.

Ce résultat est confirmé par le graphe 13 ci-dessous, qui montre effectivement que l’essentiel de la manipulation des formes, chez le sujet 2, se situe au niveau des façades.



Graphe 13 : Taux d’occurrence des actions de transformation morphique, par niveau de conception, chez le sujet concevant 2.

Nous avons, en deuxième lieu, soumis les recueils de description qui enregistrent le nombre d’actions, par classe d’actions, au niveau de chaque segment, à l’analyse en composantes principales (ACP), chez les deux sujets concevants. Les résultats de cette opération sont

représentés sur les figures 34 et 35, qui continuent et développent les figures 32 et 33 précédentes.

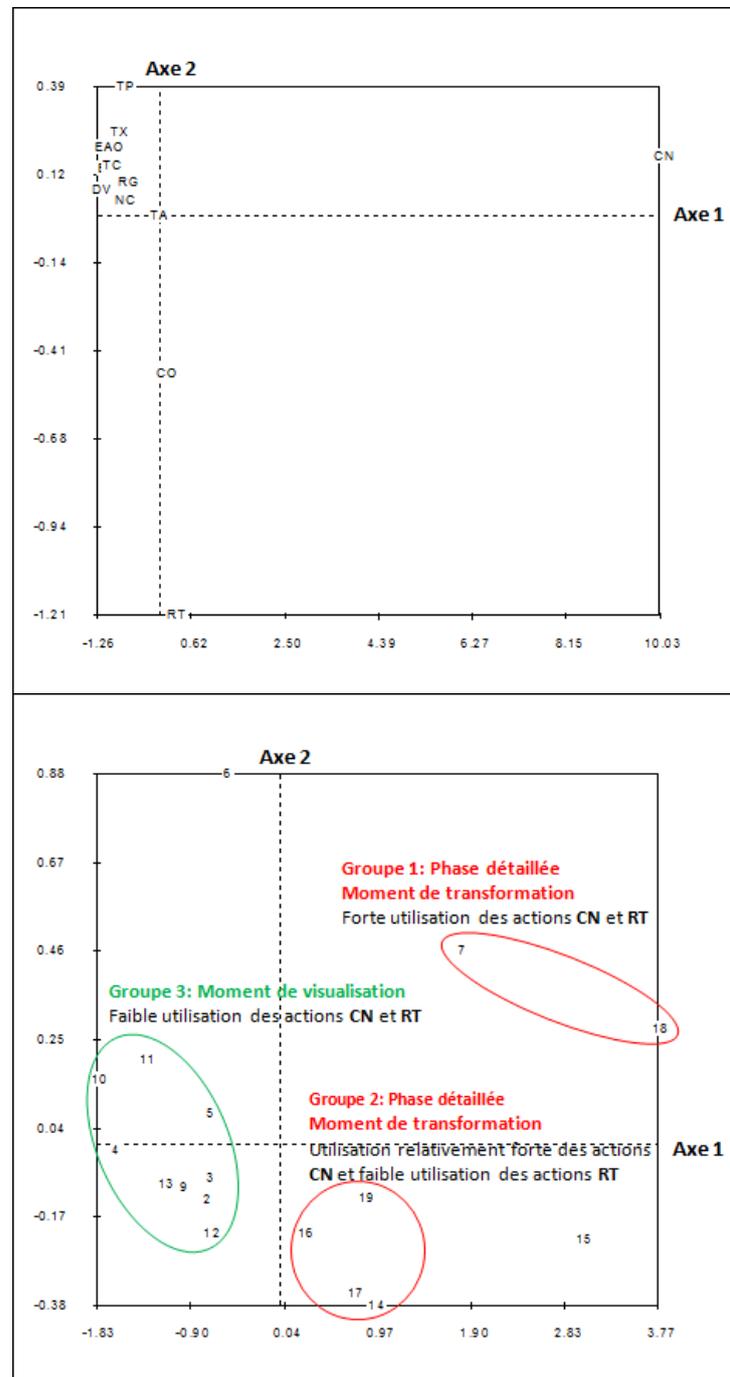


Figure 34 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 16). Les points du premier graphe correspondent aux variables qui sont en l'occurrence les classes d'actions de transformation morphique, tandis que ceux du deuxième graphe correspondent aux spécimens représentés par les croquis produits par le sujet 1.

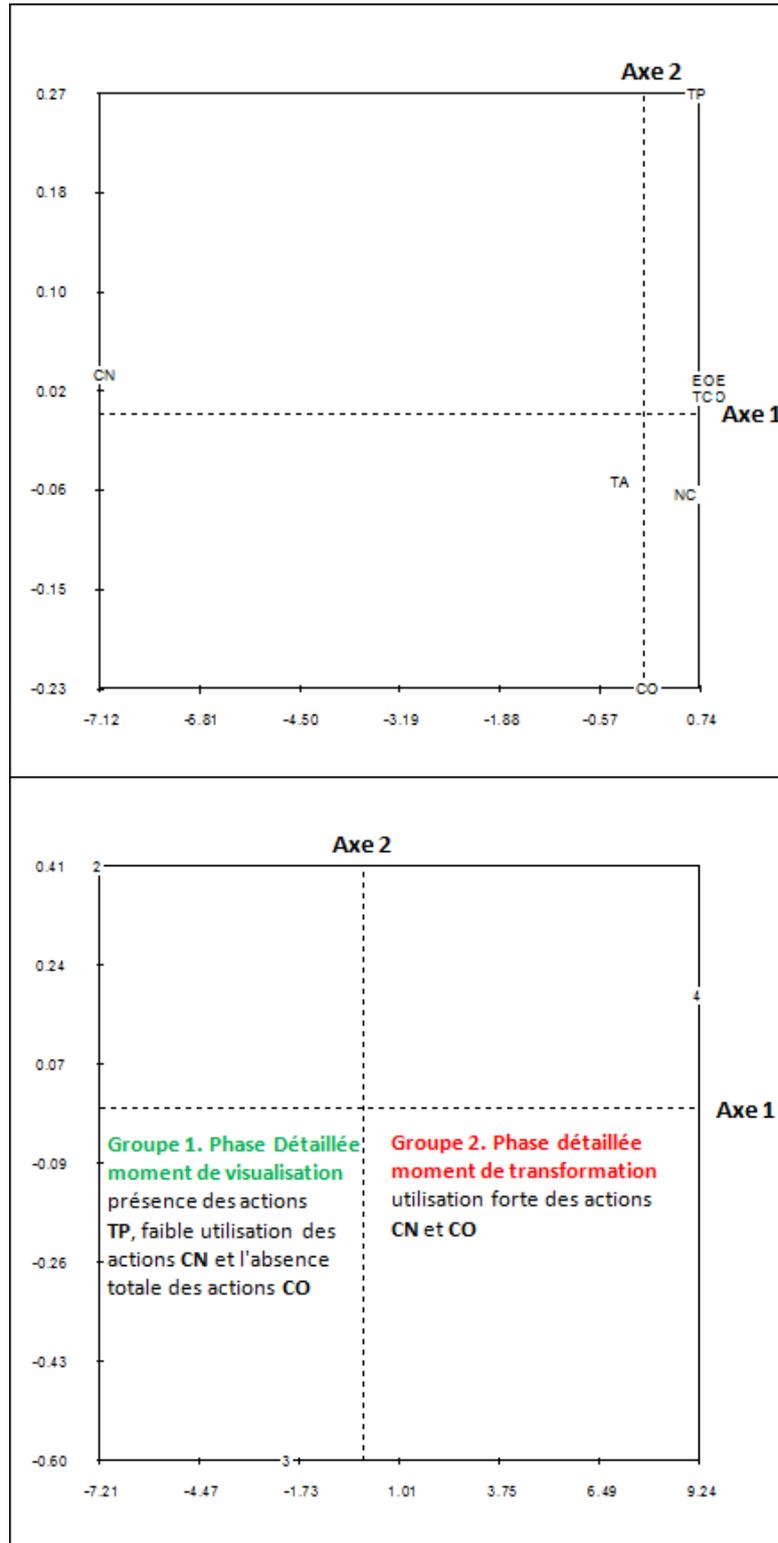


Figure 35 : Graphes de l'analyse factorielle en composantes principales des données du recueil de description du sujet concevant 1 (tableau 17). Les points du premier graphe correspondent aux variables qui sont en l'occurrence les classes d'actions de transformation morphique, tandis que ceux du deuxième graphe correspondent aux spécimens représentés par les croquis produits par le sujet 2.

La figure 34.a, montre que les actions les plus importantes dans le processus de manipulation/production morphique, chez le sujet concevant 1, sont les actions de transformation constitutives (CN) et celles de transformation des rapports topologiques (RT) qui sont de nature structurale. Pour les actions de transformation plastique, les plus importantes sont celles du changement de la conformation (CO) et de la taille (TA). Elles sont par ailleurs opposées par l'axe 1.

L'axe 2 oppose quant à lui les actions de transformation figurative aux actions de transformation structurales qui sont essentiellement constitutives (CN) et confirme la proximité des actions de transformation plastique et figurative.

La figure 34.b, confirme les résultats donnés à la figure 32. Elle oppose les croquis où il y'a transformation réelle à ceux où il n'y a que de légères modifications ou pas du tout.

La figure 35.a montre que les actions les plus importantes dans le processus de manipulation/production morphique, chez le sujet concevant 2, sont les actions structurales de transformation constitutives (CN) et les actions de transformation plastique du changement de la conformation (CO) et de la taille (TA). Qui sont par ailleurs opposées par l'axe 1.

L'axe 2 oppose les actions de transformation figurative aux actions de transformation structurales qui sont essentiellement constitutives (CN) et confirme la proximité des actions de transformation plastique et figurative.

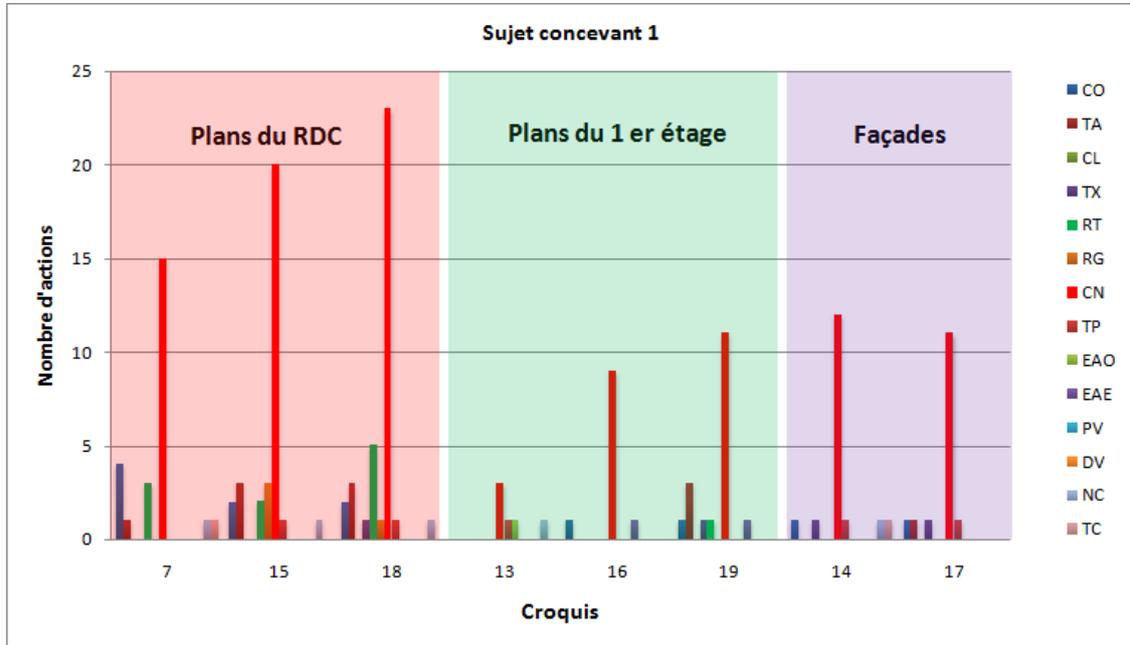
La figure 35.b, confirme les résultats donnés à la figure 33. Elle oppose également les croquis où il y'a transformation réelle à ceux où il n'y a que de légères modifications ou pas du tout.

Les résultats de l'analyse factorielle des recueils de description des sujet concevants 1 et 2, montrent encore une fois que l'activité de manipulation/production morphique du sujet concevant 1 et 2, est composée de deux grands moments. Le premier est celui de la visualisation. Les sujets y génèrent des idées sous différentes formes de représentations dans le but d'explorer, tester, évaluer et visualiser les solutions morphiques figurées. Ceci explique la baisse importante de la fréquence des actions de transformation constitutive et des rapports topologiques à ce niveau.

Le deuxième moment est celui de la transformation de l'objet, proprement dite. Les sujets concevants 1 et 2, y interviennent sur l'objet, et effectuent des transformations constitutives, qui sont principalement des rajouts de détails et d'éléments architecturaux, tels que mobilier

et fenêtres. La fréquence des actions de transformation des rapports topologiques s'explique par l'intérêt que portent les deux sujets au positionnement des différents espaces. Ils proposent en effet plusieurs versions de la même idée et changent la position des éléments architecturaux, tels que mobilier, portes et fenêtres, d'où la forte sollicitation de cette classe d'actions.

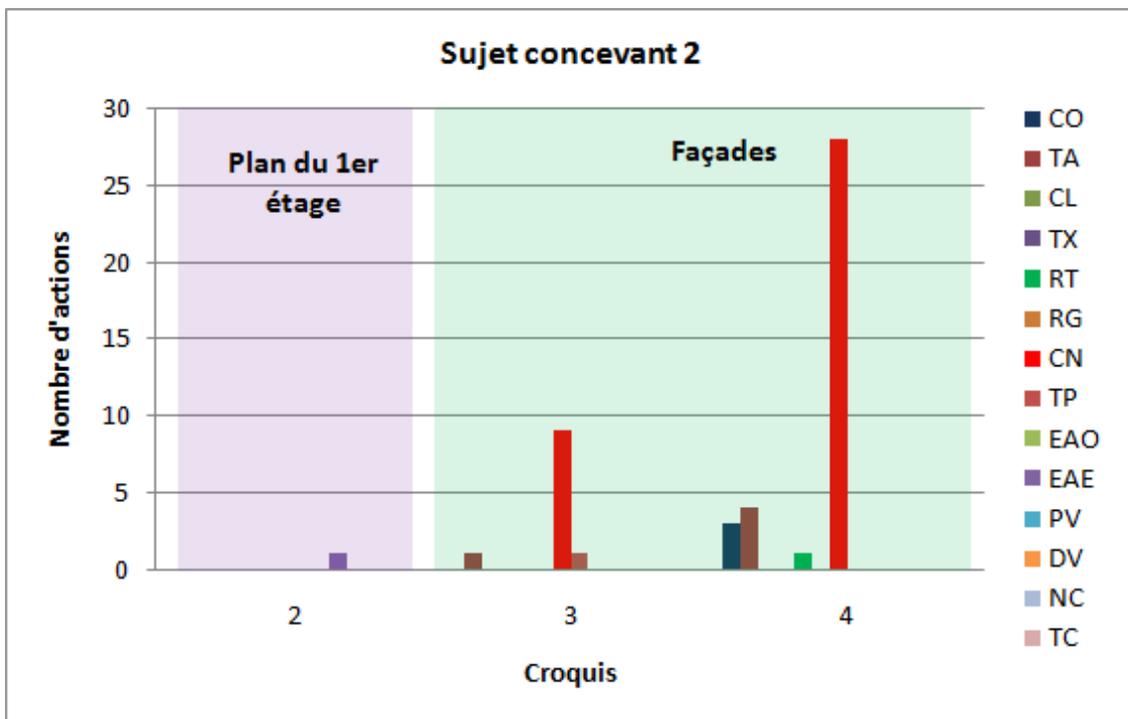
Par ailleurs, la différence entre les groupes 1 et 2 du sujet 1, qui représentent le moment de transformation (figure 34), s'explique par la stratégie de transformation mise en œuvre par le sujet. En effet, le calcul de la fréquence d'occurrence des actions, par classe d'actions, au niveau des deux groupes, montre que les transformations morphiques, se situent principalement au niveau des plans du rez-de-chaussée, représenté par le groupe 1 (graphe 14). Ceci confirme les résultats obtenus au niveau des graphes 9 et 10 (voir p. 92) et révèle que les plans du 1^{er} étage ainsi que les façades ne sont que la projection des solutions constitutives et topologiques de l'objet en conception et de ses éléments tels que développées au niveau des plans du rez-de-chaussée. D'où la baisse importante de la fréquence des actions de transformation constitutive, de conformation et des rapports topologiques, au niveau des plans du 1^{er} étage et des façades



Grappe 14 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 1.

En ce qui concerne le sujet concevant 2, la fréquence la plus importante des actions de transformation constitutive et de conformation, est recensé au niveau du deuxième groupe qui

est celui des façades. Ils sont confirmés par le calcul de la fréquence d'occurrence des actions par classe d'actions (graphe 15). Ceci confirme les résultats obtenus au niveau des graphes 12 et 13 (voir p. 94), et montre que la manipulation de la forme, opérée par le sujet concevant 2, se situe essentiellement au niveau des façades. Il a probablement proposé une solution explorée dans des situations de conception antérieures sous-forme de plans, et l'a ensuite transformée en effectuant des modifications au niveau de l'enveloppe extérieure de l'objet en conception. Ceci est s'explique par l'absence totale des actions de transformation morphique au niveau des plans et la présence relativement forte de celles-ci au niveau des façades.



Graphe 15 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau de conception, chez le sujet concevant 2.

CO : conformation, **TA :** taille, **CL :** couleur, **TX :** texture, **RT :** rapports topologiques, **RG :** rapports géométriques, **CN :** constitutives, **TP :** type de présentation, **EAE :** espace d'action/étage, **EAO :** espace d'action/objet, **PV :** point de vue, **DV :** direction de vue, **NC :** niveau de complexité, **TC :** taille croquis.

3.2.3. Mode de structuration du processus de manipulation/ production morphique

La troisième étape constitue la dernière partie de la l'analyse menée par le présent travail. Elle permet de faire correspondre le modèle des actions de manipulation/ production morphique élaboré par la présente étude, avec les différents niveaux de conception définis par d'autres

chercheurs, en vue de dégager les caractéristiques de chaque niveau, et de mettre la lumière sur les différentes logiques qui les régissent. Il s'agit ici de : 1. Les phases de conception (Goel, 1995), 2. Les moments de conception (Schön & Wiggins, 1992), 3. Les types de transformation (Goel, 1995), 4. Les niveaux d'abstraction (Liu, 2003), et 5. Les stratégies de conception (damle, 2009). Ceci est réalisé par le calcul de la fréquence des actions de transformation morphique, par catégories d'actions, classes et sous-classes d'actions dans chaque niveau de conception.

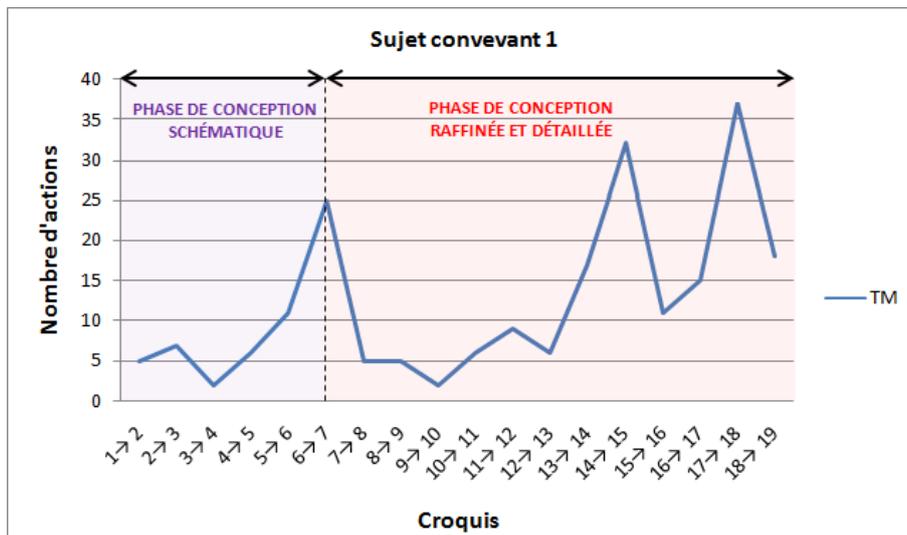
3.2.3.1. Phases de conception

L'étude de Goel a permis d'identifier deux phases dans le processus de production morphique du travail de conception architecturale (Goel, 1995). La première phase est baptisée, phase schématique ou conceptuelle. La deuxième est connue sous le nom de phase raffinée et détaillée. La phase de conception schématique est de nature exploratoire. Elle sert à développer différentes alternatives et idées de conception. La phase de conception raffinée quant à elle, sert à détailler la solution retenue et à proposer différentes versions de la même idée.

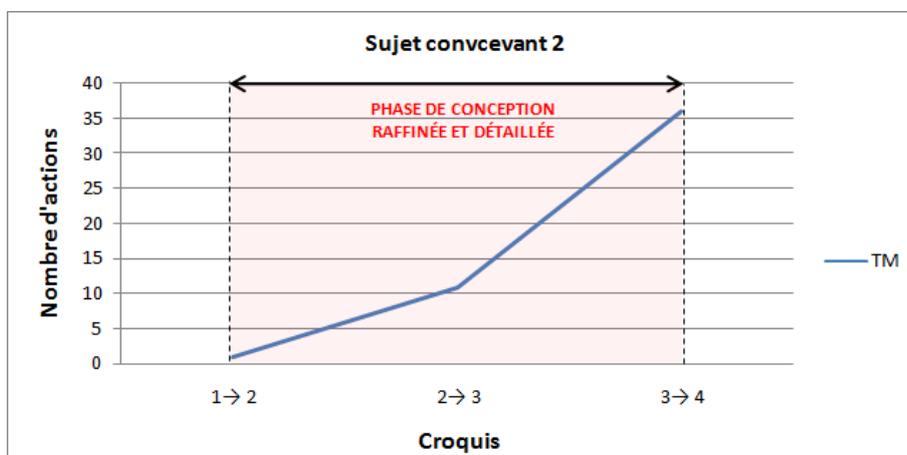
Les résultats qui suivent sont issus de l'analyse de la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, au niveau de chaque phase de conception. Nous avons, tout d'abord, identifié les croquis appartenant à chaque phase, chez les deux sujets concevants (Graphe 16 et 17), puis avons calculé le nombre d'actions au niveau de celles-ci. L'analyse se déroule selon quatre niveaux. Ainsi, Le premier correspond aux actions de transformation morphique, le deuxième est celui des catégories d'actions, le troisième s'intéresse aux classes d'actions et enfin le quatrième niveau mesure la fréquence des actions de transformation constitutive au niveau de chaque phase de conception, chez les deux sujets concevants.

L'analyse des graphes ci-dessous, ainsi que les croquis du dossier graphique produits par chacun des sujets concevants, et les enregistrements vidéos de leurs tâches de conception respectives, montrent que l'activité de manipulation/ production morphique du premier sujet, est passée par les deux phases de conception, développées en amont (graphe 16). Le travail du sujet 2 ne connaît, pour sa part, qu'une seule phase (graphe 17). Chez le sujet concevant 1, La première phase, baptisée phase de conception schématique ou conceptuelle, débute à partir du premier croquis et se termine au niveau du sixième croquis, tandis que la deuxième, nommée phase de conception raffinée et détaillée, commence à partir du croquis 7 et s'achève au niveau du dernier croquis. Le sujet concevant 2, a développé une stratégie exprimée par une

seule phase à savoir ; la phase de conception raffinée et détaillée qui débute au premier croquis et se termine au niveau du quatrième et dernier croquis.



Graph 16 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1. Ce graphe révèle la phase de conception schématique et la phase de conception raffinée et détaillée, ainsi que leurs longueurs respectives.



Graph 17 : Évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2.

L'absence de la phase exploratoire chez le sujet 2, est confirmée par la mesure de la relation qui existe entre les trois catégories d'actions de transformation morphique. Elle est réalisée par le calcul du coefficient de corrélations entre celles-ci et le résultat de cette opération est consigné dans le tableau 18 ci-dessous. Le coefficient de corrélation entre les deux catégories d'actions de transformation plastique et structurale, et celle de des actions de transformation figurative, chez le sujet 2, est négatif et proche de -1. Il signifie en effet, qu'il n'a pas besoin

de faire trop d'explorations, ce qui a réduit la visualisation au strict nécessaire et du coup la figuration est réduite. Elle devient plus efficace. Alors que chez le sujet concevant 1, la visualisation est importante parce qu'elle accompagne l'exploration également importante chez lui. Il suffit de voir le pourcentage des actions de transformation figurative chez l'un est l'autre (voir figure 24, p. 74). Ceci est confirmé d'une part, par le nombre de croquis produits par chacun, qui est relativement restreint chez le sujet concevant 2. Il est de l'ordre de quatre croquis, alors que le sujet 1 en a généré dix neuf. D'autre part, par la longueur de la phase exploratoire de l'activité de manipulation/ production morphique chez chacun d'eux. En effet, elle a duré presque dix minutes chez le sujet 1.

Le tableau ci-dessous montre par ailleurs que le coefficient de corrélation entre les deux catégories d'actions de transformation plastique (PL) et structurale (ST) est positif et proche de +1. Il signifie que la relation entre les deux catégories est ici très forte. C'est-à-dire qu'elles varient dans le même sens et que toute augmentation de la fréquence des unes, correspond à une augmentation de celle des autres.

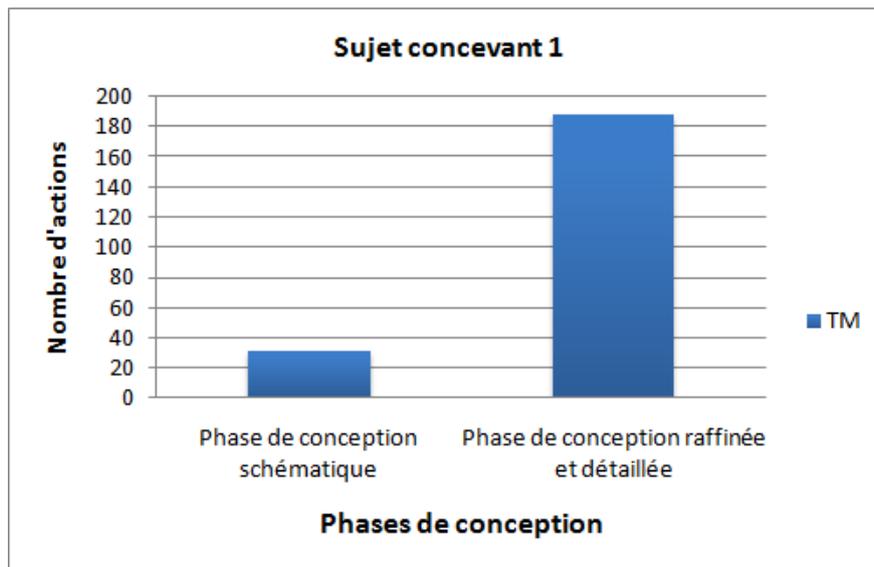
Sujet concevant	Pastique- Structurale	Plastique- Figurative	Structurale- Figurative
Sujet concevant 1	0,90	0,11	0,15
Sujet concevant 2	0,98	-0,99	-0,95

Tableau 18 : coefficient de corrélation entre les catégories d'actions de manipulation/ production morphique chez les deux sujets concevants.

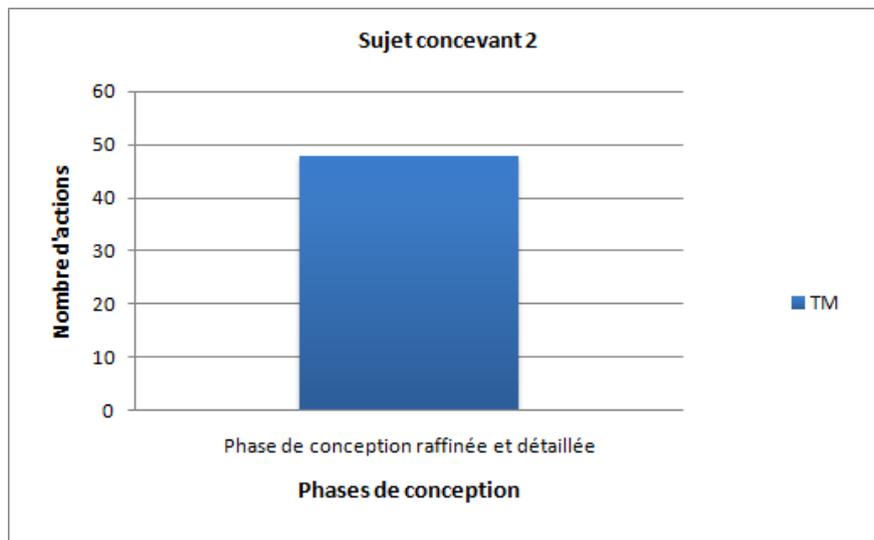
Niveau 1. Actions de transformation morphique

Le calcul de la fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de chaque phase de conception, est réalisé pour les sujets concevants 1 et 2. Les résultats de cette opération sont enregistrés au niveau des graphes 18 et 19 ci-dessous.

Les résultats montrent que la fréquence la plus importante des actions de transformation morphique, chez le sujet 1, est recensée au niveau de la phase raffinée et détaillée de l'activité de conception, avec un total de 188 actions. Il équivaut à 85,84% du total des actions. Puis la phase de conception schématique, dont la fréquence des actions de transformation morphique est de l'ordre de 31 actions. Équivalent à 14,16% du total des actions.



Graphe 18 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de chaque de phase de conception, chez le sujet concevant 1.



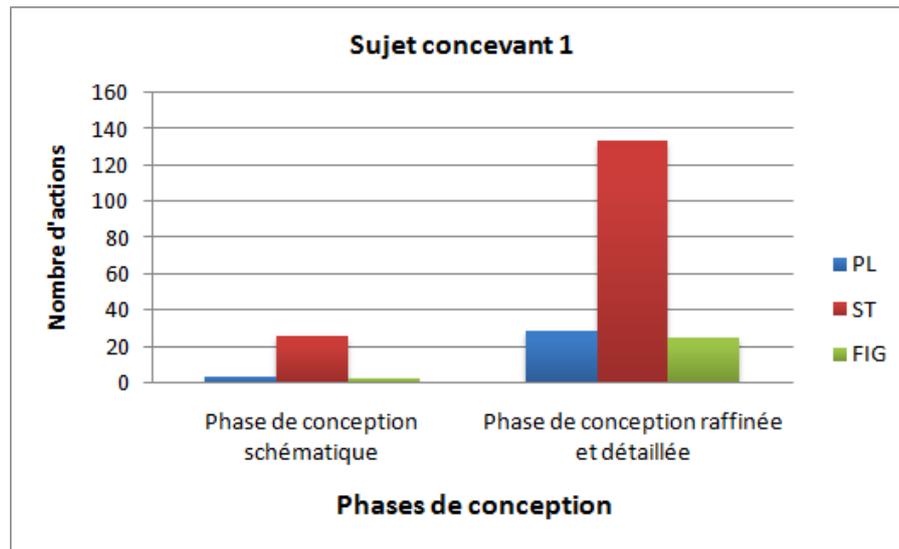
Graphe 19 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de chaque de phase de conception, chez le sujet concevant 2.

La forte activité de manipulation des actions de transformation morphique, au niveau de la phase raffinée et détaillée, s'explique par la longueur de celle-ci, par rapport à la phase de conception schématique. En effet, le sujet 1, a produit sept croquis durant la phase de conception schématique, alors qu'il en a généré douze au niveau de la phase raffinée et détaillée. Ce résultat s'explique également par la nature des deux phases de conception. En effet, la phase de conception schématique est caractérisée par l'engagement faible du sujet concevant vis-à-vis des idées générées. Elle implique l'exploration et la production de différentes alternatives de conception. Contrairement à la phase de conception raffinée et détaillée, qui est caractérisée par un engagement élevé vis-à-vis de la solution retenue, et une

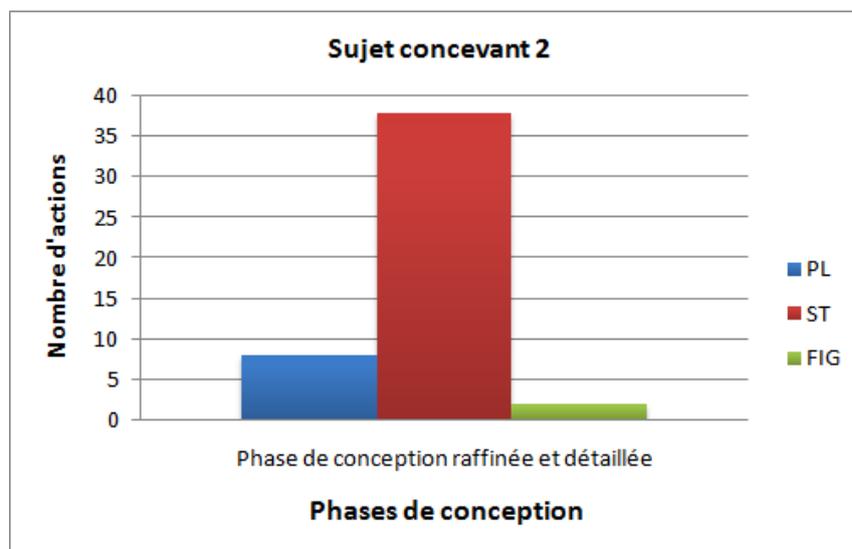
attention élevée portée aux détails, d'où la forte hausse des actions de manipulation/production morphique à ce niveau.

Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique

Afin de dégager les caractéristiques spécifiques à chaque phase de conception, nous avons également mesuré la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de celles-ci, chez les sujets concevants 1 et 2 (Graphe 20 et 21).



Graphe 20 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1.



Graphe 21 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2.

Les résultats offrent la possibilité de comparer les caractéristiques de chaque phase de conception. Ils révèlent que la phase de conception schématique est principalement constituée des actions de transformation structurale, contrairement à la phase de conception raffinée et détaillée, où l'on constate une forte hausse des actions de transformation plastique, structurale et figurative. Pendant la phase schématique ou conceptuelle, le sujet 1, explore différentes pistes idéelles. Il propose différentes configurations spatiales, jusqu'à ce que, la solution synthétique soit formulée. Ceci explique l'absence quasi-totale des catégories d'actions de transformation plastique et figurative. Une fois que le parti émerge, le sujet concevant 1, s'intéresse désormais à son actualisation et procède à la genèse, l'exploration, la visualisation et l'évaluation de différentes versions de celui-ci, d'où la hausse importante des actions de transformation plastique, structurale et figurative, au niveau de la phase de conception raffinée.

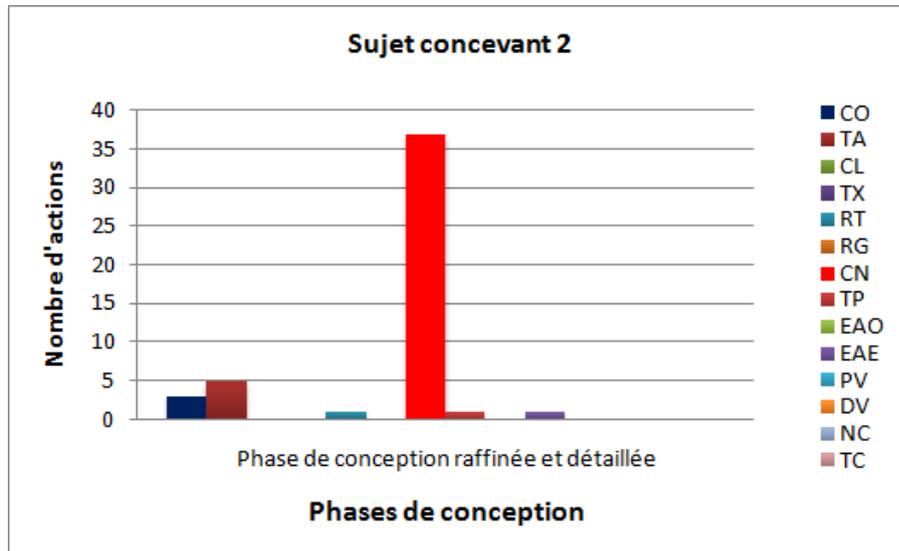
La dissemblance enregistrée au niveau de la catégorie d'actions de transformation figurative, entre les deux sujets concevants, est due à la longueur réduite de la phase de conception détaillée, chez le sujet 2, et le nombre également réduit de versions de l'idée, développées à ce niveau.

Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique

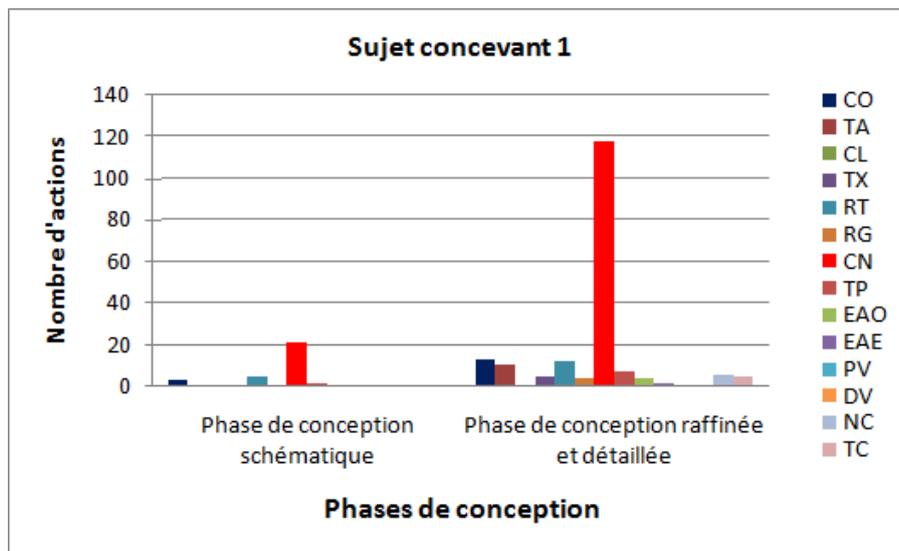
Ce niveau mesure la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez les deux sujets concevants. Les résultats de cette opération sont exprimés au niveau des graphes 22 et 23 ci-dessous.

Les résultats montrent que la phase de conception schématique est principalement constituée des actions de transformation constitutive et des rapports topologiques, alors que l'on constate l'apparition importante de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation morphique au niveau de la phase raffinée et détaillée telles que les actions de transformation de la conformation et de la taille. Ceci s'explique par l'intérêt du sujet concevant 1 durant la phase de conception détaillée. En effet, Le sujet concevant y détaille l'objet en conception. Il effectue des changements de représentation et de point de vue ainsi que des zooms, pour visualiser et valider la solution retenue. Il s'intéresse par ailleurs à l'aspect des éléments qui constituent l'objet en conception. La hausse considérable des actions de transformation constitutive, est due à l'ajout de détails et d'éléments architecturaux tels que des portes, fenêtres et mobilier. Durant la phase de conception schématique, le sujet 1, recherche et explore différentes solutions relatives au positionnement des espaces qui composent l'énoncé

de la tâche de conception, d'où l'absence totale des classes d'actions de transformation plastique et figurative.



Graph 22 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1.



Graph 23 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2.

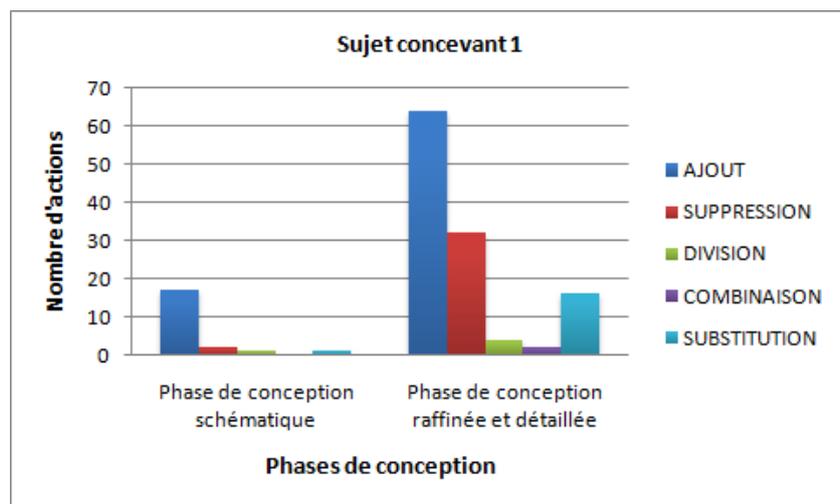
CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d'action/étage, **EAO** : espace d'action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.

L'absence quasi-totale des classes de transformation figurative, chez le sujet concevant 2, montre qu'il n'a pas eu besoin de visualiser la solution retenue afin de la valider. Ceci

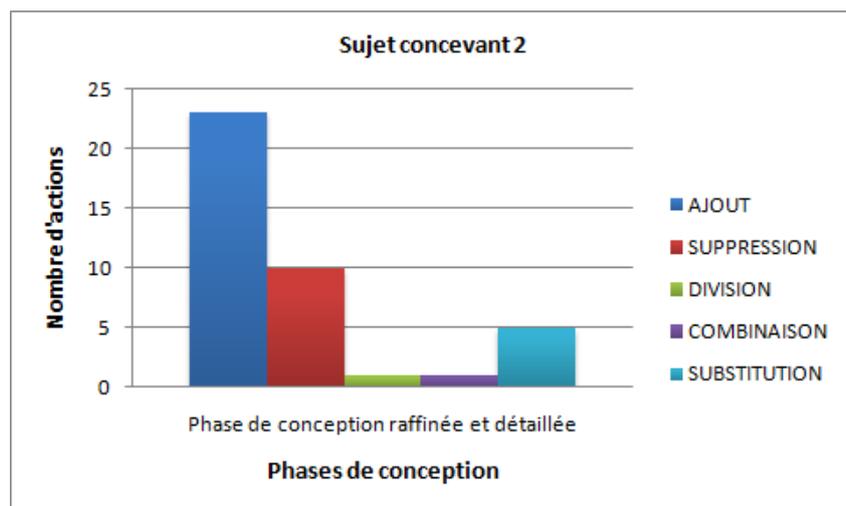
confirme l'idée que le sujet concevant 2, a reproduit une solution architecturale qui a été développée dans des situations de conception antérieures. Ceci est d'autant plus évident que ce sujet n'est pas passé par la phase de conception schématique et exploratoire.

Niveau 4. Actions de transformation constitutive

Nous avons à ce niveau, calculé la fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque phase de conception, chez les deux sujets concevants. Les résultats obtenus sont représentés au niveau des graphes 24 et 25 ci-dessous.



Graphe 24 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 1.



Graphe 25 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque phase de conception, chez le sujet concevant 2.

Les résultats montrent que la phase de conception raffinée et détaillée chez les sujets concevants 1 et 2, est d'une structure identique. On y note la présence de la quasi-totalité des

actions de transformation constitutive, contrairement à la phase de conception schématique, qui est essentiellement constituée des actions d'ajout. Ceci montre que le sujet 1, est en train de développer différentes versions de la solution retenue et de la raffiner, en rajoutant et supprimant des éléments architecturaux jusqu'à ce que le point de satisfecit soit atteint.

La dissemblance enregistrée au niveau des actions d'ajout, entre les deux phases de conception, chez le sujet concevant 1, est due à l'intérêt porté par ce dernier aux détails, d'où la hausse considérable d'actions d'ajouts au niveau de la phase de conception raffinée et détaillée.

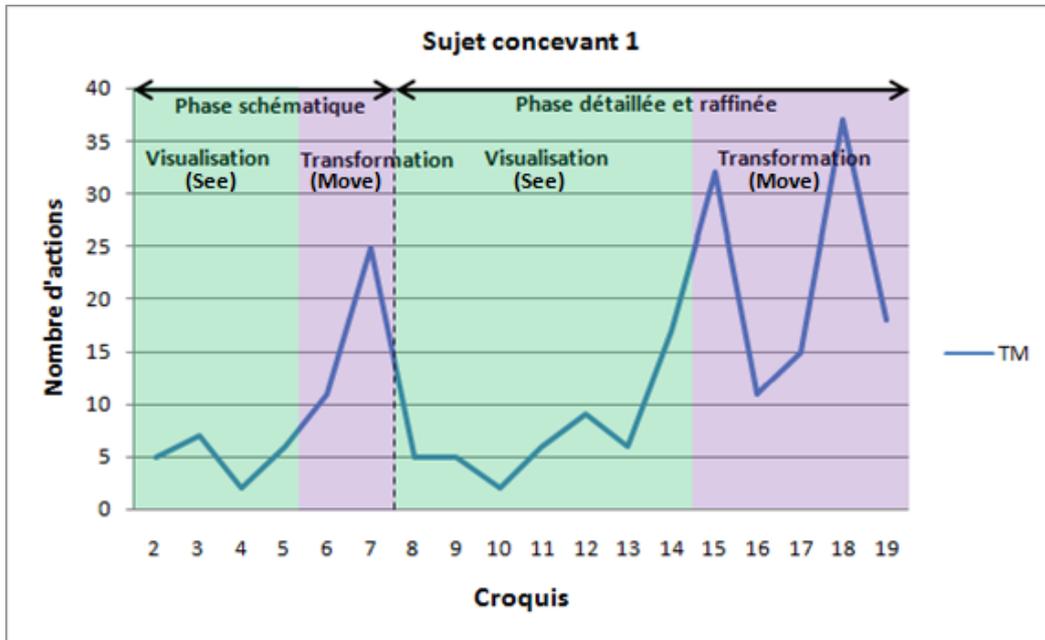
3.2.3.2. Moments de conception

Les résultats qui suivent sont issus de l'analyse en composantes principales (ACP) et de l'analyse hiérarchique ascendante (CAH) des recueils de description des sujets concevants 1 et 2. Ils montrent que l'activité de manipulation des formes de ces derniers, telle que définie par Schön & Wiggins, (1992), est composée de deux moments importants. Ces moments sont, selon leur ordre d'occurrence, la visualisation et la transformation (graphe 26 et 27).

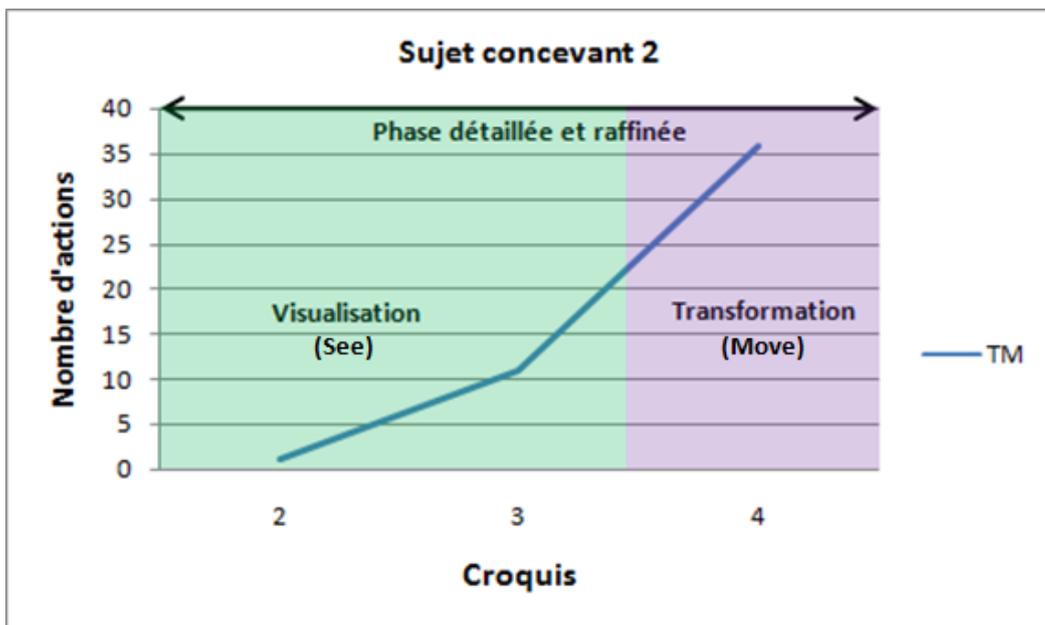
Le moment de visualisation, se caractérise par une faible sollicitation des actions de manipulation/ production morphique et est de deux types. Le premier appartient à la phase de conception schématique. Il sert à extérioriser les idées du sujet concevant pour en faire des réalités visuelles ambiguës qui peuvent servir à l'élaboration de différentes solutions, par le biais des transformations morphiques. L'autre type est celui de la phase de conception raffinée et détaillée. Il sert à visualiser, pour détailler, la solution retenue durant la phase de conception schématique.

Le moment de transformation se caractérise par une forte utilisation des actions de manipulation/ production morphique. Il est de deux types. Le premier appartient à la phase de conception schématique. Il sert à générer à partir des différentes idées, des alternatives morphiques de l'objet en conception. C'est ce moment qui génère ce qui est communément appelé " le parti architectural " et permet sa manipulation essentiellement via les actions de transformation constitutives, topologiques, de taille et de la conformation. Le deuxième type est celui de la phase de conception raffinée et détaillé. Le sujet concevant y développe plusieurs variantes du parti élaboré en vue de le détailler.

Dans l'objectif de dégager les caractéristiques spécifiques à chaque moment (graphe 26 et 27), nous y mesurons la fréquence d'occurrence des actions par catégorie, par classe et sous-classe d'actions. Ces quatre niveaux d'analyse permettent de comparer les logiques de sollicitation des actions de manipulation/ production morphique propres à chaque sujet concevant.



Graphe 26 : Évolution des actions de manipulation/ production morphique dans le temps, chez le sujet concevant 1.



Graphe 27 : Évolution des actions de manipulation/ production morphique dans le temps, chez le sujet concevant 2.

Niveau 1. Actions de transformation morphique

Nous avons mesuré le pourcentage d'occurrence des actions de transformation morphique dans chaque moment (Figure 36). Les résultats montrent que la phase de manipulation/production morphique des deux sujets possède la même structure. Elle est essentiellement constituée d'actions de transformation. La dissemblance constatée au niveau de la visualisation, peut être expliquée par l'expérience plus ou moins importante des deux sujets dans le domaine de la conception architecturale. En effet, le sujet 1 est un architecte novice, Il a donc besoin de plus de visualisation pour explorer différentes alternatives et évaluer la solution retenue. Il se peut, par ailleurs, tel que nous l'avons déjà vu, que le sujet 2 ait reproduit une solution développée dans des situations de conception antérieures.

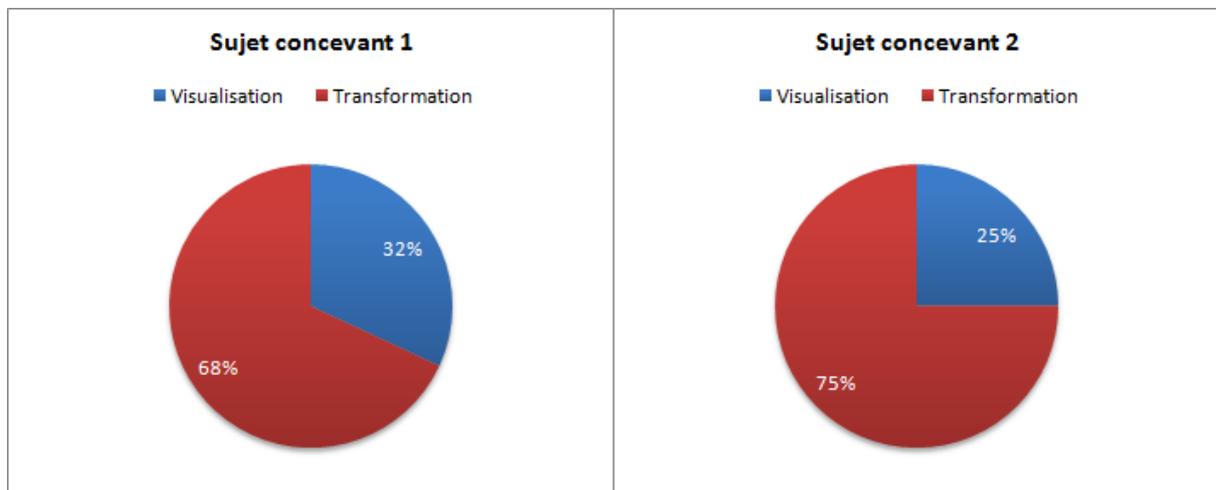


Figure 36 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique par moment de conception.

Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique

Nous avons calculé le pourcentage d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, pour chaque moment, chez les sujets concevants 1 et 2 (Figure 37 et 38).

Les résultats obtenus révèlent que le moment de visualisation est essentiellement constitué des actions de transformation structurales et figuratives contrairement au moment de transformation, qui est principalement composé des actions de transformation structurales et plastiques. Ceci s'explique par la nature des deux moments. En effet, le moment de visualisation sert à extérioriser et à détailler les idées développées par le sujet concevant d'où la forte présence des actions de transformation figurative. Le moment de transformation quant

à lui, est mis en œuvre développer les différentes idées générées par la phase de visualisation et en produire diverses alternatives.

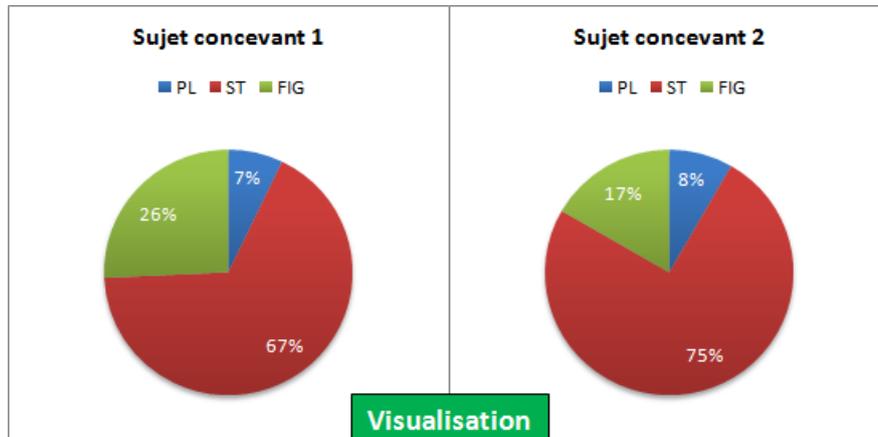


Figure 37 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau du moment de visualisation.

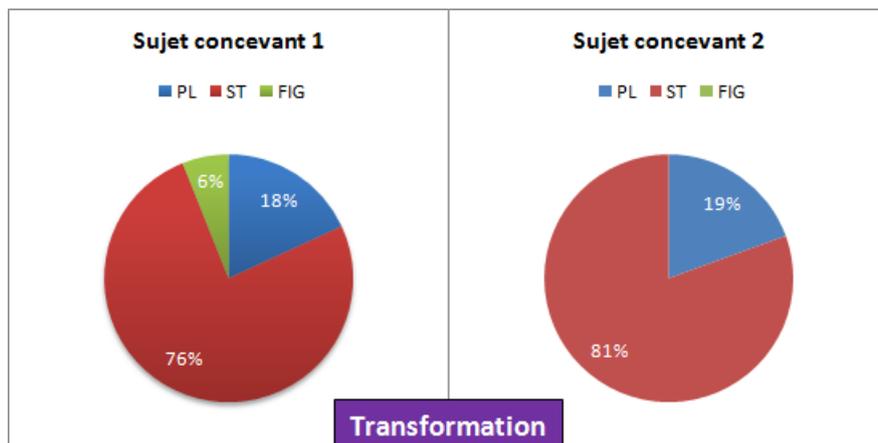


Figure 38 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau du moment de transformation.

La dissemblance constatée entre les deux sujets au niveau de la fréquence des actions de transformation figurative, du moment de visualisation (figure 37), prouve que le sujet concevant 1 a besoin d'extérioriser les solutions relatives à l'objet en conception, afin de les évaluer et les valider contrairement au sujet 2. Ceci est dû, tel que déjà dit, à la différence d'expérience des deux sujets concevants dans le domaine de la conception architecturale, qui est plus importante chez le sujet 2.

La dissemblance également recensée au niveau de la fréquence des actions de transformation figurative, du moment de transformation (figure 38), qui sont d'une valeur nulle chez le sujet 2, s'explique par le nombre de versions de la solution développées par le sujet concevant 1,

qui sont de l'ordre de trois. Le sujet concevant 2 n'en a développé qu'une seule sous-forme de façade.

Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique

Nous avons également mesuré le pourcentage d'occurrence des actions de transformation morphique, par classes d'actions, au niveau des moments de visualisation et de transformation, chez les sujets concevants 1 et 2. Les résultats obtenus sont représentés dans les graphes suivants (figure 39 et 40).

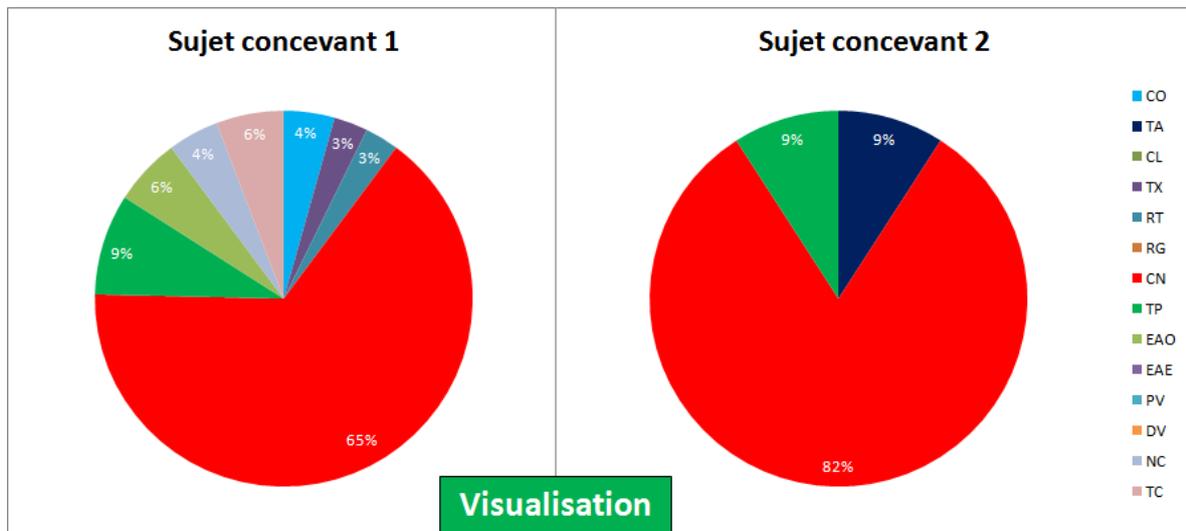


Figure 39 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau du moment de visualisation.

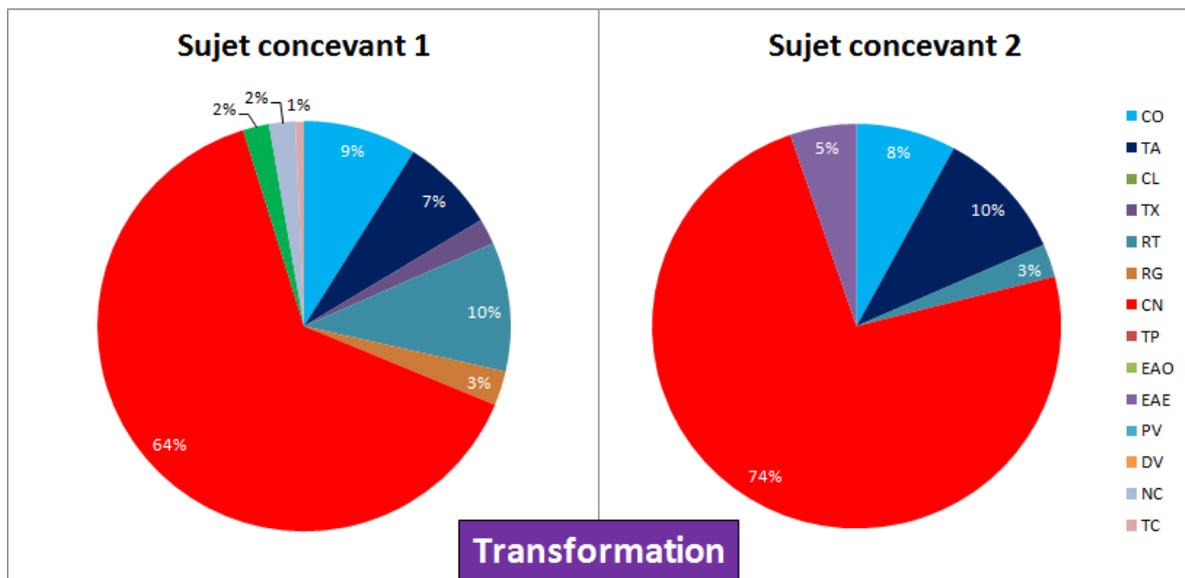


Figure 40 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau du moment de transformation.

Les graphes montrent que le moment de visualisation est essentiellement constitué d'actions de transformation constitutive et d'actions de transformation figurative. Contrairement au moment de transformation où l'on note une présence importante des actions de transformation de la conformation, de la taille et des rapports topologiques, ainsi qu'une présence relativement faible des actions de transformation figurative. Ceci montre encore une fois que la manipulation de l'objet proprement dite se situe au niveau du moment de la transformation, et que le moment de visualisation ne sert qu'à extérioriser, tester, détailler et représenter des idées de solution relatives à l'objet en conception.

La dissemblance enregistrée entre les moments de visualisation, chez le sujet concevant 1 et 2, au niveau des actions transformation figurative, où l'on constate l'absence de la quasi-totalité des classes d'actions chez le sujet 2, ainsi que la fréquence des actions de transformation des rapports topologiques, chez le sujet 1, s'explique, encore une fois, par la différence dans l'expérience des deux sujets concevants. Le sujet concevant 1 est un architecte novice, il a par conséquent besoin d'explorer différentes relations spatiales entre les éléments et espaces de l'objet en conception, de les visualiser et de les tester, afin de valider la solution retenue.

Niveau 4. Actions de transformation constitutive

Nous avons, en outre, mesuré le pourcentage d'occurrence des sous-classes d'actions de transformation constitutive, au niveau du moment de visualisation et de transformation, chez les deux sujets concevants (figure 41 et 42).

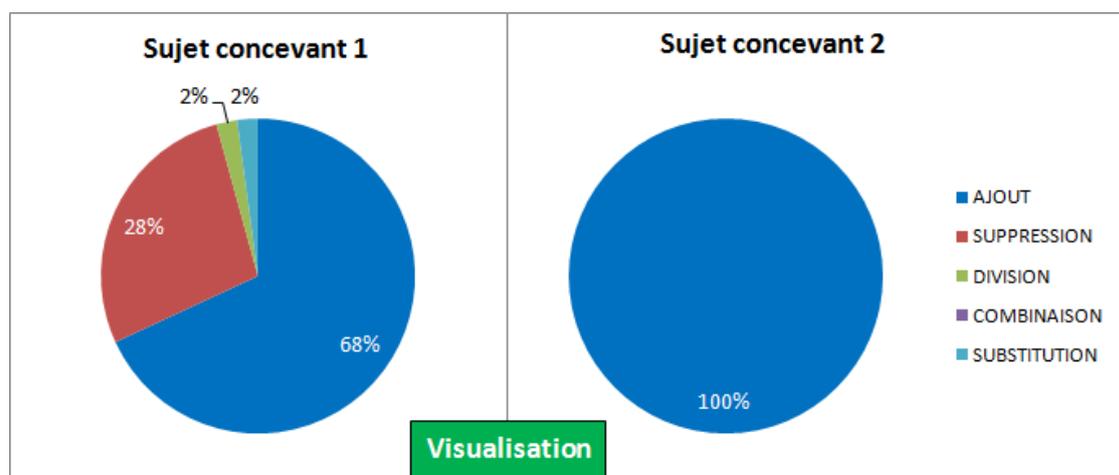


Figure 41 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau du moment de visualisation.

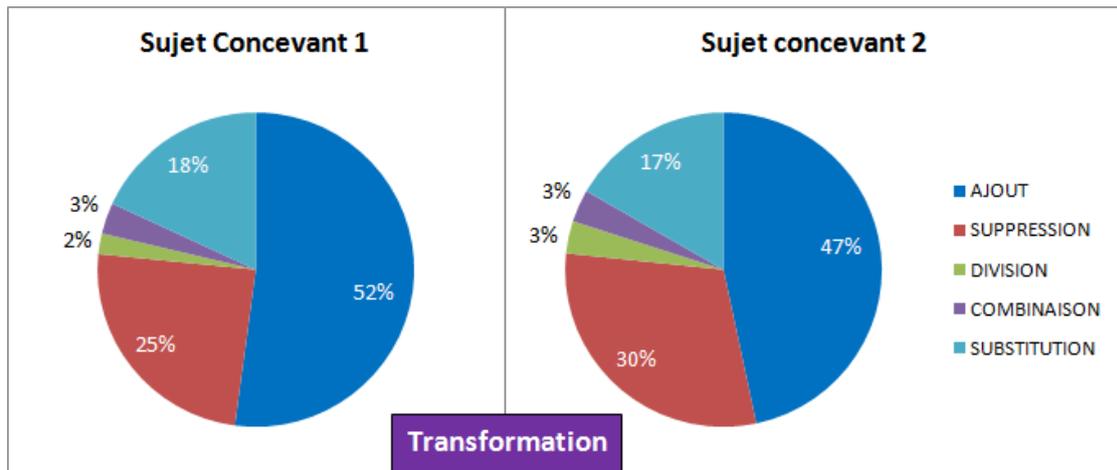


Figure 42 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau du moment de transformation.

Les résultats obtenus montrent que le moment de transformation, chez les sujets concevants 1 et 2, est constitué de la quasi-totalité des sous-classes d'actions de transformation constitutive, contrairement au moment de visualisation, qui est essentiellement composé des actions d'ajout. On y note également la fréquence importante des actions de substitution à ce niveau. Ceci s'explique par la nature même du moment et prouve encore une fois, qu'il est mis en œuvre pour explorer les différentes alternatives de solutions de l'objet en phase de conception.

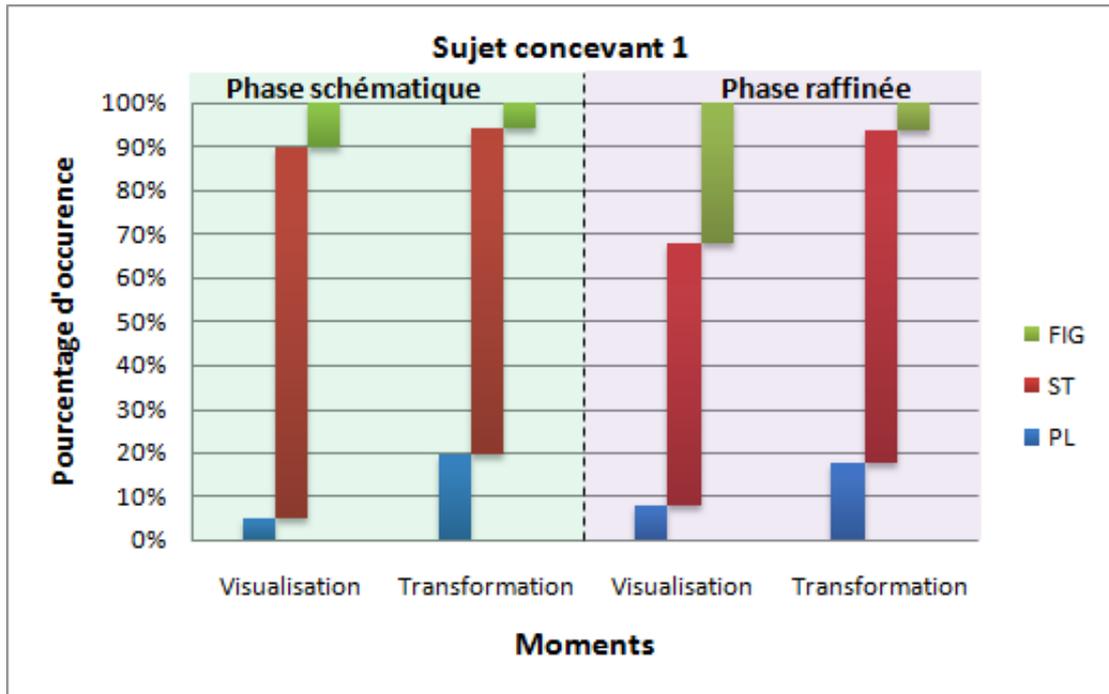
Caractéristiques des types de visualisation et de transformation

Cette partie de l'analyse dégage les caractéristiques respectives des types de visualisation et de transformation, qui appartiennent aux phases de conception schématique et raffinée, chez le sujet concevant 1.

Niveau 1. Catégories d'actions de transformation morphique

Nous avons calculé le pourcentage d'occurrence, des différentes catégories d'actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation. Les résultats obtenus sont représentés au niveau du graphe 28 ci-dessous.

Ils montrent que le moment de transformation de la phase de conception schématique et celui de la phase détaillée, possèdent la même structure. Ils sont caractérisés par une forte présence des actions de transformation plastique, contrairement aux moments de visualisation.

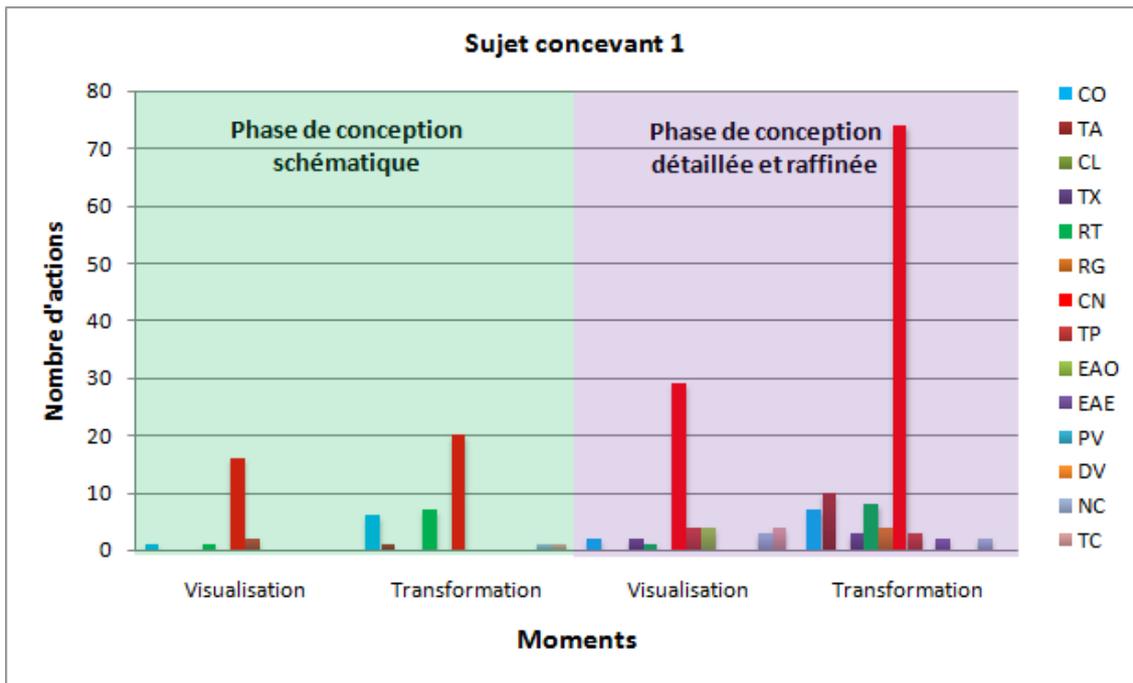


Graphe 28 : Taux d’occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d’actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1.

Le graphe ci-dessus, révèle également des dissemblances entre les deux types de visualisation. Le moment de visualisation de la phase de conception raffinée et détaillée est caractérisé par une forte présence des actions de transformation figurative. Ceci est dû à la nature de la phase de conception raffinée, durant laquelle le sujet concevant a tendance à détailler l’idée et la solution retenue. Il effectue différents changements relatifs au type de présentation, des zooms avant sur des éléments et sur des espaces architecturaux, afin d’évaluer et de visualiser ses choix en matière de conformation, de positionnement,...etc. La phase de conception schématique, quant à elle, est de nature exploratoire. Le sujet concevant y développe différentes pistes idéelles, d’où la baisse importante des actions de transformation figurative.

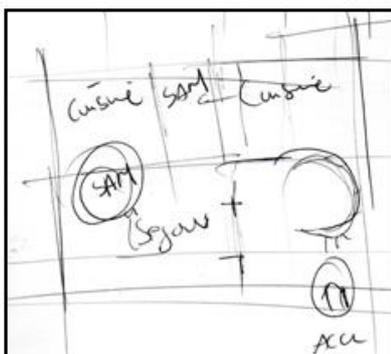
Niveau 2. Classes d’actions de transformation morphique

Le graphe ci-dessous (graphe 29), offre également la possibilité de comparer la fréquence d’occurrence des actions de transformation morphique, par classe d’actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet concevant 1.

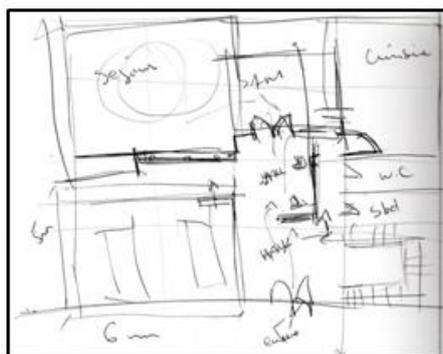


Graph 29 : Taux d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1.

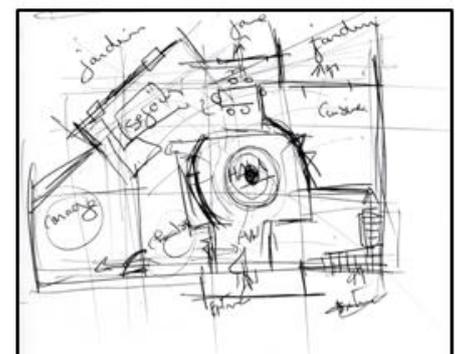
Les résultats révèlent la présence de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation figurative au niveau du moment de visualisation, de la phase de conception raffinée, contrairement à celui de la phase schématique, où l'on constate leur absence. Par ailleurs, le moment de transformation de la phase de conception détaillée est constitué de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation morphique, contrairement à celui de la phase de conception schématique où l'on n'en retrouve que quatre.



Croquis 6 : le sujet 1 explore différentes solutions relatives à la disposition des espaces de l'objet en conception.



Croquis 7 : le sujet 1 arrête la solution relative à la configuration des espaces de l'objet en conception.



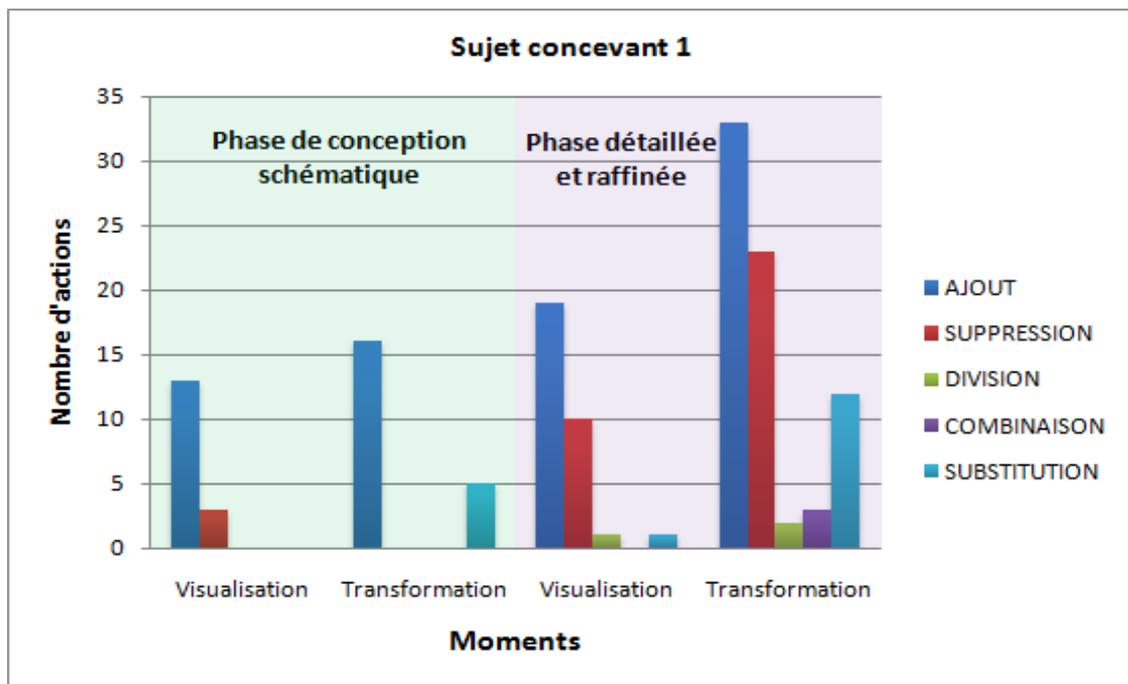
Croquis 15 : une fois les solutions relatives au positionnement des espaces arrêtées, le sujet 1 s'intéresse désormais aux détails et à la forme de l'objet en conception.

Figure 43 : Croquis produits par le sujet concevant 1.

La fréquence des actions de transformation constitutive au niveau du moment de transformation, de la phase de conception détaillée, s'explique par l'intérêt du sujet concevant 1 aux détails. En effet, une fois les solutions relatives au positionnement des espaces de l'objet en conception arrêtées, l'attention du sujet 1 s'est principalement portée sur les détails, en rajoutant des éléments architecturaux tels que des portes, des fenêtres et des bacs à fleurs, d'où la hausse considérable des actions de transformation constitutive à ce niveau (figure 43).

Niveau 3. Actions de transformation constitutive

Enfin, nous avons calculé la fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet concevant 1. Les résultats de cette opération sont représentés au niveau des graphes 30 ci-dessous.



Graphe 30 : Taux d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de visualisation et de transformation, chez le sujet 1.

Les résultats montrent que le moment de transformation de la phase de conception raffinée et détaillée, est constitué de la totalité des actions de transformation constitutive, contrairement à celui de la phase de conception schématique. On note également que la fréquence des actions d'ajout et de substitution a subi une hausse au moment de transformation de la phase de conception raffinée et détaillée. Ceci est dû à la nature de la phase de conception détaillée, qui est caractérisée par la présence exclusive des transformations verticales. Autrement dit, le

sujet 1 est en train de manipuler des versions de la même idée, d'où la forte hausse des actions d'ajout et de substitution (figure 44).

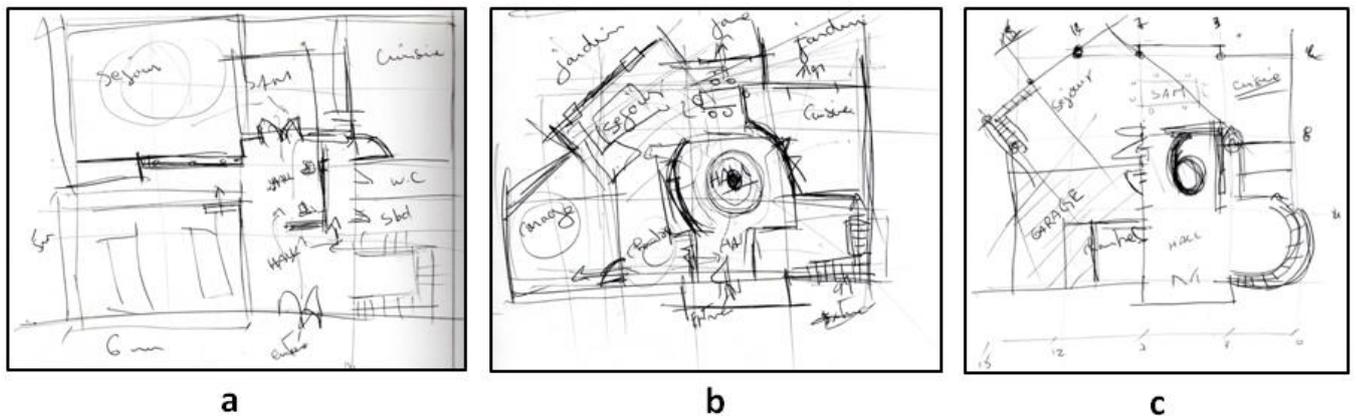


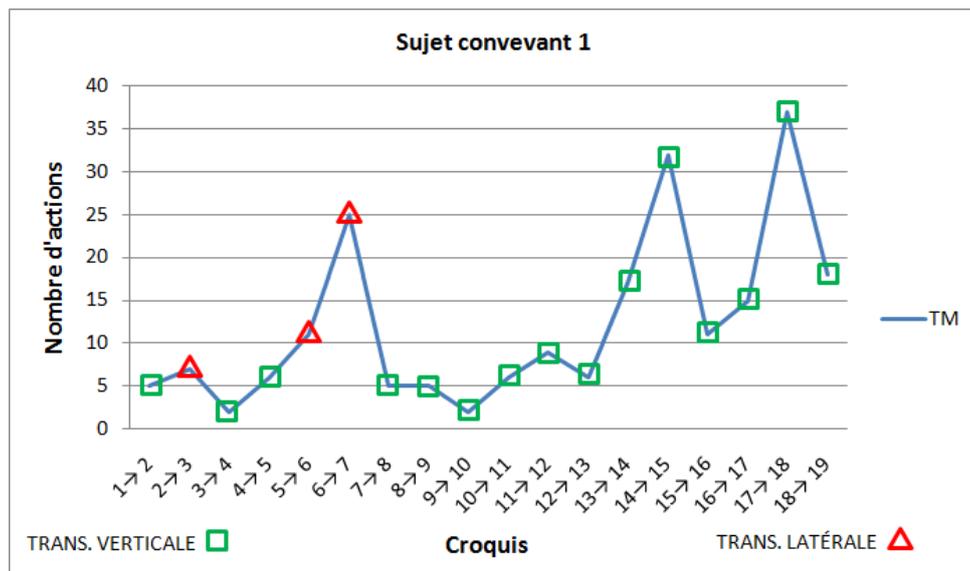
Figure 44 : Croquis produits par le sujet concevant 1. Les figure a, b et c, représentent, selon leur ordre d'occurrence, les trois versions de l'idée retenue.

3.2.3.3. Typologie des transformations

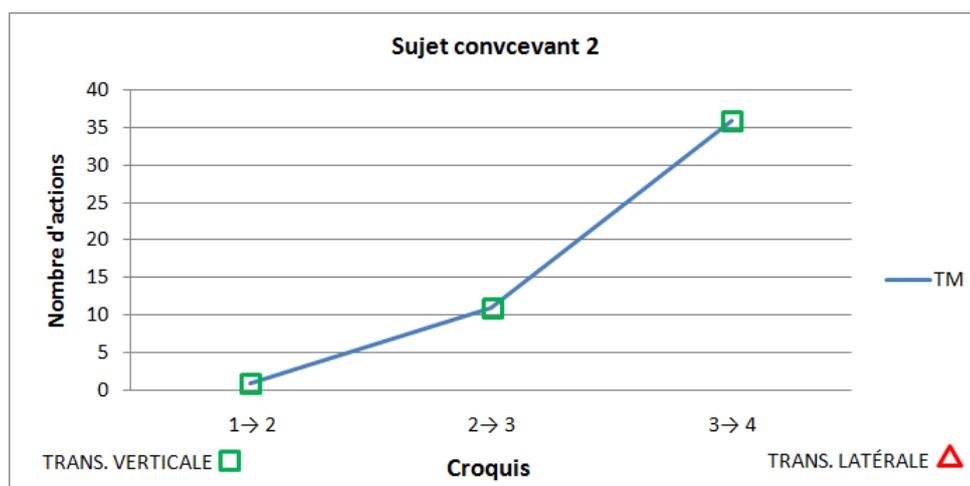
Le travail de Goel (1995) sur l'activité de la manipulation des formes, a permis d'identifier deux types de transformations, à savoir latérales et verticales. Les transformations latérales ou transversales convertissent une idée en une idée différente, alors que les transformations verticales manipulent différentes versions de la même idée. Nous avons étudié tous les croquis successifs générés par les deux sujets concevants, ainsi que les discours qui accompagnent l'activité d'esquisse, capturés dans les enregistrements vidéo, afin de décider de la typologie de la transformation qui a eu lieu dans chaque cas. Un changement évident dans la pensée (divergence) est une transformation latérale, tandis que si le changement opéré produit une version différente ou plus détaillée de la même idée ; c'est une transformation verticale (convergence).

Les résultats obtenus sont issus de l'analyse de la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, au niveau de chaque type de transformation. Ceci est réalisé, en premier lieu, par l'identification des deux types de transformation au niveau des processus des sujets concevants 1 et 2. Nous avons ensuite calculé la moyenne d'occurrence des actions de transformation morphique, au niveau de chaque type de transformation qu'il soit vertical ou latéral. Cette opération se développe selon quatre niveaux qui correspondent aux actions de transformation morphique, aux catégories d'actions, aux classes d'actions et enfin aux actions de transformation constitutive.

L'analyse des croquis des dossiers graphiques produits par les deux sujets concevants ainsi que les enregistrements vidéos de leurs tâches de conception, montrent que l'activité de manipulation/ production morphique du sujet concevant 1, est essentiellement constituée des transformations verticales. Les transformations latérales sont de l'ordre de trois. Elles sont situées au début du processus de conception. Alors que les transformations mises en œuvre chez le sujet 2, sont exclusivement verticales (graphe 31 et 32).



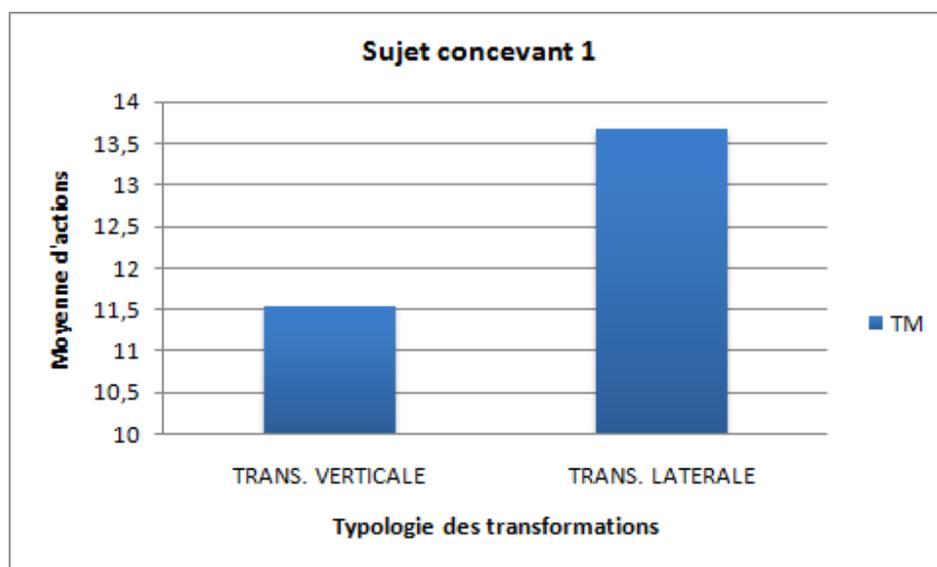
Graph 31 : Évolution des actions de transformation morphique, dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1. Ce graphe révèle la situation des types de transformation latérale et verticale au long du processus de conception, ainsi que leurs fréquences d'occurrences.



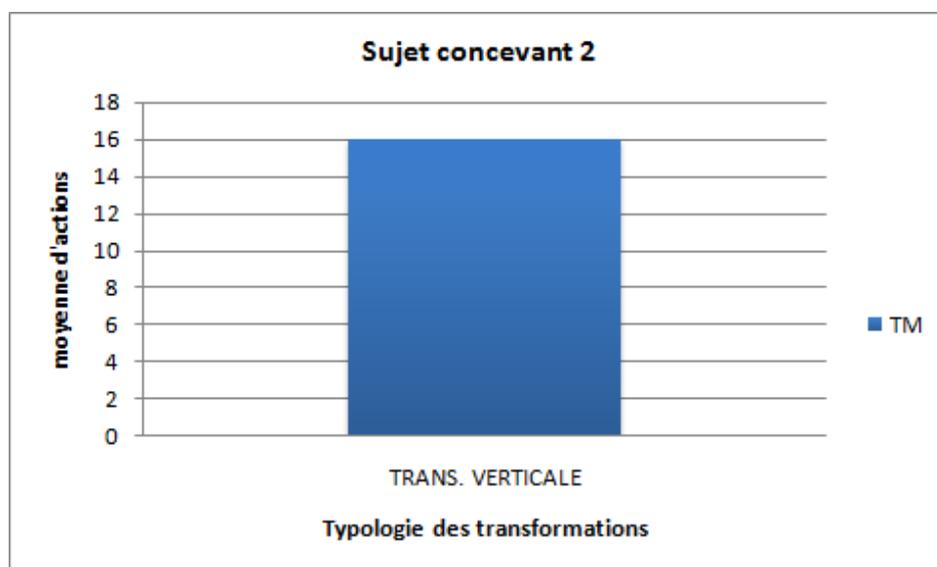
Graph 32 : Évolution des actions de transformation morphique, dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2. Ce graphe révèle la situation des types de transformation latérale et verticale au long du processus de conception, ainsi que leurs fréquences d'occurrences.

Niveau 1. Actions de transformation morphique

Le calcul de la moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau des transformations latérales et verticales, est effectué pour les sujets concevants 1 et 2. Les résultats de cette opération sont représentés au niveau des graphes 33 et 34 ci-dessous.



Graphe 33 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau des transformations verticales et latérales, chez le sujet concevant 1.



Graphe 34 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, au niveau des transformations verticales et latérales, chez le sujet concevant 2.

Les résultats montrent que la plus importante moyenne d'occurrence des actions de transformation morphique, chez le sujet 1, est située au niveau de la transformation latérale, avec une valeur de 13,67. S'ensuit la transformation verticale avec une valeur de 11,53. Ceci

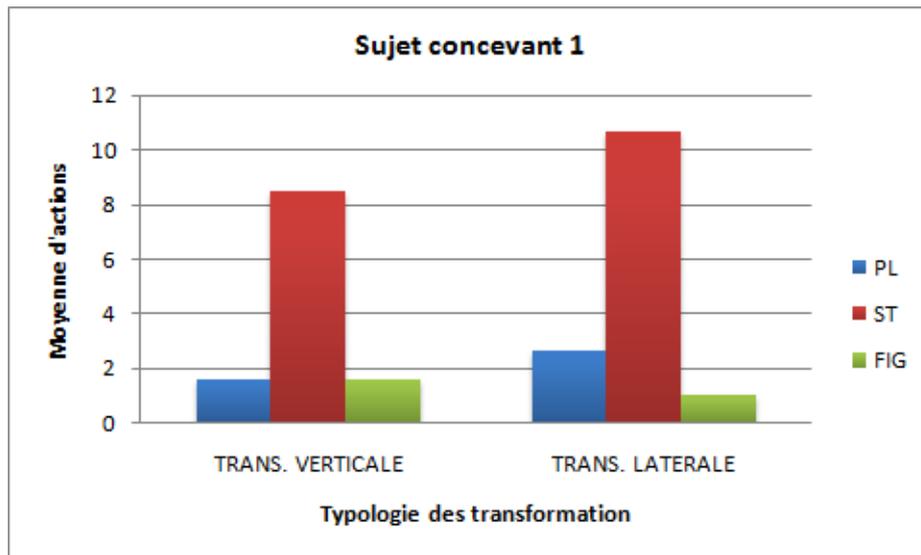
s'explique par la nature de la transformation latérale qui est mise en œuvre pour explorer différentes alternatives morphiques de l'objet en conception et engendrer des modifications radicales au niveau de celui-ci. En effet, le sujet concevant 1 explore, au début du processus, différentes idées et alternatives de conception relatives au positionnement des espaces qui constituent l'énoncé de la tâche de conception. Il modifie leur disposition et teste différentes configurations spatiales jusqu'à ce que la solution recherchée soit formulée. Une fois celle-ci est élaborée, le sujet 1 la développe par le biais des transformations verticales et effectue des modifications minimales qui sont de l'ordre de la transformation de la conformation et des dimensions des espaces, ainsi que l'ajout de détails architecturaux tels que mobilier, portes et fenêtres.

Le sujet concevant 2, contrairement au sujet 1, a passé la totalité de la durée de la tâche de conception à développer une seule idée qui est probablement issue de situations de conception antérieures. C'est pourquoi, il n'a pas de transformations latérales mais rien que des transformations verticales qui s'occupent de développer et détailler l'idée unique.

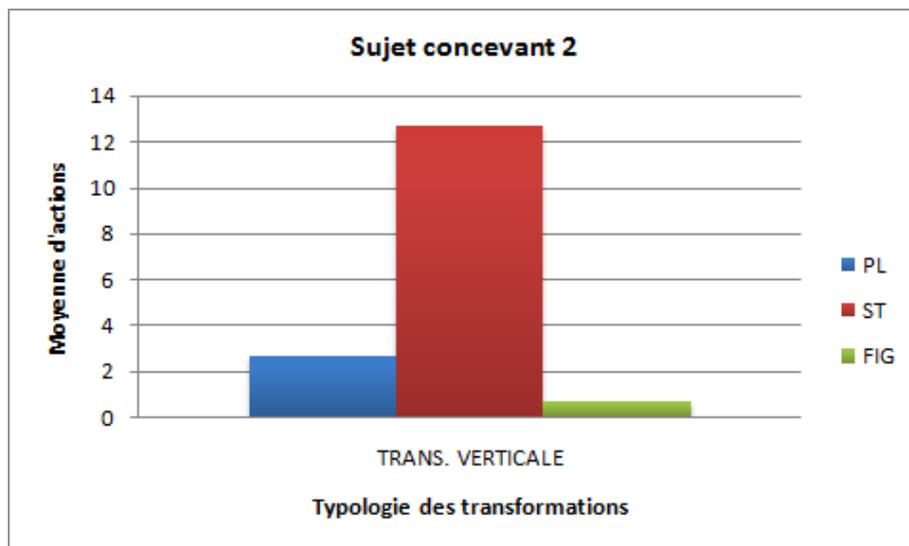
Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique

Ce niveau mesure la moyenne d'occurrence des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez les deux sujets concevants. Les résultats de cette opération sont exprimés au niveau des graphes 35 et 36, ci-dessous.

Les résultats révèlent que les types de transformations verticale et latérale sont constitués des trois catégories d'actions de transformation plastique, structurale et figurative. La différence réside cependant au niveau de la moyenne d'occurrence de celles-ci. En effet, la fréquence des actions de transformation plastique et structurale est plus élevée au niveau des transformations latérales, contrairement à la catégorie d'actions de transformation figurative, dont la fréquence la plus forte se situe au niveau des transformations verticales. Ceci est justifié par le fait que la transformation verticale, permet de développer une version plus détaillée de la même idée d'où la fréquence élevée des actions de transformation figurative sollicitées pour détailler et visualiser le développement de celle-ci.



Grphe 35 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant1.

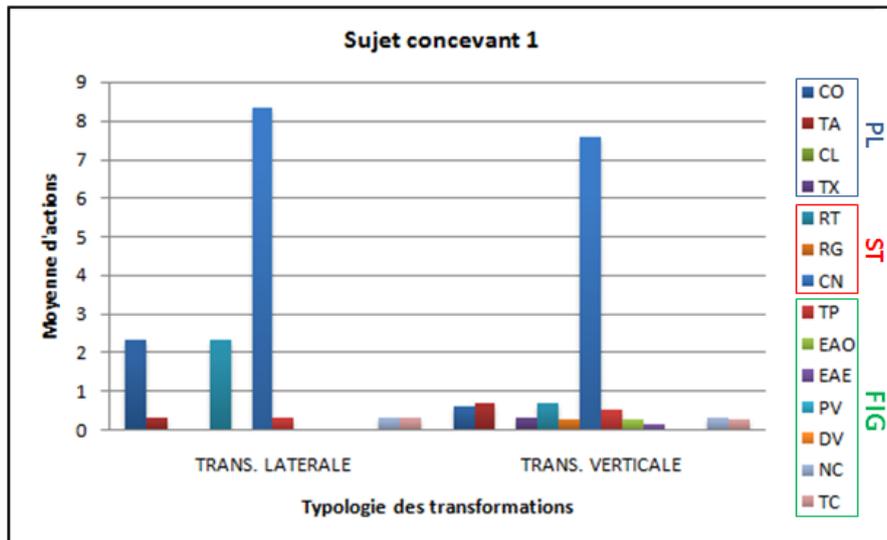


Grphe 36 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant2.

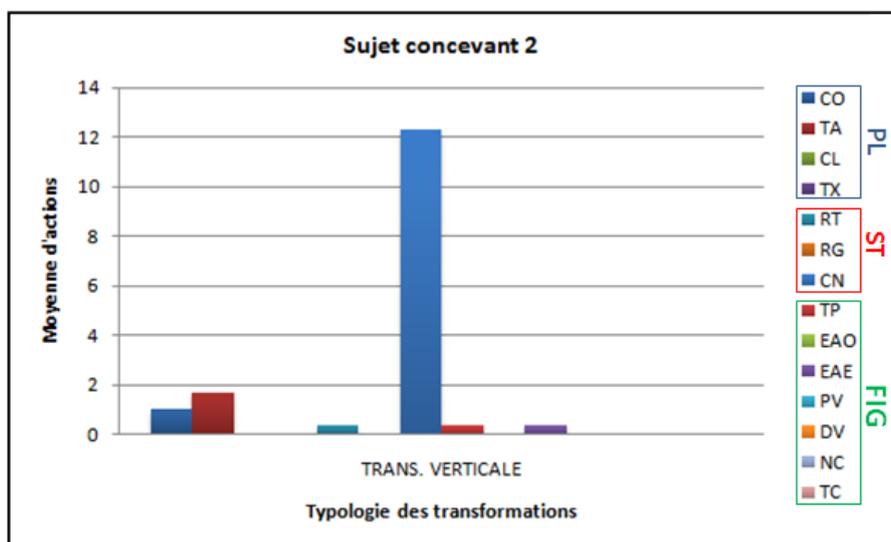
Les résultats montrent, par ailleurs, que la moyenne d'occurrence des actions de transformation figurative, au niveau des transformations verticales, est différente d'un sujet concevant à l'autre. En effet, elle est plus importante chez le sujet 1. Ceci confirme le fait que le sujet concevant 2 a sollicité les actions de transformation figurative juste pour extérioriser la solution retenue, alors que chez le sujet 1, elles sont mobilisées pour visualiser et détailler la solution afin de la valider. Ce constat confirme le fait que la solution proposée par le sujet 2, durant la tâche de conception, a été reprise à des situations de conception antérieures.

Niveau 3. Classe d'actions de transformation morphique

Nous avons également calculé la moyenne d'occurrence des actions de transformation morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez les sujets concevants 1 et 2 (graphe 37, 38)



Graphe 37 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant1.



Graphe 38 : Moyenne d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant2.

CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d'action/étage, **EAO** : espace d'action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.

Les résultats montrent que les transformations verticales sont constituées de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation morphique, contrairement aux transformations latérales, qui sont essentiellement composées de trois classes d'actions de transformation morphique. Il s'agit en l'occurrence des actions de transformation constitutive, de transformation de la conformation et des rapports topologiques. Ceci s'explique par la nature des transformations verticales qui sont opérées par le sujet concevant 1, dans le but de détailler, développer et visualiser les solutions retenues. On note, par ailleurs, que la fréquence respective, des trois classes d'actions, citées précédemment, est très importante au niveau de la transformation latérale en comparaison avec la transformation verticale. Ceci est dû à la nature des transformations latérales, qui sont principalement mises en œuvre, par le sujet concevant 1, pour explorer différentes relations spatiales entre les éléments de l'objet en conception, et à en modifier de façon importante la forme, l'aspect et la constitution.

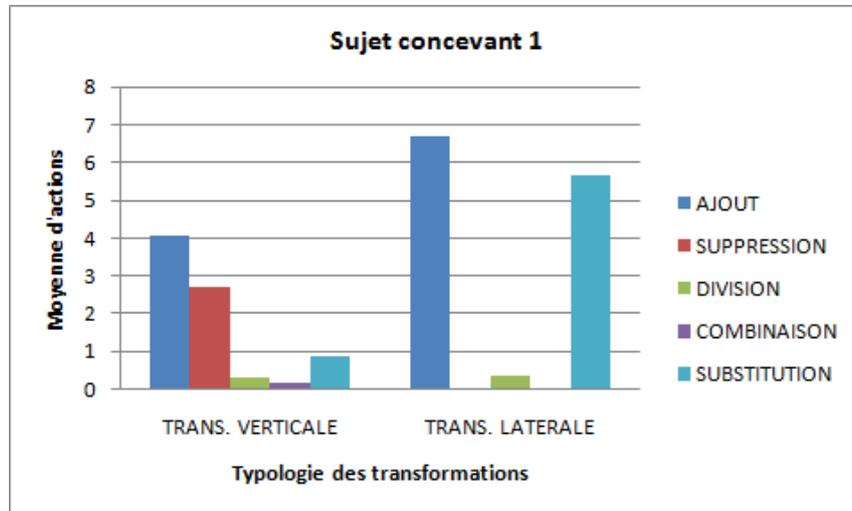
Les résultats révèlent également que les transformations verticales, chez le sujet concevant 1, sont constituées de la plupart des classes d'actions de transformation morphique contrairement au sujet 2. L'absence quasi-totale des classes d'actions de transformation figurative, chez ce dernier, ainsi que la faible présence des actions de transformation des rapports topologiques, montre que cette transformation a été mobilisée pour extérioriser une solution qui a été développée dans des situations de conception antérieures, alors que chez le sujet 1, elle est mise en œuvre pour visualiser, tester et détailler l'idée retenue, et en proposer plusieurs versions.

Niveau 4. Actions de transformation constitutive

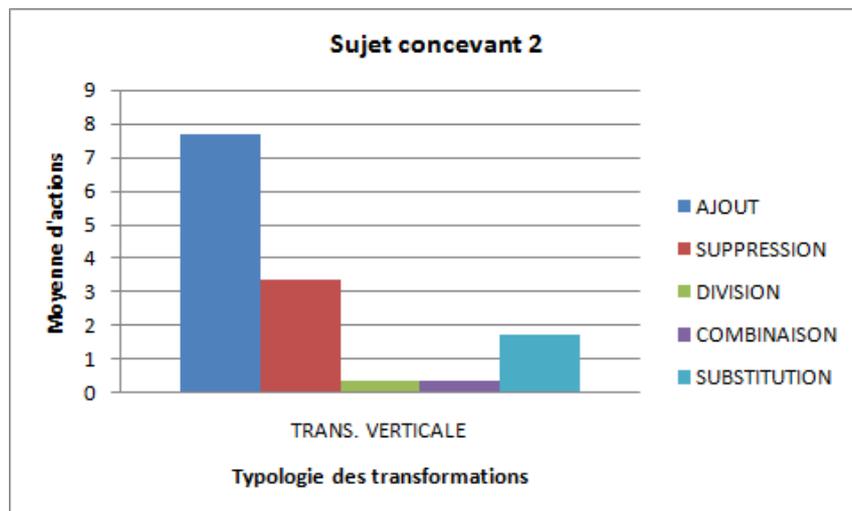
Nous avons à ce niveau, calculé la moyenne d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque type de transformation, chez les deux sujets concevants. Les résultats obtenus sont représentés au niveau des graphes 39 et 40 ci-dessous.

Les résultats montrent que les transformations verticales, chez les sujets concevants 1 et 2, ont une structure identique. On constate par ailleurs, chez le sujet 1, la présence de la quasi-totalité des actions de transformation constitutive, contrairement au type de transformation latérale, qui est essentiellement constitué des actions d'ajouts et de substitution. La fréquence élevée des actions d'ajout et de substitution au niveau des transformations latérales, est justifiée par l'utilité de celles-ci dans l'exploration des différentes alternatives de conception.

En effet, elles sont sollicitées pour engendrer des modifications radicales de la constitution et de la disposition de l'objet en conception, ce qui permet de développer des idées complètement différentes et variées.



Graphe 39 : Moyenne d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant 1.



Graphe 40 : Moyenne d'occurrence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque type de transformation, chez le sujet concevant 2.

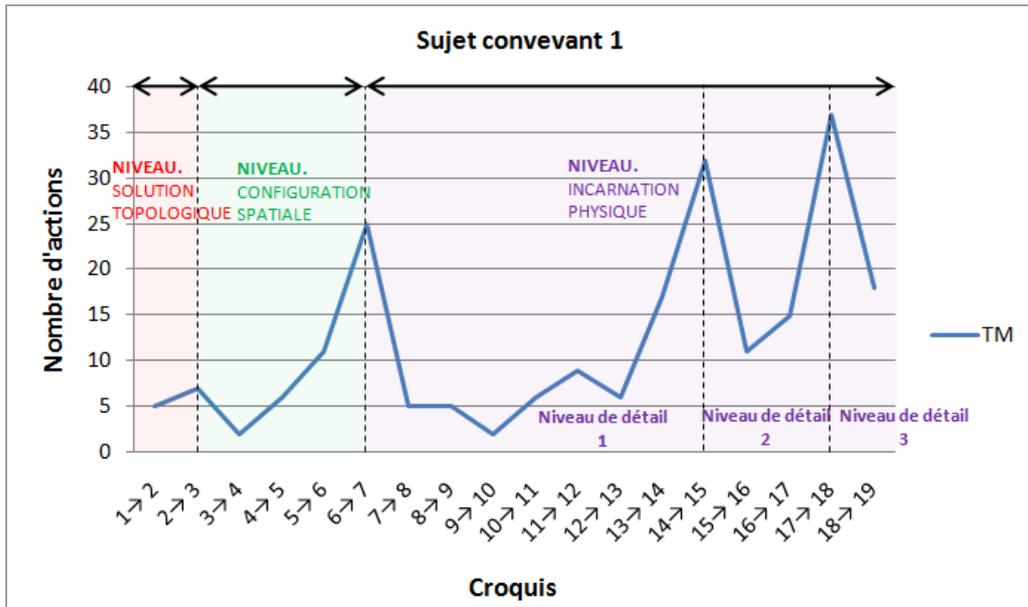
3.2.3.4. Niveaux d'abstraction

Une étude réalisée par Lui (2003) et soutenue par Prats (2006), suggère que l'activité de manipulation/ production morphique, passe par des stades qui correspondent à trois niveaux d'abstraction, dont le premier est baptisé "solution topologique". Il s'agit du niveau de la solution la plus abstraite. Il désigne le regroupement, la combinaison et la classification d'un

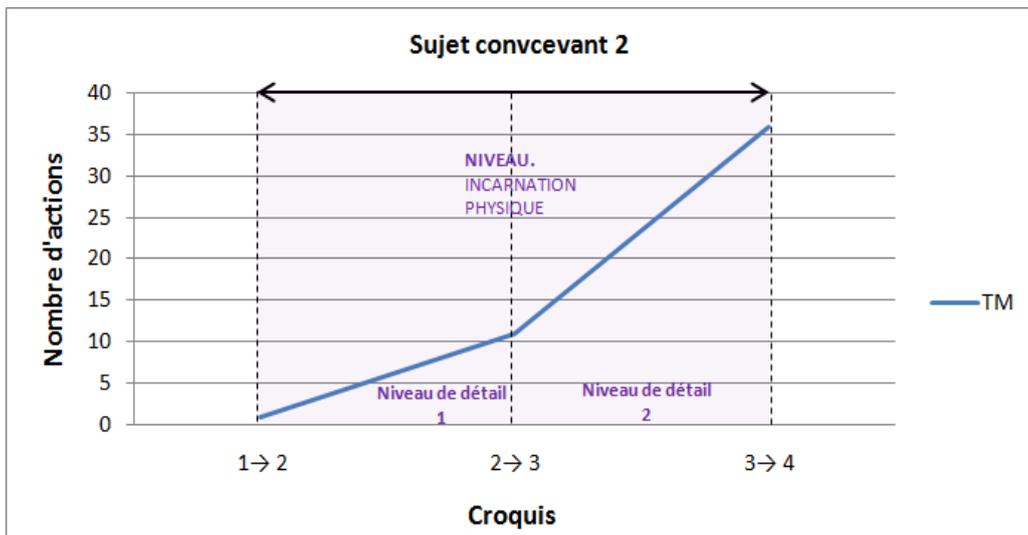
ensemble d'éléments de l'objet à concevoir, suivant une logique développée par le concepteur. Le deuxième niveau, est connu sous le nom de "configuration spatiale". Les solutions graphiquement figurées, fournissent à ce niveau plus d'informations que le niveau de la solution topologique. Le concepteur, s'y intéresse aux aspects de l'orientation et des rapports de positionnement entre les différents éléments constituant une solution. Le troisième niveau, est nommé "l'incarnation physique". Il est composé d'un ensemble d'éléments, de leurs assemblages et de leurs aspects sur le plan géométrique. Chaque élément ou assemblage présente une conformation approximative de la composante réelle. Ce niveau peut être étendu à d'autres niveaux de détail, des niveaux qui prennent en compte la conformation réelle des composants, des dimensions, etc.

En vue de dégager les caractéristiques de chaque niveau d'abstraction, nous avons mesuré la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, dans chaque niveau d'abstraction. Une fois les croquis, appartenant à chaque niveau, identifiés, chez les sujets concevants 1 et 2 (Graphe 41 et 42), nous avons calculé le nombre d'actions au niveau de chacun. Cette opération se compose de quatre étapes, qui correspondent aux quatre niveaux d'analyse préalablement définis. Ainsi, Le premier correspond aux actions de transformation morphique, le deuxième est celui des catégories d'actions, le troisième s'intéresse aux classes d'actions et enfin le quatrième niveau mesure la fréquence des actions de transformation constitutive, au niveau de chaque phase de conception, chez les deux sujets concevants.

L'analyse des données des deux sujets concevants, des croquis produits par chacun d'eux, ainsi que les enregistrements vidéo des tâches de conception, montre que le diagramme de l'évolution des actions de transformation morphique peut être décomposé selon les niveaux d'abstraction précédemment développés (graphe 41). Chez le sujet 1, Le premier niveau d'abstraction, débute à partir du premier croquis et se termine au niveau du troisième. Le deuxième niveau commence à partir du quatrième croquis et s'achève au niveau du sixième. Enfin, le troisième niveau, démarre à partir du septième croquis et s'arrête au niveau du dernier croquis. Il se compose de trois niveaux de détails. Le premier débute du croquis 7 jusqu'au 14ème. Le deuxième se compose des croquis 15, 16 et 17. Et enfin le troisième englobe les croquis 18 et 19. Concernant le sujet concevant 2, le diagramme, se compose d'une seule phase relative à un seul niveau d'abstraction, à savoir l'incarnation physique qui va du premier au dernier croquis (graphe 42).



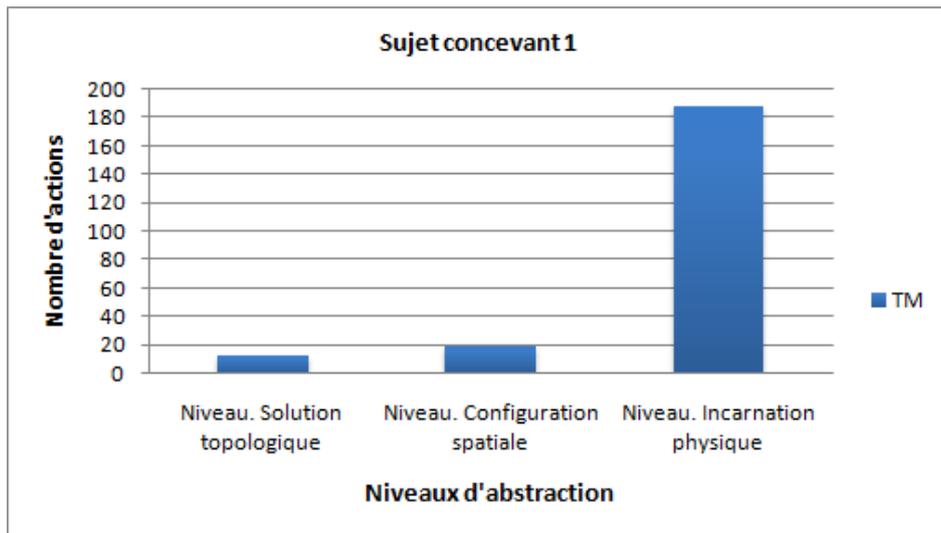
Graph 41 : Diagramme de l'évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, produits par le sujet concevant 1. Il révèle la situation des trois niveaux d'abstraction au sein du processus de conception, ainsi que leur longueur respective.



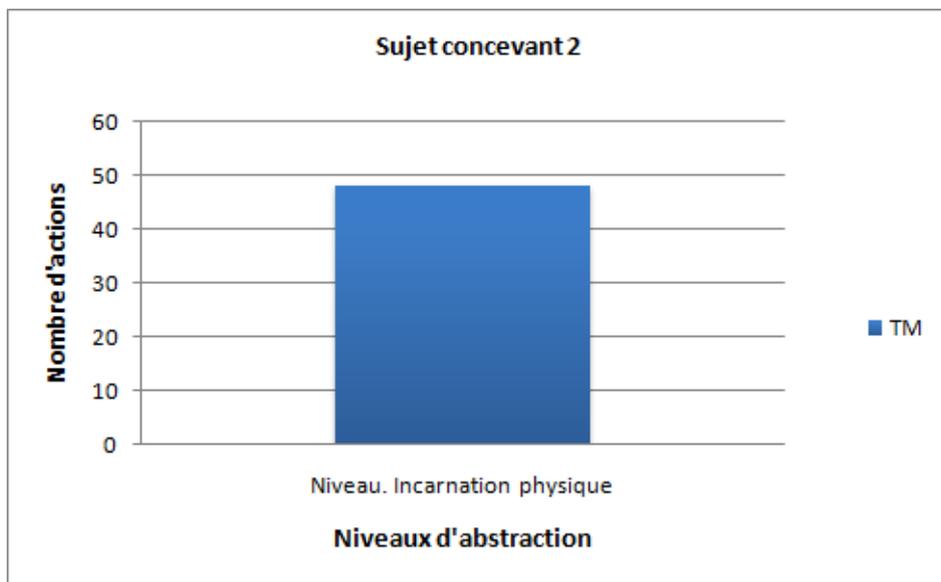
Graph 42 : Diagramme de l'évolution des actions de transformation morphique dans le temps, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2. Il révèle la situation des trois niveaux d'abstraction au sein du processus de conception, ainsi que leur longueur respective.

Niveau 1. Actions de transformation morphique

Ce niveau permet de mesurer la fréquence d'occurrence des actions de manipulation/production morphique, dans chaque niveau de conception, chez le sujets concevants 1 et 2. Les résultats obtenus sont enregistrés au niveau des graphes 43 et 44 ci-dessous.



Graphe 43 : Fréquence d’occurrence des actions de manipulation/ production morphique, calculée pour chaque niveau d’abstraction, chez le sujet concevant 1.



Graphe 44 : Fréquence d’occurrence des actions de manipulation/ production morphique, calculée pour chaque niveau d’abstraction, chez le sujet concevant 2.

Les résultats révèlent que la fréquence la plus importante des actions de transformation morphique, chez le sujet 1, se situe au niveau de l’incarnation physique, avec un total de 188 actions. Il équivaut à 85,84% du total des actions investies par le processus, Vient ensuite le niveau de la configuration spatiale avec de 19 actions. Ceci équivaut à 8,68% du nombre total des actions. Enfin arrive le niveau de la solution topologique, avec un total de 12 actions, qui équivaut à 5,48% du total des actions mobilisées par le sujet concevant 1.

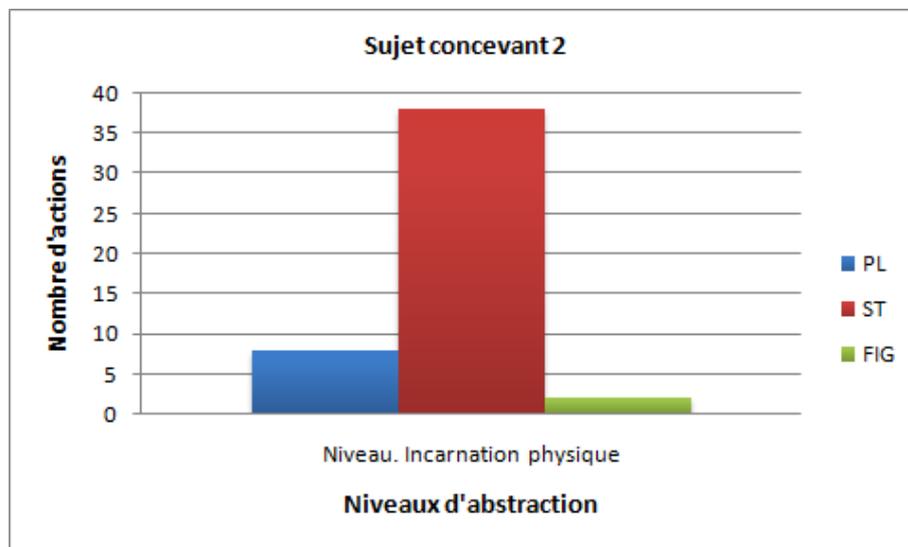
La forte sollicitation des actions de manipulation/ production morphique, au niveau de l’incarnation physique, chez le sujet concevant 1, s’explique par la longueur de celui-ci, par

rapport aux deux autres. En effet, le sujet 1, a produit trois croquis au niveau de la solution topologique et également trois au niveau de la configuration spatiale alors qu'il en a produit douze durant le niveau de l'incarnation physique.

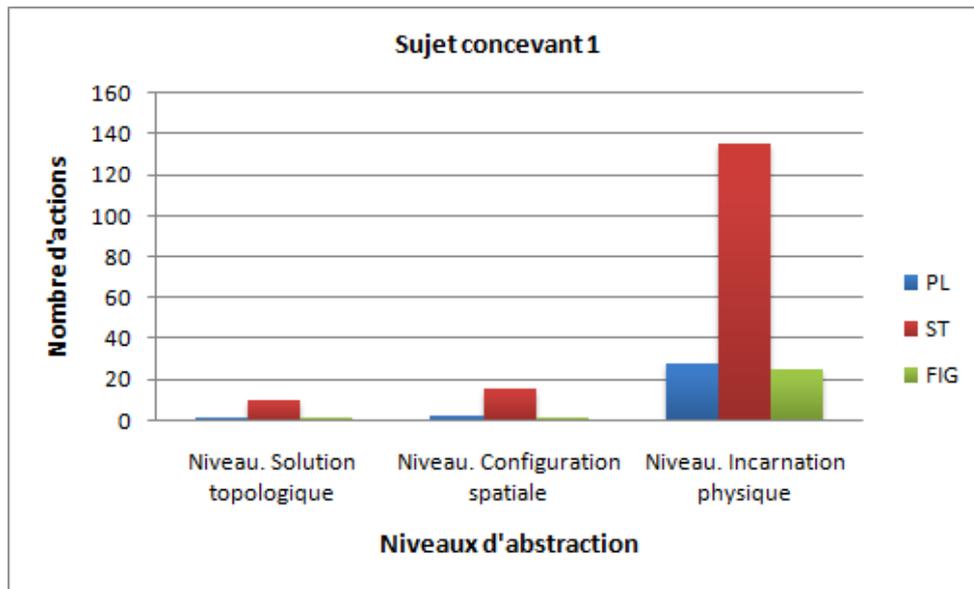
Ce résultat s'explique également par le fait que le sujet concevant 1 s'intéresse, durant les deux premiers niveaux d'abstraction à un seul problème à la fois. Il s'agit en l'occurrence, de la constitution de l'objet, durant la phase de la solution topologique et du positionnement des éléments, durant le niveau de la configuration spatiale. Au niveau de l'incarnation physique, durant lequel le sujet 1 traite au contraire plusieurs problèmes de conception, tels que la conformation, la taille, la constitution...etc. d'où la forte hausse des actions de manipulation/ production morphique à ce niveau.

Niveau 2. Catégories d'actions de transformation morphique

Le calcul de la fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, au niveau de chaque niveau d'abstraction, est réalisé pour les sujets concevants 1 et 2. Les résultats de cette opération sont enregistrés au niveau des graphes 45 et 46 ci-dessous.



Graphe 45 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1.



Graphe 46 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par catégorie d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2.

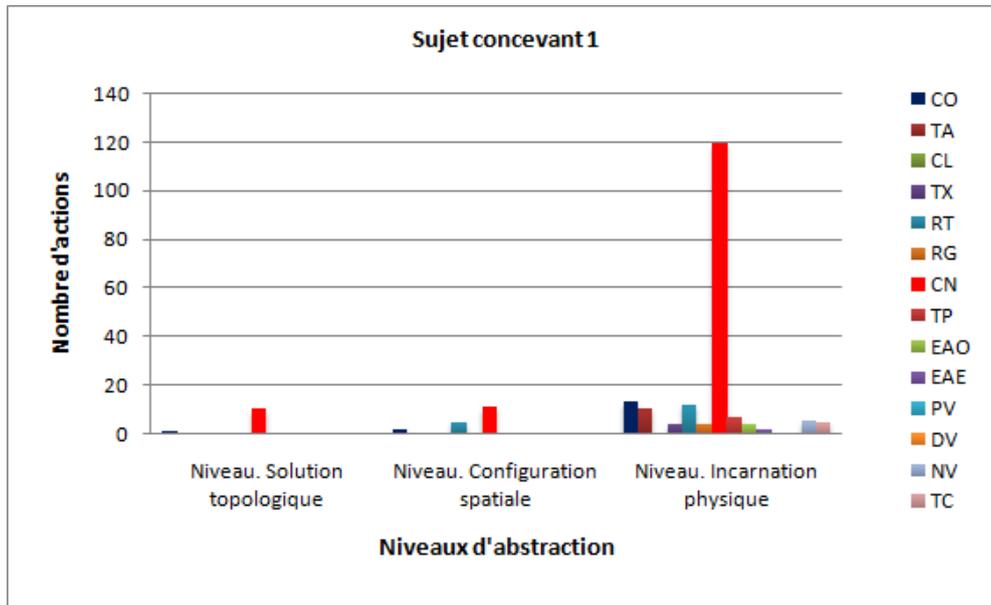
Les résultats montrent que les niveaux de la solution topologique et de la configuration spatiale, sont principalement composés des actions de transformation structurale. Ceci est dû au fait que le sujet 1 s'intéresse principalement, durant les deux premiers niveaux d'abstraction, à la constitution et à la disposition des éléments de l'objet en conception, sans prêter d'attention particulière à son aspect et à sa forme. Le niveau de l'incarnation physique connaît pour sa part, une forte présence des actions de transformation plastique, structurale et figurative. Ceci est dû au fait que le sujet concevant 1, porte une attention particulière, durant le niveau de l'incarnation physique, aux détails, à la conformation et à l'aspect de l'objet en conception, et développe plusieurs versions de la solution retenue, qui correspondent aux trois niveaux de détails (graphe 41, p. 127). D'où la hausse à la fois des actions de transformation plastique, structurale et figurative.

La dissemblance enregistrée au niveau de la catégorie d'actions de transformation figurative, durant le niveau de l'incarnation physique, entre les deux sujets concevants, s'explique par le fait que le sujet 2, contrairement au sujet 1, a repris une solution architecturale qui a été proposée dans des situations de conception antérieures. D'où l'absence quasi-totale des actions de transformation figurative, dont le but, durant ce niveau, est de tester et de détailler les solutions morphiques relatives à la conformation et à la taille des éléments qui constituent l'objet en conception.

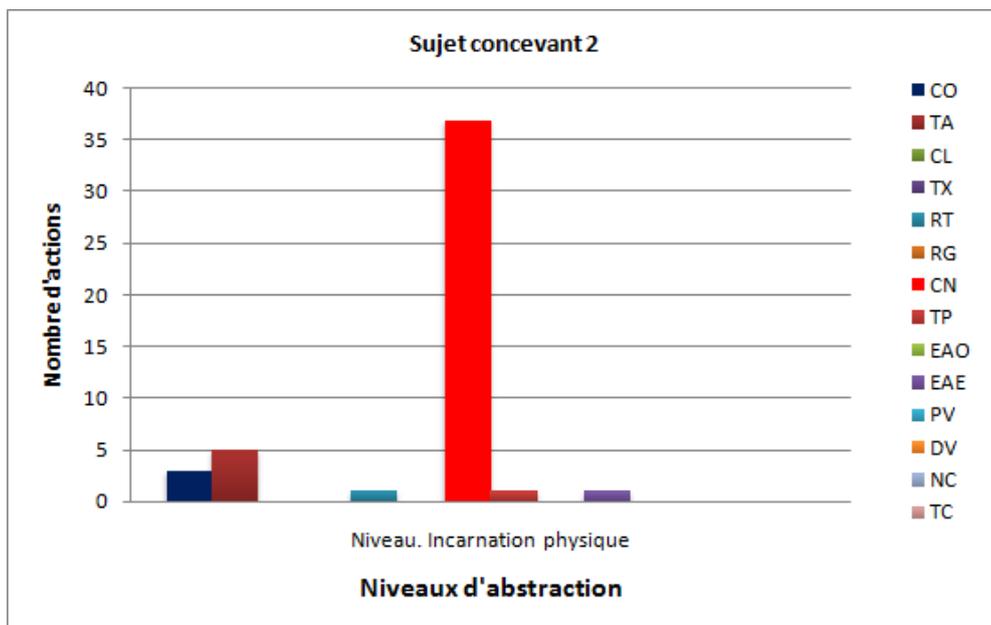
Niveau 3. Classes d'actions de transformation morphique

Ce niveau mesure la fréquence d'occurrence des actions de transformation morphique, par

classe d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez les deux sujets concevants. Les résultats de cette opération sont exprimés au niveau des graphes 47 et 48 ci-dessous.



Graphe 47 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1.



Graphe 48 : Fréquence d'occurrence des actions de manipulation/ production morphique, par classe d'actions, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2.

CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d'action/étage, **EAO** : espace d'action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.

Les résultats révèlent que le niveau de la solution topologique, chez le sujet 1, est essentiellement constitué des actions de transformation constitutive. On note également l'apparition des actions de transformation des rapports topologiques durant le niveau de la configuration spatiale. On constate par ailleurs, la présence de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation plastique, structurale et figurative durant le niveau d'incarnation physique. La présence exclusive des actions de transformation constitutive durant le niveau de la solution topologique, confirme que le sujet y traite un seul problème qui est celui de la constitution de l'objet en conception. Il y positionne et regroupe les espaces de l'énoncé de la tâche de conception en deux niveaux, sans prêter une quelconque attention à leurs formes et aux rapports topologiques entre eux. L'apparition des actions de transformation topologique, durant le niveau de la configuration spatiale, montre que le sujet 1, est désormais en train d'explorer le positionnement des différents éléments de l'objet en conception et leurs relations spatiales. La fréquence importante, durant le niveau de l'incarnation physique, des classes d'actions de transformation plastique (conformation, taille, texture), des actions de transformation constitutive et des actions de transformation figurative (type de présentation, niveaux de complexité,...etc.), prouve que le sujet 1, est en train d'explorer des solutions relatives à la forme et à l'aspect des éléments qui constituent l'objet en conception, et de rajouter des détails en passant d'un niveau de détail à l'autre.

L'absence quasi-totale des classes de transformation figurative, chez le sujet concevant 2, montre qu'il n'a pas eu besoin de visualiser la solution retenue afin de la valider. Ceci nous fait penser encore une fois que le sujet concevant 2, reproduit une solution architecturale qui a été développée dans des situations de conception antérieures. Ce fait est d'autant plus confirmé par l'absence des deux premiers niveaux d'abstraction qui sont utilisés par le sujet 1 essentiellement pour concevoir ses plans et sa configuration spatiale.

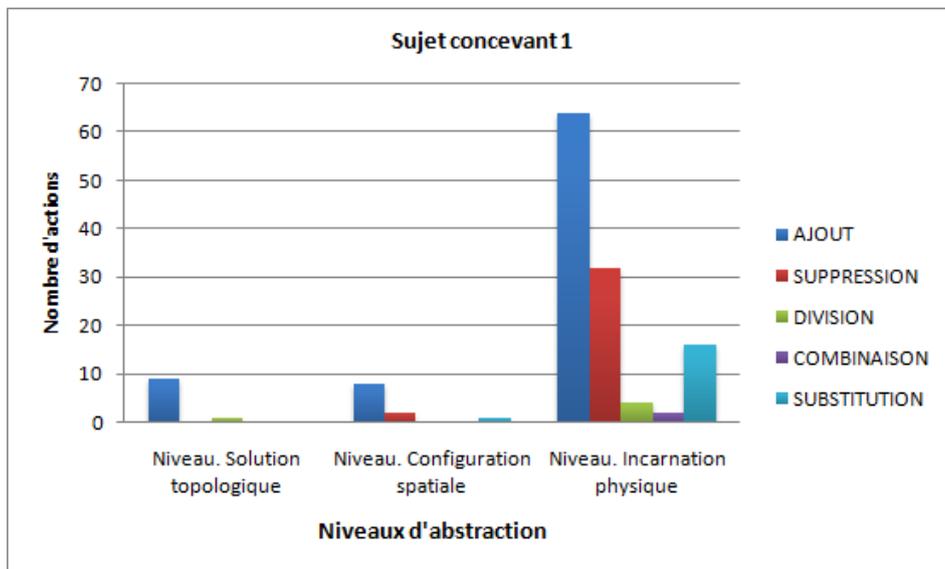
Niveau 4. Actions de transformation constitutive

Nous avons également mesuré à ce niveau, la fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, durant chaque niveau d'abstraction, chez les deux sujets concevants. Les résultats de cette opération sont enregistrés au niveau des graphes 49 et 50, ci-dessous.

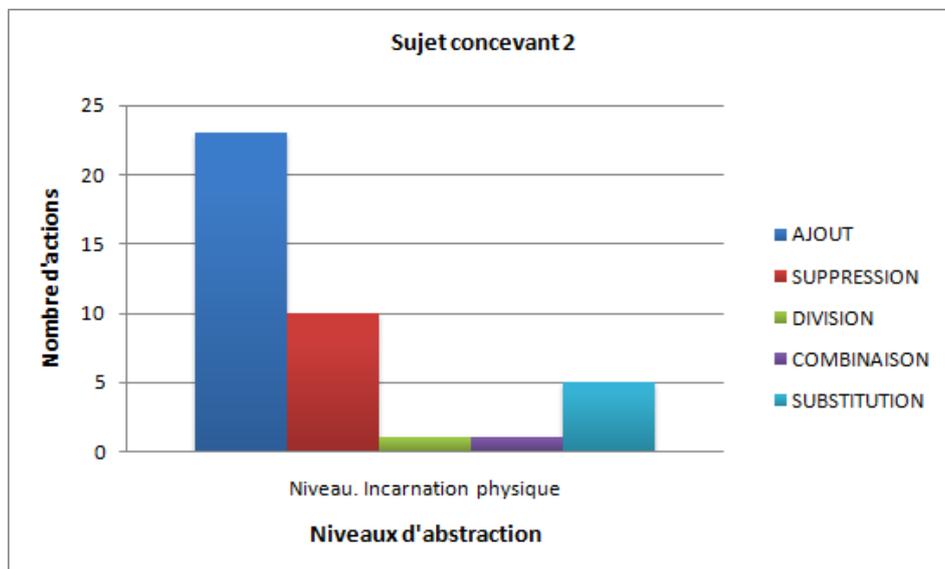
Les résultats montrent que le niveau de l'incarnation physique, chez les sujets concevants 1 et 2, possède la même structure. On y constate l'apparition de la quasi-totalité des actions de transformation constitutive, contrairement au niveau à la fois de la solution topologique et de

la configuration spatiale, qui sont essentiellement constitués des actions d'ajout. Ceci s'explique par l'intérêt du sujet 1 aux détails durant la phase de l'incarnation physique.

La dissemblance enregistrée au niveau de la fréquence des actions d'ajout, durant le niveau de l'incarnation physique, chez les sujets concevants 1 et 2, est dûe à la différence dans le nombre de versions de chaque idée retenue, chez chacun des deux sujets.



Graphe 49 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 1.



Graphe 50 : Fréquence d'occurrence des actions de transformation constitutive, dans chaque niveau d'abstraction, chez le sujet concevant 2.

3.2.3.5. Les stratégies de conception

Le travail de Damle (2009) a permis de mettre à jour, deux stratégies de conception, connues sous le nom de « stratégie de conception en ampleur » et « stratégie de conception en profondeur », de l'anglais « breadth-first design strategy » et « depth-first design strategy ». En utilisant la première stratégie de « conception en ampleur », le concepteur esquisse la forme globale de l'objet, puis il revient aux composants individuels, pour modifier leurs aspects et conformations, en leurs ajoutant des détails. Il revient à un composant laissé précédemment, en vue, d'y apporter des modifications, après avoir complété la totalité ou une partie d'un autre composant. Pour être efficace, le concepteur a besoin de dessiner une ébauche de la forme globale de l'objet, pour l'aider à le visualiser, avant d'affiner le contour d'un composant, ou d'y incorporer des détails. Ainsi, on s'attend, à ce que le concepteur termine seulement l'esquisse minimale nécessaire pour chaque composant, avant de le quitter pour la première fois. La deuxième stratégie, en l'occurrence celle de la « conception en profondeur », suggère que le concepteur commence par concevoir des parties spécifiques du projet avant d'esquisser la forme globale de l'objet en conception (Damle, 2009).

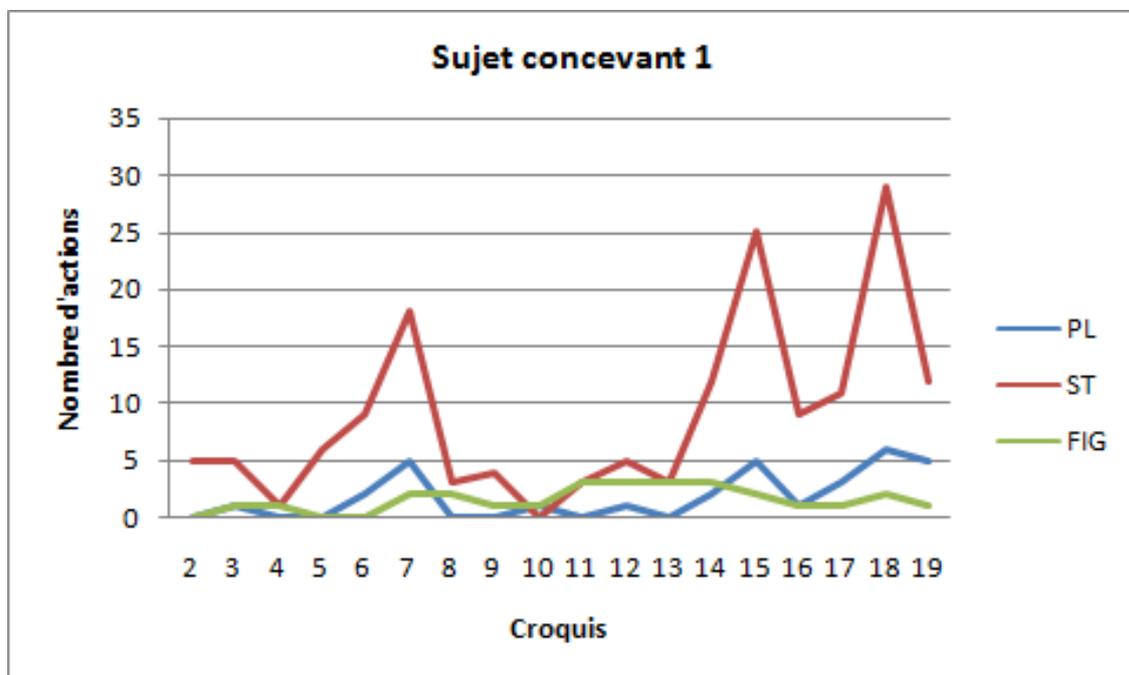
Les résultats des graphes qui représentent l'évolution dans le temps des actions de transformation morphique, ainsi que l'analyse détaillée des croquis générés par les deux sujets concevants, suggèrent que les deux sujets, ont adopté deux stratégies de conception différentes.

En vue de dégager les caractéristiques propres à chaque sujet, nous avons représenté l'évolution dans le temps, des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, chez les sujets concevants 1 et 2 (graphe 51 et 52).

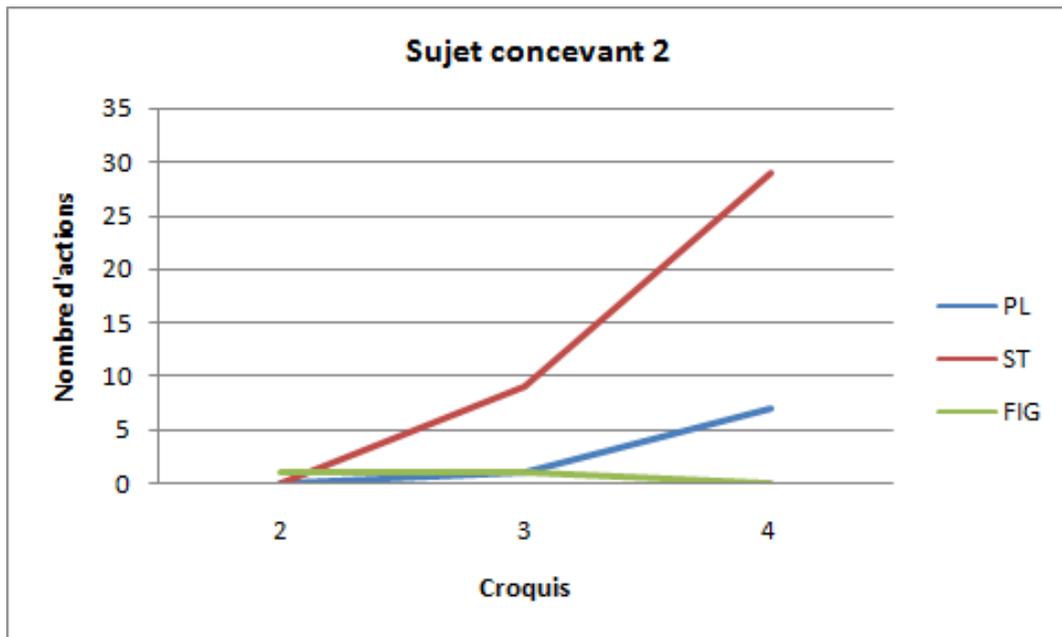
Les résultats montrent que la présence, à la fois, des actions de transformation plastique, structurale et figurative est très faible au début du processus de manipulation production/morphique, chez le sujet concevant 1, alors qu'elles subissent une hausse importante à mesure qu'il s'approche du terme de la tâche de conception. Chez le sujet 2, les différentes catégories d'actions connaissent une hausse relativement importante dès les premiers croquis.

Ceci montre que le sujet 1 adopte la stratégie de conception en ampleur. C'est pourquoi il y'a une présence négligeable des actions de transformation plastique et figurative au début du processus, qui correspond aux phases préliminaires de l'activité de conception, et une apparition relativement importante de celles-ci vers la fin du processus, qui est celle du

raffinement des solutions relatives à l'objet en conception. La catégorie d'actions de transformation structurale, quant à elle, est présente à partir des premiers croquis générés et subit une hausse importante vers la fin de l'activité de manipulation/ production morphique. Le sujet concevant 1 commence en effet par dessiner des croquis relativement sommaires et approximatifs de la forme globale et de l'objet en conception, sans prêter d'attention particulière à l'aspect final des éléments qui le constituent car il est en train d'explorer différentes solutions et alternatives relatives à la constitution de l'objet en conception, et au positionnement des éléments qui le composent. Une fois l'exploration arrêtée et la solution formulée, le sujet s'intéresse à la conformation et l'apparence de l'objet, en modifiant ses contours et en rajoutant des détails et des éléments architecturaux tels que des (portes, fenêtres et bacs à fleurs). D'où la hausse considérable des actions de transformation plastique, structurale et figurative. Alors que, la stratégie de conception en profondeur, adoptée par le sujet 2, se caractérise par l'apparition précoce des actions de transformation plastique, structurale et figurative. En effet, Le sujet 2 dessine des croquis détaillés, au niveau desquels on constate l'apparition d'éléments architecturaux, tels que l'épaisseur des murs, portes et fenêtres. Ceci signifie qu'il prête une attention particulière à la conformation de l'objet et aux détails.

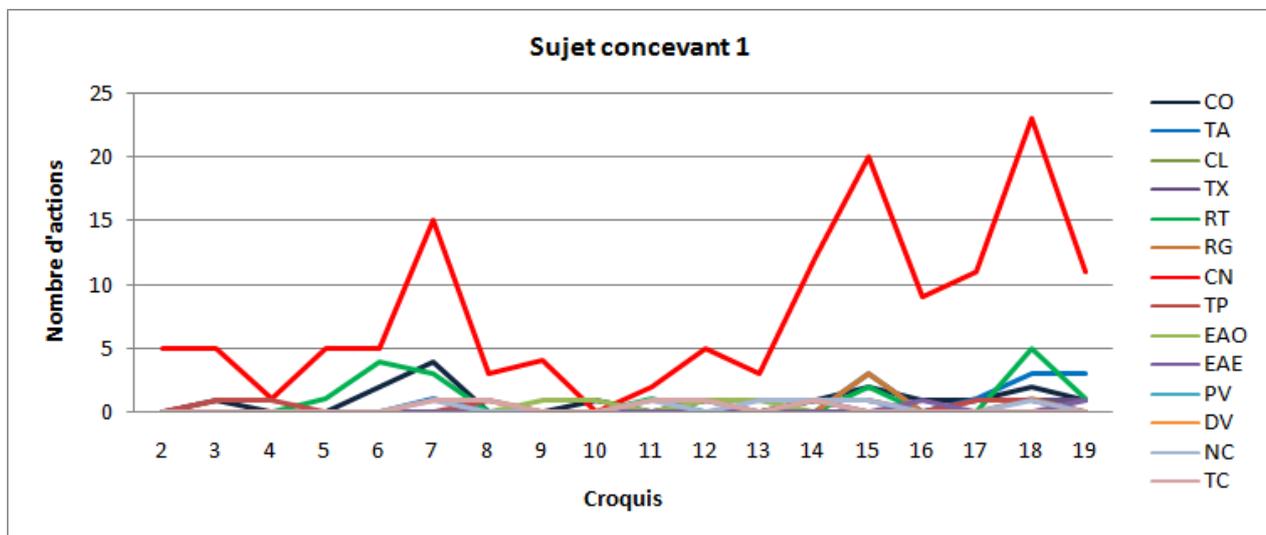


Graphe 51 : Évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par catégorie d'actions, entre les différents croquis, générés par le sujet concevant 1.



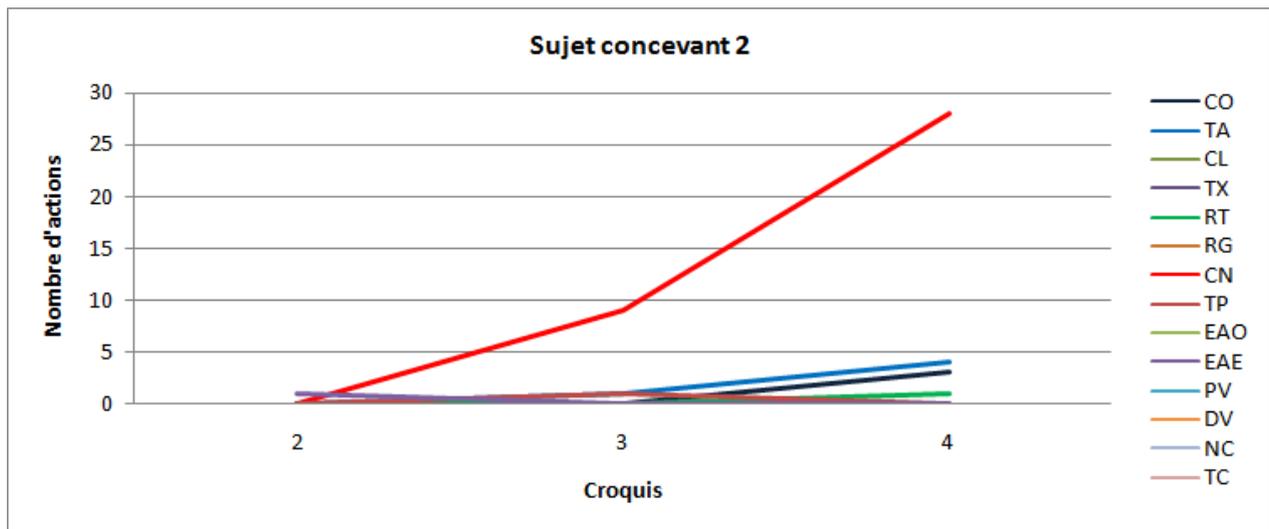
Graph 52 : Évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par catégorie d’actions, entre les différents croquis, produits par le sujet concevant 2.

Nous avons également mesuré l’évolution des actions de transformation morphique, par classe d’actions, chez les sujets concevant 1 et 2. Les résultats obtenus sont représentés au niveau des graphes 53 et 54 ci-dessous.



Graph 53 : diagramme de l’évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par classe d’actions, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 1.

CO : conformation, **TA** : taille, **CL** : couleur, **TX** : texture, **RT** : rapports topologiques, **RG** : rapports géométriques, **CN** : constitutives, **TP** : type de présentation, **EAE** : espace d’action/étage, **EAO** : espace d’action/objet, **PV** : point de vue, **DV** : direction de vue, **NC** : niveau de complexité, **TC** : taille croquis.



Graph 54 : diagramme de l'évolution, dans le temps, des actions de transformation morphique, par classe d'actions, entre les différents croquis consécutifs, générés par le sujet concevant 2.

Les résultats révèlent que la classe des actions de transformation constitutive est dominante, vers le début du processus du sujet concevant 1. On y note par ailleurs une hausse considérable des actions de transformation constitutive ainsi que l'apparition de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation plastique (conformation, taille, texture) et des classes d'actions de transformation figurative (type de représentation, niveau de complexité, taille du croquis) vers la fin du processus. Chez le sujet concevant 2, les classes d'actions de transformation structurale (actions de transformation constitutive et des rapports topologiques), plastique (conformation et taille) et figurative (changement de représentation, espace d'action/étages), sont présentes dès les premiers croquis générés.

Ceci confirme les résultats développés au niveau précédent (les niveaux d'abstraction) et permet, encore une fois, d'expliquer le mode opératoire du sujet concevant 1. En effet, durant la stratégie de conception en ampleur, le sujet 1, se concentre au début du processus, sur la forme globale de l'objet. Ceci explique la présence négligeable des classes d'actions de transformation plastique et figurative, au début du processus, qui sont principalement sollicitées pour détailler, raffiner et visualiser les solutions morphiques développées par le sujet concevant. Ces classes d'actions ainsi que celles des actions de transformation structurale, ont connu une hausse considérable à mesure que l'on s'approche du terme de la tâche de conception. Le sujet concevant 1, porte désormais plus d'attention aux détails des croquis générés. Il y ajoute de nouveaux éléments architecturaux tels que, ouvertures, portes et mobilier et y apporte des modifications aux niveaux des contours et de la taille de ces

derniers. En ce qui concerne le sujet 2, on note la présence des actions de transformation plastique telles que celles de transformation de la conformation et de la taille, ainsi que les actions de transformation figurative à savoir, celles du changement du type de représentation et de l'espace d'actions/ étages. Ceci est dû à la manière dont les formes sont générées et manipulées chez le sujet 2, qui consiste à reproduire une maison individuelle type et tenter d'y apporter des modifications superficielles qui touchent à la conformation des éléments qui la constituent, tout en gardant la même constitution.

Conclusion

L'investigation menée par le présent travail vise à répondre aux questions de recherche abordées dans l'introduction : a) Quelle est la logique de manipulation des formes durant le processus de production morphique? b) Comment se fait le passage d'une conformation morphique à une autre durant ce processus? c) Quelles sont les actions de conception qui permettent le déploiement du processus?

1. Élaboration et validation du modèle des actions de transformations morphique

La troisième de ces questions est abordée par la formalisation des transformations de forme, opérées par les sujets concevants, lors de l'activité de conception, en actions de manipulation de forme. Ces actions fournissent un moyen pour décrire la manière dont les concepteurs procèdent pour générer des formes et explorer des alternatives de conception. L'activité de manipulation/ production morphique peut être décrite selon un nombre limité d'opérations générales ou catégories d'actions de transformation morphique. Elles sont au nombre de trois : actions de transformation Plastique, structurale et figurative. (Voir chapitre 2 ; tableau10).

Ainsi, l'analyse menée par le présent travail indique que le processus de manipulation/ production morphique peut être décrit par le biais d'un modèle permettant de rendre compte des différentes transformations de forme, opérées par les sujets concevants. Il comprend un nombre limité d'actions de transformation morphique. La codification, ici opérée, montre que toutes les actions, catégories et classes d'actions de transformation morphique identifiées, sont nécessaires et suffisantes pour une description exhaustive du processus de manipulation/ production morphique.

2. Logiques de la manipulation des actions de transformation morphique

Le modèle des actions de transformation morphique élaboré par le présent travail offre également un moyen pour aborder les deux premières questions de recherche. Avec les transformations de forme formalisées selon des catégories et des classes d'actions de transformation morphique, il est possible de définir des données quantitatives qui peuvent être utilisées pour comprendre les logiques et déceler les différents mécanismes, approches et stratégies adoptées par les différents sujets concevants durant le processus de manipulation/production morphique. Ce travail montre que :

L'activité de manipulation/production morphique est essentiellement structurale. Les résultats montrent que la catégorie d'actions la plus sollicitée, chez les deux sujets concevants, est celle des actions de transformation structurales, et au sein de celles-ci, les actions de transformation constitutive.

La correspondance du modèle des actions de manipulation/production morphique, élaboré par la présente étude, avec les différents niveaux de conception, a permis de dégager les caractéristiques propre à chaque niveau, et ainsi, à mettre la lumière sur les différentes logiques et les mécanismes qui régissent l'activité de manipulation des formes par les différents sujets concevants. Celle-ci montre, en effet, que la mobilisation des actions de transformation morphique identifiées, dépend de l'intention du sujet concevant dans chaque niveau de conception. Les résultats révèlent que :

La phase de manipulation/production morphique est composé de deux moments importants, chez les deux architectes participants. Le premier est ce lui de la visualisation. Il est caractérisé par une faible sollicitation des actions de transformation morphique. Il se divise en deux types. La visualisation de la phase de conception schématique, caractérisée par une faible présence des actions de transformation figurative, est de nature exploratoire. Elle sert à extérioriser des idées relatives aux problèmes de conception. Tandis que, la visualisation de la phase de conception raffinée, qui se distingue par la présence relativement forte des actions de transformation figurative, est de nature à détailler la solution retenue. Le second moment est celui de la transformation. Il est marqué par une forte utilisation des actions de transformation morphique. Il en existe également deux types. La transformation opérée durant la phase de conception schématique, sert à produire à partir des idées générées, différentes solutions et

alternatives de conception. Alors que la transformation de la phase raffinée et détaillée est mise en œuvre afin de proposer plusieurs versions du même objet en conception.

L'activité de manipulation/ production morphique se compose de deux phases. La première est connue sous le nom de phase de conception schématique ou conceptuelle. Elle se caractérise par la forte sollicitation des actions de transformation structurale, qui sont essentiellement des actions de transformation constitutive et des rapports topologiques. Le sujet concevant explore, durant cette phase, différentes idées et alternatives relatives à la constitution et au positionnement des espaces et éléments de l'objet en conception. La deuxième quant à elle, est celle de la phase de conception raffinée et détaillée. Elle est marquée par la hausse importante des actions de transformation constitutive, qui sont essentiellement des actions d'ajout, et l'utilisation intensive des classes d'actions de transformation plastique et figurative. C'est durant cette phase, que le sujet concevant s'intéresse à la forme réelle et aux détails de l'objet en conception et opère des modifications qui affectent sa plastique. Il y développe différentes versions de la même idée et les détaille par le biais de la figuration afin de les tester et de les évaluer.

Le processus de manipulation des formes, chez les différents sujets concevants, passe par des stades qui correspondent aux différents niveaux d'abstraction. Le premier est celui de la solution topologique. Il est essentiellement composé des actions de transformation structurale, qui sont principalement des actions de transformation constitutive. Le sujet concevant y explore différentes pistes idéelles relatives seulement à la constitution de l'objet. Il regroupe les éléments qui constituent l'objet en conception suivant une logique propre à lui. Le deuxième connu sous le nom de configuration spatiale, se caractérise par l'apparition importante des actions de transformation des rapports topologiques. Le sujet concevant y explore différentes solutions relatives au positionnement des éléments de l'objet en conception. Et enfin le dernier est celui de l'incarnation physique. Il se distingue par l'apparition importante des actions de transformation plastique, figurative et structurale qui sont essentiellement des actions d'ajout. Ceci est dû au fait que le sujet concevant s'intéresse à l'aspect des éléments et aux détails de l'objet.

L'activité de manipulation/production morphique est composée de deux types de transformation à savoir, la transformation latérale et la transformations verticale. Les transformations latérales se caractérisent par la présence importante des actions de transformation plastique et structurale et l'absence quasi-totale des actions de transformation

figurative. Les transformations plastiques et structurales opérées sont essentiellement des actions de transformation de la conformation, de la constitution et du positionnement. Le sujet concevant y mobilise ce type d'actions pour passer d'une idée à une autre complètement différente, et apporter ainsi des modifications radicales au niveau de la constitution, de la configuration et de l'aspect de l'objet en conception. Les transformations verticales quant à elles, se distinguent par la présence relativement faible des actions de transformation plastique et structurale, et l'apparition importante de la quasi-totalité des actions de transformation figurative. Le sujet concevant y détaille et y visualise la même idée, ce qui engendre des modifications infimes qui touchent la conformation de l'objet en conception, contrairement aux transformations latérales.

Le travail de manipulation des formes, chez les sujets concevants, est composé de deux stratégies de conception. La première baptisée stratégie de conception en ampleur, se caractérise par la présence des actions de transformation structurale, ainsi que l'absence quasi-totale des actions de transformation plastique et figurative vers le début du processus. Celles-ci connaissent une hausse importante à mesure que l'on s'approche du terme de la tâche de conception. Ceci s'explique par le fait que le sujet concevant s'intéresse au niveau des premiers croquis générés, à la constitution globale et la forme approximative de l'objet en conception sans porter d'attention particulière aux détails. Il revient aux détails de l'objet une fois les solutions relatives à sa constitution arrêtées. D'où la hausse importante des actions plastiques et figuratives. La deuxième est celle de la stratégie de conception en profondeur. Elle est marquée, contrairement à la première stratégie, par la présence importante des actions de transformation plastique et figurative dès les premiers croquis produits par le sujet concevant. Ceci est dû à l'intérêt précoce de ce dernier pour les détails, la conformation et l'aspect de l'objet en conception.

Les résultats des analyses menées par le présent travail, suggèrent que l'expérience respective des deux sujets concevants, dans le domaine de la conception des maisons individuelles, a eu un impact considérable sur leur mode de sollicitation des actions de transformation morphique. En effet, le taux très faible des actions de transformation figurative chez le sujet 2, montre que c'est un architecte expérimenté. C'est pourquoi, il n'a pas besoin de générer un nombre important de croquis afin de développer, visualiser, évaluer et valider les solutions morphiques de l'objet en conception. Contrairement au sujet1, qui est un architecte novice.

Les résultats obtenus suggèrent également que le sujet concevant 2, a reproduit une idée qui a été proposée dans des situations de conception antérieures. Ceci est confirmé par l'absence quasi-totale des actions de transformation figurative, la nature et le nombre très réduit des croquis générés, ainsi que l'absence de la phase de conception exploratoire et schématique du processus de ce dernier.

Le nombre important des actions de transformation morphique, chez le sujet concevant 1, au niveau des plans du rez-de-chaussée, suggèrent que l'essentiel de la manipulation des formes se situe au niveau de ces derniers. En effet, la baisse importante des actions de transformation plastique et structurale au niveau des plans du premier étage et des façades, montrent que les solutions développées au niveau de ces derniers ne sont que les projections des solutions morphiques proposées au niveau des plans du rez-de-chaussée. Tandis que chez le sujet concevant 2, le nombre important des actions au niveau des façades suggère que cet architecte reproduit le même plan et tente simplement de modifier une façade type pour essayer de donner non pas un projet différent mais une image différente du même projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette dernière partie, nous rappelons les grandes lignes de la démarche utilisée dans la présente recherche. Nous citerons, à cet effet, les éléments essentiels de la problématique : objectifs poursuivis, cadres épistémologique et théorique, démarche méthodologique, mode de déploiement de l'expérimentation ainsi que les principaux résultats. Nous faisons enfin ressortir les limites de notre étude pour proposer, par la suite, quelques pistes de recherche futures qui pourraient prolonger ce travail.

La présente recherche prend sa source dans une préoccupation qui anime plusieurs penseurs et chercheurs dans différents domaines de recherche sur l'activité de conception architecturale, elle s'inscrit dans la sphère épistémologique des sciences de la conception d'où ses apports cognitifs divers à la fois théoriques et méthodologiques. Elle a pour objectif l'étude des transformations de forme, opérées par les architectes, pendant la phase conceptuelle du processus de conception architecturale. Elle s'intéresse à la manière dont les formes sont produites par les sujets concevants et transformées pendant le microprocessus de manipulation morphique. Elle fait le projet de comprendre les mécanismes et de déceler les logiques qui régissent ces transformations. Elle part du principe que la manipulation/ production morphique peut être décrite par le biais d'un modèle qui comprend un nombre limité d'actions de transformation morphique. Ces objectifs ont un rapport direct avec les prédictions spécifiques (hypothèses) et visent à répondre aux questions soulevées lors de l'introduction de la présente étude : a) Quelles sont les actions de conception qui permettent le déploiement du processus de production morphique? Et b) Quelle est la logique de manipulation des formes durant ce processus? Dans le but d'apporter des réponses aux interrogations développées par ce travail, le présent mémoire se compose de trois (03) chapitres.

Le premier chapitre traite de la méthodologie de recherche, en l'occurrence, l'analyse des recueils d'observations. Il définit cette dernière et donne un aperçu général sur son historique et ses différents types d'approches et techniques. Il aboutit à la méthode d'analyse adoptée par cette recherche et propose le protocole d'analyse préconisé. Le deuxième chapitre se consacre à la présentation du modèle élaboré par la présente étude en vue d'étudier les actions de transformation morphique du processus de manipulation/ production morphique de l'activité de conception architecturale. Le troisième chapitre est une projection du protocole

élaboré, au deuxième chapitre, sur les recueils d'observation des deux sujets concevants qui participent à cette étude. Il présente et interprète les résultats de cette projection et aboutit à la définition des logiques qui permettent le déploiement de l'activité de manipulation des formes, durant le processus de production morphique. Il répond à l'objet de recherche de ce mémoire et vérifie les quatre (04) hypothèses préalablement énoncées.

1. APPORTS DE CETTE RECHERCHE

1.1. Les apports de connaissance

Les apports de cette étude sont de plusieurs ordres. Elle permet en premier lieu, de réunir et de comparer des modèles, dédiées à l'étude de la manière dont les formes sont générées ainsi que les mécanismes et logiques qui permettent le déploiement du processus de manipulation morphique. Ce travail s'est soldé par l'élaboration d'un modèle qui sert à l'étude du phénomène de transformation morphique lors de l'activité de conception architecturale. Il a ainsi permis de mettre au point une nouvelle classification des actions de transformation morphique en trois classes d'actions qui sont les actions de transformation plastique, structurale et figurative. Cette classification a permis de mieux rendre compte des actions de transformation de forme, opérées par les sujets concevants, durant la phase de manipulation de forme du processus de conception. Le modèle des actions de manipulation/ production morphique réalisé par ce travail permet également de compléter le modèle sémio-morphique de l'activité de conception élaboré par Arrouf (2006). En effet, ce dernier permet une description complète et détaillée du microprocessus de production morphique de l'activité de conception architecturale (Arrouf, 2006). Il a également permis de mettre au jour les moments qui composent le microprocessus de production morphique. Le premier, baptisé moment de visualisation, est caractérisé par une faible sollicitation des actions de transformation morphique. Le deuxième nommé moment de transformation, est caractérisé par une forte utilisation des actions de transformation morphique.

En deuxième lieu, le modèle élaboré nous permet d'aborder l'autre objectif de ce travail à savoir la compréhension des logiques de l'activité d'esquisse à main levée. En effet, l'analyse et la description de l'activité de production morphique, au moyen du modèle développé, donne un aperçu de l'ordre et de la logique d'occurrence des différentes catégories d'actions de transformation morphique. Celle-ci est triadique. Elle s'appuie sur la typologie des transformations qui sont latérales ou verticales, et sur les stratégies d'abstraction et les différentes stratégies de conception, adoptées par les sujets concevants.

Les résultats montrent que les transformations de forme, représentées par les croquis successifs, peuvent être décrites au moyen d'un nombre restreint de catégories d'actions de transformation morphique. Ces catégories, ici présentées (page. 54), sont suffisantes pour capturer les actions de transformation de la forme mises en œuvre par les architectes participants à la présente étude. Les catégories d'actions de transformation morphique, auxquelles elles font appel, sont : les actions de transformation plastique, les actions de transformation structurale et les actions de transformation figurative. Celles-ci sont décomposables en quatorze classes d'actions différentes. Ainsi, la catégorie d'actions de transformation plastique est constituée des classes d'actions de transformation de la conformation, de la taille, de la couleur et celle de la texture. Celle de la catégorie d'actions de transformation structurale est composée des actions de transformation constitutive, des rapports topologiques et celle des rapports géométriques. Enfin la catégorie d'actions de transformation figurative. Elle englobe les classes d'actions du changement du type de représentation, de l'espace d'action/ objet, de l'espace d'action/ étage, du point de vue, de la direction de vue, de la taille des croquis et celle du niveau de complexité.

Ce travail révèle que les actions de transformation de forme, les plus fréquentes sont les actions de transformation structurale. Les résultats obtenus, nous apprennent également qu'au sein de la catégorie des actions de transformations structurale, les actions de transformation constitutive constituent 60% des actions les plus sollicitées et ce pour les deux sujets concevants.

Avec ces similitudes, les résultats montrent également des différences significatives. Elles se situent au niveau des stratégies de manipulation de la forme, adoptée par chacun des sujets concevants. En effet, chez le sujet concevant 1, les transformations morphiques se situent essentiellement au niveau du plan du rez-de-chaussée contrairement au sujet concevant 2, chez qui l'on note une forte activité de transformation morphique au niveau des façades de l'objet conçu.

L'analyse de corrélation révèle des dissemblances significatives entre les deux sujets concevants. En effet, chez le sujet 1, la corrélation entre la catégorie d'actions de transformation plastique et structurale, et celle de transformation figurative est faible, alors qu'elle est forte et négative chez le sujet 2. Ce résultat signifie que les actions de transformation figurative ne transforment pas réellement l'objet en conception, contrairement aux deux catégories plastique et structurale. Néanmoins, elle demeure nécessaire pour le sujet

1, car elle permet le passage d'un croquis à l'autre, et offre la possibilité de visualiser les solutions adoptées durant la phase de production morphique en vue de les tester et de les évaluer. Quant au sujet 2, les résultats montrent qu'il n'a pas eu besoin des actions de transformation figurative durant la phase de manipulation/ production morphique. Ceci s'explique par l'expérience de ce dernier dans le domaine de la conception des maisons individuelles. Il se peut aussi, que ce sujet ait reproduit une solution, qui a été explorée dans des situations de conception antérieures.

Nous pouvons ainsi dire que les hypothèses de ce mémoire sont confirmées et validées. Nous avons montré l'existence d'un nombre limité d'actions qui suffit à décrire toutes les noèses de transformation de la forme, appliquées aux différents noèmes du microprocessus de manipulation/ production morphique. Nous avons par ailleurs découvert l'existence de différentes stratégies de manipulation de la forme qui ne dépendent que des sujets concevants. En conclusion, il est possible de dire que :

1. L'activité de manipulation/ production morphique peut être décrite, selon un nombre limité d'actions de transformation morphique. Celles-ci sont classées en trois catégories : plastique, structurale et figurative.
2. L'activité de manipulation/ production morphique est essentiellement structurale.
3. Les transformations structurales sont essentiellement constitutives.
4. L'activité de manipulation/ production morphique du sujet concevant 1, est constituée de deux moments importants. Ils sont selon leur ordre d'occurrence : la visualisation et la transformation. Le premier est caractérisé par une faible sollicitation des actions de transformation morphique contrairement au deuxième moment, où l'on constate une forte activité de transformation morphique. Le moment de visualisation est essentiellement constitué des actions de transformation structurale et figurative. Alors que celui de la transformation, est principalement composé des actions de transformation structurale et plastique.

Il existe toutefois deux types de visualisation. L'un, est principalement constitué des actions de transformation structurale. Il appartient à la phase de conception schématique. Il sert à extérioriser les idées du sujet concevant, pour ensuite proposer différentes alternatives par le biais des transformations morphiques. L'autre type de visualisation, est principalement composé des actions de transformation figurative et structurale. Il appartient à la phase de

conception raffinée et détaillé. Il sert à détailler la solution retenue durant la phase schématique et exploratoire. Le sujet, y propose différents types de représentation de l'objet en conception. Le deuxième moment important, est celui de la transformation de l'objet. Il est également constitué de deux types. Ils sont tous les deux marqués par une forte sollicitation des actions de transformation plastique et structurale. Le premier est celui de la phase de conception schématique, il sert à produire différentes idées et alternatives de conception. Le deuxième est celui de la phase de conception raffinée et détaillée. Le sujet y propose plusieurs versions de la même idée de l'objet en conception.

5. La sollicitation des actions de transformation morphique, dépend des intentions et des objectifs poursuivis par les sujets concevants, durant les phases de conception. La phase schématique ou conceptuelle, implique l'exploration et la génération de différentes alternatives. Elle est caractérisée par le nombre important des transformations latérales. La phase de conception raffinée et détaillée, quant à elle, sert à détailler la solution retenue et à développer plusieurs versions de la solution retenue. Elle est caractérisée par un nombre important des transformations verticales.

Phase de conception schématique ou conceptuelle

Cette phase connaît une fréquence élevée des actions de transformation structurale, qui sont essentiellement des actions de transformation constitutive et des actions de transformation des rapports topologiques. Elle se caractérise également par l'absence de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation plastique et figurative.

Ceci prouve que durant ce niveau d'abstraction, le sujet concevant porte son intérêt sur l'exploration et la génération de différentes idées, relatives à l'arrangement des espaces de l'objet en conception. Il produit plusieurs croquis, où il explore plusieurs idées de fonctionnement, en changeant à chaque fois les positions des espaces, sans prêter d'attention particulière à la conformation et à l'aspect des éléments de l'objet en conception.

Phase de conception raffinée et détaillée

Cette phase est caractérisée par la hausse considérable des actions de transformation structurale, qui sont essentiellement des actions de transformation constitutive, ainsi que la présence importante de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation plastique et figurative. Les actions d'ajout ont également connu une hausse importante durant ce niveau.

Ceci prouve que le sujet concevant opère des transformations verticales et développe des variantes de la même idée. Il porte son attention sur la conformation, ainsi que sur les détails des éléments de l'objet en conception.

6. La mobilisation des actions de manipulation/ production morphique découle également des intentions et des objectifs poursuivis par les sujets concevants, au niveau de chaque type de transformation opéré (vertical et latéral). Les transformations latérales convertissent une idée en une autre idée complètement différente, alors que les transformations verticales manipulent différentes versions de la même idée.

Transformation latérale

Ce type de transformation est caractérisé par une forte présence des actions de transformation plastiques et structurales et l'absence quasi-totale des actions de transformation figurative. Les transformations plastiques et structurales sollicitées sont essentiellement des actions de transformation de la conformation, des rapports topologiques et de la constitution de l'objet en conception. Les transformations constitutives opérées sont principalement des actions d'ajout et de substitution.

Ceci est dû à la nature de la transformation latérale. Elle est le mouvement d'une idée à une idée complètement différente. Elle est susceptible d'entraîner des changements importants au niveau de l'aspect, de l'organisation et de la constitution de l'objet en conception, d'où la forte concentration de ce type d'actions à ce niveau.

Transformation verticale

Ce type de transformation est caractérisé par une présence relativement faible des actions de transformation plastique et structurale et par l'occurrence de la quasi-totalité des actions de transformation figurative. Les actions de transformation de la taille connaissent par ailleurs une apparition importante à ce niveau.

Ceci est dû au fait que la transformation verticale sert à développer et à détailler la même idée. Elle engendre des changements minimes, relatifs à la conformation et à la constitution de l'objet en conception, contrairement à la transformation latérale. Elle est mise en œuvre pour détailler et visualiser la solution retenue.

7. Le déploiement des actions de transformation morphique repose par ailleurs, sur les intentions et objectifs poursuivis par les sujets concevants, dans les niveaux d'abstraction

adoptés. Le premier est celui de la solution topologique, il sert à classer et à regrouper les éléments de l'objet en conception selon une logique définie par le concepteur. Le deuxième est baptisé la configuration spatiale. Il traite de la position et des relations spatiales entre les éléments de l'objet. Le troisième correspond à l'incarnation physique. Durant lequel, la conformation et la taille des éléments de l'objet sont développées.

Le niveau de la solution topologique

Il est essentiellement constitué des actions de transformation structurales, qui sont principalement des actions de transformation constitutives.

Ceci est la preuve que, durant ce niveau, seule la constitution de l'objet en conception est développée. Autrement dit, les croquis générés sont exclusivement liés aux solutions relatives à la constitution de l'objet en conception.

Le niveau de la configuration spatiale :

Il est caractérisé par l'apparition en nombre des actions de transformation des rapports topologiques.

Une fois les éléments de l'objet classés et regroupés, plusieurs solutions relatives à l'exploration des relations spatiales entre les différents éléments sont développées. Ce niveau permet de proposer plusieurs alternatives concernant l'arrangement des espaces et des éléments de l'objet.

Le niveau de l'incarnation physique :

Il est caractérisé par la fréquence importante des actions de transformation structurale, qui sont essentiellement des actions de transformation constitutive, ainsi que la présence importante de la quasi-totalité des classes d'actions de transformation plastique et figurative.

Ceci est dû au fait que le sujet concevant porte effectivement son intérêt sur la forme et l'aspect de l'objet en conception, ainsi qu'aux détails des éléments qui les constituent. Il explore différentes versions de la même idée et opère des modifications relatives à la conformation de l'objet en conception.

8. La mise en œuvre des actions de manipulation/ production morphique, du modèle élaboré par la présente étude, est étroitement liée aux intentions et aux objectifs définies par les sujets concevants, au niveau de chaque stratégie de conception adoptée. La « stratégie de conception

en ampleur » ou « breadth-first design strategy », adoptée par le sujet 1, implique que le concepteur dessine la forme globale de l'objet au niveau des premiers croquis produits, puis il s'intéresse aux composants individuels en modifiant leurs aspects et leur conformation et en rajoutant des détails. Contrairement à la « stratégie de conception en profondeur » ou « depth-first design strategy », adoptée par le sujet concevant 2. On note l'apparition précoce des détails dès les premiers croquis générés.

Stratégie de conception en ampleur

Elle se caractérise par la présence des actions de transformation structurale, ainsi que l'absence quasi-totale des actions de transformation plastique et figurative vers le début du processus. Celles-ci connaissent une hausse importante à mesure que l'on s'approche du terme de la tâche de conception.

Durant la stratégie de conception en ampleur, le sujet concevant 1 s'intéresse à la forme et à la constitution globale de l'objet, sans prêter d'attention particulière à l'apparence et à la conformation des éléments. Une fois les solutions relatives à la constitution de l'objet arrêtées, le sujet revient aux éléments qui le composent pour en modifier l'aspect et la conformation, en leurs ajoutant des détails. En effet, à ce point du travail, le sujet 1 porte plus d'attention aux détails des croquis générés à mesure qu'il s'approche du terme de la tâche de conception. Il y ajoute de nouveaux éléments architecturaux, tels que : ouvertures, portes et mobilier, et apporte des modifications aux niveaux des contours et de la taille de ces derniers.

Stratégie de conception en profondeur

Elle est marquée, contrairement à la première stratégie, par la présence importante des actions de transformation plastique et figurative dès les premiers croquis produit par le sujet concevant.

Ceci est dû à l'intérêt précoce du sujet concevant 2 à l'aspect et à la conformation, ainsi et aux détails de l'objet en conception dès les premiers croquis générés. Ceci est notamment confirmé par la nature détaillée, concrète et précise de ces derniers à ce niveau.

1.2. Les apports méthodologiques

Sur le plan méthodologique, le modèle de classification des actions de transformation morphique, ici élaboré, offre la possibilité de qualifier et de décrire les différentes opérations et manipulations identifiées, durant l'activité de production morphique. Il offre un outil

d'analyse qui permet de comprendre les différents mécanismes et logiques qui permettent le déploiement d'un tel processus.

2. Limites

Au terme de cette recherche, il nous paraît important de préciser ses limites qui pourraient être considérées comme autant de pistes pour des recherches ultérieures.

D'abord, nous notons que les limites sont notamment relatives à la taille du corpus. Nous rappelons, à cet effet, que la présente recherche a impliqué un corpus d'étude composé de trois sujets concevants et que seulement les travaux de deux architectes participants ont été retenus pour l'étude. Des recherches complémentaires, portant sur un nombre plus important de sujets concevants apporteraient, sans doute, des compléments d'information, et aboutiraient à mieux asseoir nos résultats.

Une autre limite se situe au niveau de la tâche de conception menée par les architectes participants. En effet, l'expérience de la présente étude a impliqué la conception d'une maison individuelle sur un site donné. L'objectif tracé à partir de cette approche est de permettre aux sujets concevants d'explorer différentes alternatives de conception et de développer un maximum de propositions afin d'en tirer des recueils d'observation riches en nombre et en qualité de croquis pour bien mener notre investigation et obtenir des résultats intéressants. Or, l'expérience de l'un des sujets concevants précisément dans le domaine de conception des maisons individuelles a porté préjudice à notre travail. Elle a engendré l'effet de fixation, d'où le nombre très restreint de croquis produit par ce sujet. Cela nous laisse penser que ce sujet a proposé une solution déjà explorée dans des situations de conception antérieures.

3. Perspectives

Plusieurs perspectives pourraient être envisagées pour poursuivre ce travail. Il s'agit notamment de mieux asseoir la validation expérimentale du modèle des actions de manipulation/ production morphique, élaboré par la présente étude par l'élargissement et la variation du corpus d'étude.

Par ailleurs, les résultats fournis par le modèle élaboré pourront servir de base à la compréhension et la modélisation d'autres phénomènes ayant une relation avec le déploiement du processus de production morphique. On peut, par exemple, envisager

d'élargir le champ d'application de ce modèle pour permettre d'aborder d'autres sujets de recherche tels que la définition des finalités et objectifs de chaque action ou catégorie d'actions de transformation morphique.

Enfin, cette recherche pourrait servir de base aux études portant sur l'enseignement de la conception architecturale. Elle fournit un modèle qui permet de développer une description et une connaissance de l'activité d'esquisse dans le processus de conception. En effet, les découvertes relatives aux mécanismes et logiques de la manipulation des formes, opérées par les sujets concevants, pourraient servir de fondement aux investigations qui cherchent à mesurer l'impact de l'occurrence de certaines actions ou catégories d'actions dans différents stades du processus de production morphique, sur la productivité et l'efficacité des sujets, ainsi que sur l'originalité des conceptions produites. On pense que l'apparition des actions de transformation plastique durant les premiers stades du processus de production morphique pourrait engendrer un effet de fixation, qui influe sur le nombre et la qualité des idées explorées et générées par les sujets concevants.

Bibliographie

- (1) Arrouf Abdelmalek, Vers une théorie scientifique de la conception architecturale. Contribution à l'épistémologie architecturale et à la modélisation de l'acte de concevoir, thèse de Doctorat d'Etat, Université de Sétif, Sétif, mai 2007.
- (2) Arrouf Abdelmalek et Bensaci A., Modélisation du processus de conception, Etude expérimentale du système compositionnel, instance conception, in Courrier du savoir, Vol.7, Décembre 2006, pp. 67-86.
- (3) Bilda Z, Demirkan H, An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media, 2002.
- (4). Blida Z, Gero J S, Purcell T, To sketch or not to sketch? That is the question, 2006.
- (5). Borie A, Micheloni P, Pinon P, Forme et déformation des objets architecturaux et urbains, 2006.
- (6) Ching F D, (1996). Architecture : From, Space & Order, Third Edition, 2007.
- (7) Cross N, Design Cognition: Results From Protocol And Other Empirical Studies Of Design Activity, 2001.
- (8) Damle A, Smith P J, Biasing cognitive processes during design: the effects of color, 2009.
- (9) De Biasi Pierre-Marc, pour une approche génétique de l'architecture, in Genesis, n°14/2000, Centre canadien d'architecture et Jean Michel Place, Paris, pp.13-66.
- (10) De Biasi Pierre-Marc, Pour une analyse génétique, des techniques de projet et du processus de conception en architecture, étude de genèse des premiers dessins du projet de F. Montès, Paris, direction de l'architecture, 1990.
- (11) Do E Y, Gross M D, Neiman B, Zimring C, Intentions in and relations among design drawings, 2000.

- (12) Eckersley M, The form of design processes: a protocol analysis study, 1988.
- (13) Gero J S, SHI X-G, design development based on an analogy with developmental biology, 2006.
- (14) Gero J S, Tang H H, the differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the processoriented aspects of the design process, 2006.
- (15) Goel, V , Sketches of Thought -The MIT Press, Cambridge,MA, 1995.
- (16) Jiang, Hao,Yen, Ching-Chiuan, Protocol Analysis in Design Research: a review, 2009.
- (17) Jowers I, Hogg D C, McKay A, Chau H H, De Pennington A, Shape detection with vision: implementing shape grammars in conceptual design, 2010.
- (18) Kan J W, Gero J S, Acquiring Information from Linkography in Protocol Studies of Designing, 2006.
- (19) Kim J, Bouchard C, Omhover J F, Aoussat A, Moscardini L, Chevalier A, Tijus C, Buron F, A Study on Designer's Mental Process of Information Categorization in the Early Stages of Design.
- (20) Kouassi R R, Cours d'initiation à la méthodologie de recherche.
- (21) Leray C, L'analyse de contenu : de la théorie à la pratique, la méthode Morin- Chartier, 2008.
- (22) Lim S, Prats M, Chase S and Garner S, Categorisation of designs according to preference values for shape rules, 2008.

- (23) Lim S, Prats M, Jowers I, Chase S, Garner S, McKay A, Shape Exploration in Design: Formalising and supporting a transformational Process, 2008.
- (24) Liu Y C, Towards an 'ideal' approach for concept generation, 2003.
- (25) Mc Neill T, Gero J S, Warren J, Understanding Conceptual Electronic Design Using Protocol Analysis, 2006.
- (26) Prats M, EARL C F, Exploration through drawings in the conceptual stages of product design, 2006.
- (27) Prats M, Describing shape transformations in design sketches, 2008.
- (28) Prats M, Lim S, Jowers I, Garner S W, Chase S, Transforming shape in design: observations from studies of sketching, 2009.
- (29) Rahimian F P, Ibrahim R, Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design, 2010.
- (30). Rodgers P A, Green G, McGown A, Using concept sketches to track design progress, 2000.
- (31) Suwa M, Tversky B, What architects and students see in architectural design sketches: a protocol analysis, 1997.
- (32) Suwa M , Tversky B, Seeing into sketches : Rergrouping parts encourages new interpretations, 2001.
- (33) Suwa M, Gero J S, Purcell T A, The role of sketches in early conceptual design processes, 2006.
- (34) Suwa M, Purcell T A , Gero J S, Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions, 1998.

(35) Terzidis C, Transformational design, 1989.

(36) Trescak T, Esteva M, Rodriguez I, A shape grammar interpreter for rectilinear forms, 2012.

(37) Wetzel J P, Proposition d'opérateurs morpho-sémantiques paramétriques d'assistance à la conception de formes architecturales.

(38) Wetzel J P, Bignon J-C, and Belblidia S, Use of morphological operators to assist architectural design in early stage, 2006.

(39) Wetzel J P, Belblidia S, Bignon J C, Specification of an operator for the design of architectural forms: "Pleating".

(40) Yao S, Zeng Y, a new approach for protocol analysis on design activities using axiomatic theory of design modeling, 2011.

(41) Yang S C, Reconceptualizing think-aloud methodology: refining the encoding and categorizing techniques via contextualized perspectives, 2002.

ANNEXES

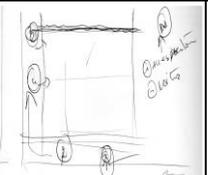
ANNEXE 1

Description des recueils d'observation du sujet
concevant 1

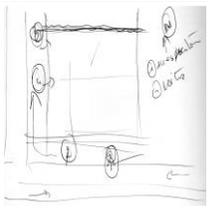
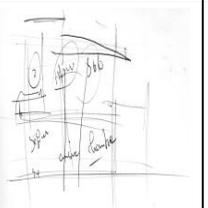
ANNEXE 1

Description des recueils d'observation du sujet concevant 1

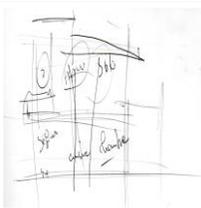
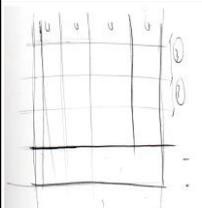
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 01 → Croquis 02

												SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 01 Min. 00 : 08	CROQUIS N° : 02 Min. 02 : 29	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction
		=	Plan de masse → Plan de masse	R.D.C → R.D.C	Ensemble → Ensemble	=	=	CROQUIS 01 « Plan de masse »	-Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme	STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Element architect Espace Espace Espace Espace	Mur de clôture Entrée. Piéton Entrée. Voiture Entrée. Piéton Entrée. Voiture

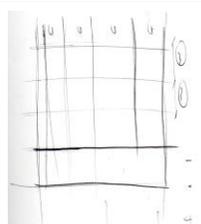
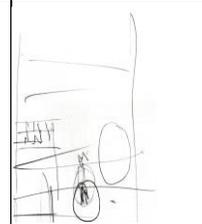
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 02 → Croquis 03

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 02 Min. 02 : 29	CROQUIS N° : 03 Min. 03 : 54	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan de mase → Façade	R.D.C → Tous	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 02 « Plan de masse »	- Changer le type de présentation - Diviser un volume -Ajouter un volume -Ajouter un élément -Tronquer une enveloppe -Ajouter un élément -Ajouter un élément	FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.CONFI STR.CONST STR.CONST	Volume Global Espace Elément architect Enveloppe exter. Elément architect	Volume. Maison Garage Terrasse Enveloppe Maison Toiture en pente Elément. Entrée	

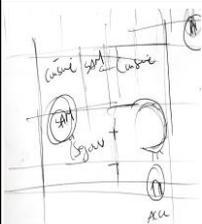
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 03 → Croquis 04

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 03 Min. 03 : 54	CROQUIS N° : 04 Min. 05: 17	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Façade → Plan	Tous → R.D.C	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 02 « Plan de masse »	- Changer le type de présentation -Ajouter une sous-forme	FIGURATIF STRUCTURAL	STR.CONST	Élément architect	Trame de structure	

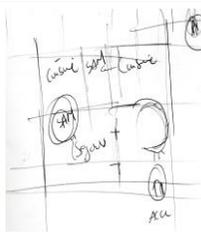
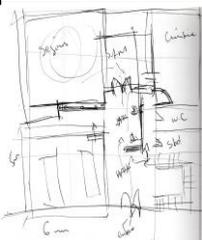
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 04 → Croquis 05

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 04 Min. 05 : 17	CROQUIS N° : 05 Min. 06 : 32	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Plan	R.D.C → R.D.C	Ensemble → Ensemble	=	=	CROQUIS 04 « Plan R.D.C »	-Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une enveloppe -Supprimer une sous-forme -Déplacer un volume -Supprimer une sous-forme	STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.TOPO STR.CONST	Elément architect Espace Espace Elément architect Espace Elément architect	Escaliers Entrée Inconnu Trame de structure Garage Elément. Entrée	

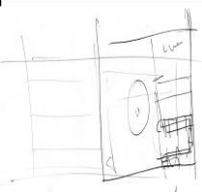
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 05 → Croquis 06

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 05 Min. 06 : 32	CROQUIS N° : 06 Min. 07 : 10	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Plan	R.D.C → R.D.C	Ensemble → Ensemble	=	=	CROQUIS 05 « Plan R.D.C »	<ul style="list-style-type: none"> -Déplacer une sous-forme à P 9 -Ajouter une sous-forme -Déplacer une sous-forme -Substituer une sous-forme -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Déplacer une enveloppe à P 2 -Substituer une enveloppe -Déplacer une enveloppe à P 3 -Ouvrir une enveloppe 	STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL PLASTIQUE	STR.TOPO STR.CONST STR.TOPO STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.TOPO PLST.CONFI STR.TOPO PLST.CONFI	Espace Elément architect Elément architect Espace Espace Espace Espace Espace Espace Espace	Entrée Trame de structure Escaliers Escaliers Cuisine Séjour S.A.M S.A.M S.A.M Cuisine Séjour	

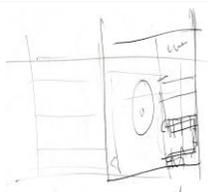
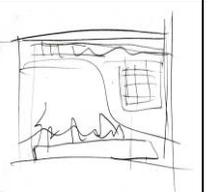
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 06 → Croquis 07

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 06 Min. 07 : 10	CROQUIS N° : 07 Min. 08 : 51	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Plan	R.D.C → R.D.C	Ensemble → Ensemble	=	=	CROQUIS 06 « Plan R.D.C »	<ul style="list-style-type: none"> -Changer le niveau de complexité -Agrandir la taille du croquis -Déplacer une sous-forme à P 8 -Substituer une sous-forme -Déplacer une sous-forme -Substituer une sous-forme -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Déplacer une enveloppe à P 1 -Ajouter un élément -Ajouter une sous-forme -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Réduire la largeur d'une enveloppe -Substituer une sous-forme -Ouvrir une enveloppe -Ouvrir une enveloppe -Ouvrir une enveloppe -Ouvrir une enveloppe 	FIGURATIVE FIGURATIVE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL PLASTIQUE PLASTIQUE PLASTIQUE PLASTIQUE	STR.TOPO STR.CONST STR.TOPO STR.COSNT STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.TOPO STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST PSLT.TAILLE STR.CONST PLST.CONFI PLST.CONFI PLST.CONFI PLST.CONFI	Espace Elément architect Elément architect Elément architect Espace Espace Espace Espace Elément architect Elément architect Elément architect Espace Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Espace Elément architect Espace Espace Espace Espace	Entrée Porte d'entrée Escaliers Escaliers Garage S.D.B W.C Séjour Mur traité. Séjour Marches. Séjour Mur. Séparation Hall Porte de cuisine Porte de S.A.M Marches.garage Bac à fleurs Bac à fleurs S.A.M Trame de structur Cuisine S.A.M Séjour Garage	

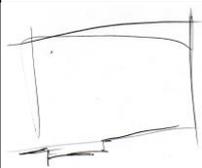
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 07 → Croquis 08

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 07 Min. 08 : 51	CROQUIS N° : 08 Min. 09: 43	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Elevat.	R.D.C → R.D.C	Ensemble → Entrée + Garage	≠	≠	CROQUIS 07 « Plan R.D.C »	-Réduire la taille d'un croquis - Changer le type de présentation -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter un élément	FIGURATIF FIGURATIF STRUCTURAL STRCUTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément architect Elément architect Elément architect	Bac à fleurs Bac à fleurs Porte. Garage	

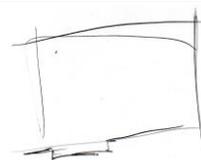
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 08 → Croquis 09

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 08 Min. 09 : 43	CROQUIS N° : 09 Min. 11: 17	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Elevat. → Elevat	R.D.C → R.D.C	Entrée + Garage → Mur de séparatio n (Hall)	≠	≠	CROQUIS 07 « Plan R.D.C »	-Changer. Espace d'action/Objet -Diviser une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme	FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect	Mur. Séparation Bac à fleurs Ouverture Ouverture	

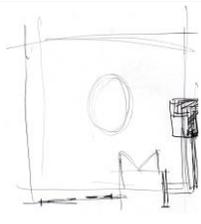
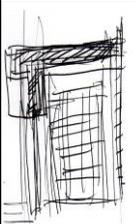
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 09 → Croquis 10

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 09 Min. 11 : 17	CROQUIS N° : 10 Min. 13: 09	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Elevat. → élevat.	R.D.C → R.D.C	Mur de séparati. (Hall) → Garage	≠	≠	CROQUIS 07 « Plan R.D.C »	-Changer. Espace d'action/Objet -Agrandir la hauteur d'une enveloppe	FIGURATIF PLASTIQUE	PLST.CONFI	Espace	Garage	

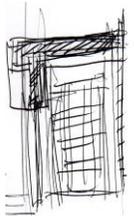
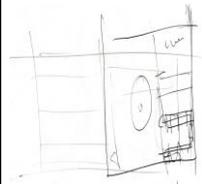
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 10 → Croquis 11

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 10 Min. 13 : 09	CROQUIS N° : 11 Min. 16: 10	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Elevat. → Plan	R.D.C → R.D.C	Garage → Entrée + Garage	≠	≠	CROQUIS 07 « Plan R.D.C » CROQUIS 10 « Coupe. Garage »	-Changer le niveau de complexité -Agrandir la taille du croquis -Changer. Espace d'action/Objet -Déplacer un élément -Ajouter un élément -Ajouter un élément	FIGURATIF FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.TOPO STR.CONST STR.CONST	Elément architect Elément architect Elément architect	Porte d'entrée Porte du garage Mur de pierre	

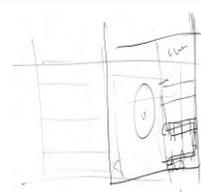
Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 11 → Croquis 12

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 11 Min. 16 : 10	CROQUIS N° : 12 Min. 16: 41	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Elevat.	R.D.C → R.D.C	Entrée + Garage → Entrée	≠	≠	CROQUIS 11 « Plan R.D.C »	Réduire la taille du croquis - Changer le type de présentation - Changer. Espace d'action/Objet -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Ajouter un élément -Supprimer une sous-forme -Supprimer une sous-forme -Ajouter une texture à une sous forme	FIGURATIF FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.TEXT	Element architect Element architect Element architect Element Architect Element architect	Mur de pierre Poteau. Dalle Dalle Bac à fleurs Bac à fleurs Porte d'entrée	

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 12 → Croquis 13

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 12 Min. 16 : 41	CROQUIS N° : 13 Min. 17: 47	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Elevat. → Plan	R.D.C → 1 ^{er} Etage	Entrée → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 03 « Coupe. Volume »	Changer le niveau de complexité - Changer le type de présentation -Changer. Espace d'action/Objet -Supprimer une sous-forme -Ajouter une enveloppe -Supprimer une enveloppe	FIGURATF FIGURATIF FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément architect Espace Espace	Terrasse W.C Chambre	

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 13 → Croquis 14

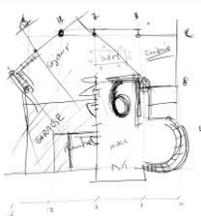
													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 13 Min. 17 : 47	CROQUIS N° : 14 Min. 18: 36	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		1 → 1	Plan → Elevat	1 ^{er} Etage → R.D.C + 1 ^{er} Etage	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 03 « Coupe. Volume » CROQUIS 07 « Plan R.D.C » CROQUIS 13 « Plan 1 ^{er} Etage » CROQUIS 12 « Elevation. Entrée » CROQUIS 11 « Plan. Entrée + Garage »	Changer le niveau de complexité Agrandir la tille du croquis - Changer le type de présentation -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Ajouter une sous-forme -Supprimer un élément - Supprimer un élément -Supprimer un élément -Supprimer une texture -Supprimer un élément Supprimer un volume -Tronquer une enveloppe -Substituer un élément -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme	FIGURATIF FIGURATIF FIGURATIF STRUCTURAL STR.CONST STRUCTURAL STR.CONST STRUCTURAL STR.CONST STRUCTURAL STR.CONST STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL STR.CONST PLASTIQUE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.TEXT STR.CONST STR.CONST PLST.CONFI STR.CONST STR.CONST STR .CONST STR.CONST	Espace Espace Espace Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Espace Enveloppe exter. Elément architect Elément architect Elément architect	Chambre Chambre Terrasse Mur de pierre Poteau. Dalle Dalle Texture. Porte d'entrée Porte. Garage Volume garage Volume. maison Toiture en pente Fenêtre. Chambre Fenêtre. chambre Fenêtre. chambre	

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 16 → Croquis 17

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 16 Min. 26: 55	CROQUIS N° : 17 Min. 30: 10	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		2 → 2	Plan. → Elevat.	1 ^{er} Etage → R.D.C +1 ^{er} Etage	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 16 « Plan 1 ^{er} Etage » CROQUIS 15 « Plan R.D.C » CROQUIS 14 « Façade »	- Changer le type de présentation Ajouter une enveloppe Supprimer un élément Agrandir la hauteur d'une enveloppe Supprimer une sous-forme Diviser une sous-forme en 2 Supprimer un élément Tronquer une enveloppe Ajouter un élément Ajouter une texture à une sous- forme Supprimer une sous-forme Ajouter une sous-forme Ajouter une sous-forme Substituer un élément Supprimer un volume/espace	FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST PLST.TAILLE STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.CONFI STR.CONST PLST.TEXT STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Espace Elément architect Espace Elément architect Elément architect Elément architect Espace Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Espace	Balcon Balcon. Chambre Garage Fenêtre. Chambre Ouverture des Escaliers Elément. Escaliers Garage Porte de garage Porte d'entrée Toiture. Chambre Fenêtre. Chambre Toiture. Garage Fronton. Entrée Chambre d'amis	

										<ul style="list-style-type: none">-Ajouter un élément-Ajouter un élément-Ajouter un élément-Ajouter un élément	STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect	Poteau Poteau Poteau Poteau
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--------------------------------------

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 18 → Croquis 19

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 18 Min. 34 : 26	CROQUIS N° : 19 Min. 42: 05	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		3 → 3	Plan → Plan	R.D.C → 1 ^{er} Etage	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 16 « Plan 1 ^{er} Etage » CROQUIS 17 « Façade »	<ul style="list-style-type: none"> -Changer. Espace d'action/Etage -Supprimer une sous-forme -Substituer une sous-forme -Ajouter un élément -Ajouter une enveloppe -Ajouter une enveloppe -Supprimer une sous-forme -Ajouter une texture à une enveloppe -Supprimer un élément -Ajouter une élément -Ajouter une sous-forme -Tronquer une enveloppe -Réduire la largeur d'une enveloppe -Déplacer un élément à P 2d -Agrandir la longueur d'une enveloppe -Réduire la largeur d'une enveloppe -Supprimer une sous-forme -Supprimer une sous-forme 	<ul style="list-style-type: none"> FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE PLASTIQUE STRUCTURAL PLASTIQUE PLASTIQUE STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL 	<ul style="list-style-type: none"> STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.TEXT STR.CONST STR.CONST STR.CONST PLST.CONFI PLST.TAILLE STR.TOPO PLST.TAILLE PLST.TAILLE STR.CONST STR.CONST 	<ul style="list-style-type: none"> Elément architect Elément architect Elément architect Espace Espace Elément architect Espace Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Espace Elément architect Espace Espace Elément architect Elément architect 	<ul style="list-style-type: none"> Escaliers. Séjour Escaliers Porte de chambre W.C S.D.B Bac à fleurs Terrasse accessible Marches. Terrasse Porte. Terrasse Porte de chambre Toiture en pente Chambre Porte de chambre Terrasse accessible Bac à fleurs Bac à fleurs 	

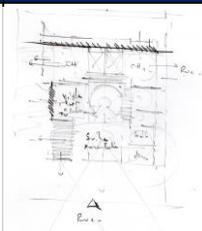
ANNEXE 2

Description des recueils d'observation du sujet
concevant 2

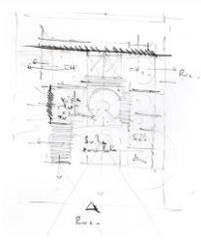
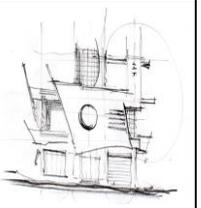
ANNEXE 2

Description des recueils d'observation du sujet concevant 2

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 01 → Croquis 02

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 01 Min. 02 : 09	CROQUIS N° : 02 Min. 06 : 14	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		=	Plan → Plan	R.D.C → 1 ^{er} Etage	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 01 « Plan R.D.C »	- Changer. Espace d'action/Etage	FIGURATIF				

Opérations et relations entre deux dessins de conception : Croquis 02 → Croquis 03

													SIGNIFICATION	
CROQUIS N° : 02 Min. 11 : 17	CROQUIS N° : 03 Min. 20: 42	Fa. Co .	Type. Prés.	Espace . Act/ Etage	Espace . Act/ Objet	P. vue	D. vue	Espace. Réfer	Actions	Niveau. Apparten.	Type.Tra nsform.	Nature. élément	Fonction	
		=	Plan. → Elevat.	1 ^{er} Etage → R.D .C + 1 ^{er} Etage	Ensemble → Ensemble	≠	≠	CROQUIS 01 « Plan de masse » CROQUIS 02 « Plan 1 ^{er} Etage »	<ul style="list-style-type: none"> - Changer le type de présentation -Ajouter une sous-forme -Ajouter une sous-forme -Aggrandir la hauteur d'une sous-forme -Ajouter une sous-forme 	FIGURATIF STRUCTURAL STRUCTURAL PLASTIQUE STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST PLST.TAILLE STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect Elément architect	Mur d'habillage Pergola Cage d'escaliers Elément A Elément B Elément C Elément D Elément E Ouverture. Dressing Ouverture. Suite Parentale	

										<ul style="list-style-type: none">- Ajouter une sous forme- Ajouter une sous forme- Ajouter une sous forme	STRUCTURAL STRUCTURAL STRUCTURAL	STR.CONST STR.CONST STR.CONST	Elément naturel Elément naturel Elément naturel	Arbuste Arbuste Petite arbuste
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------------------------	---	--------------------------------------

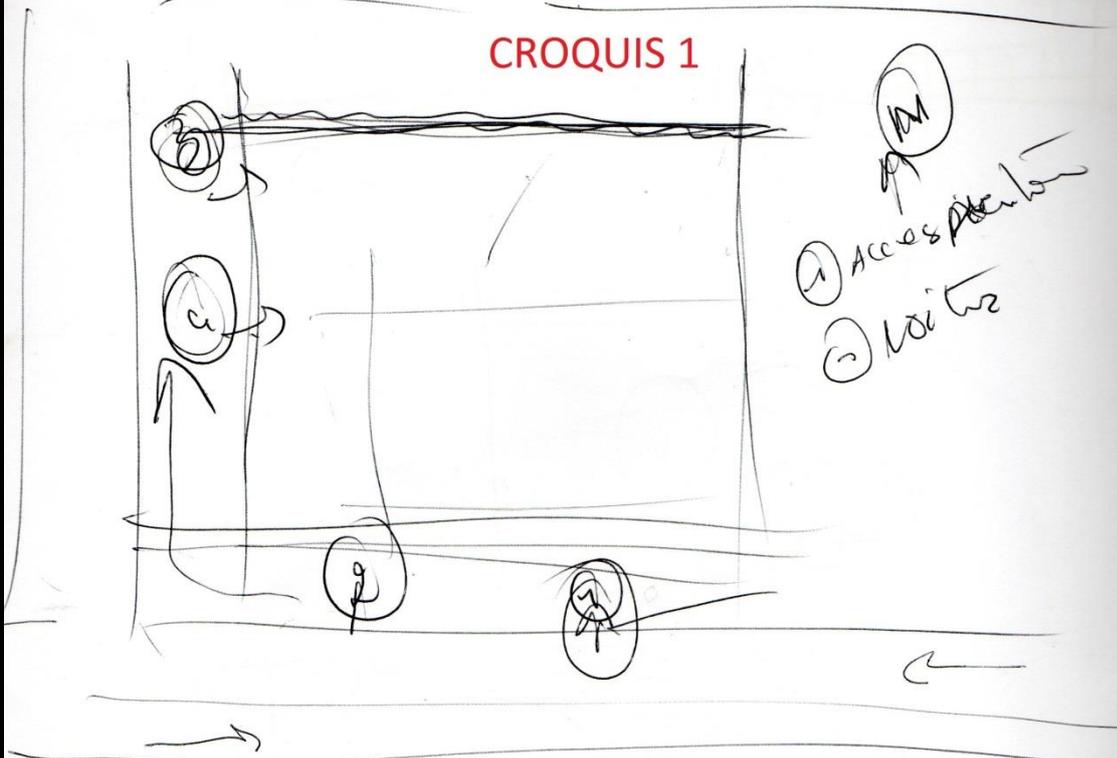
ANNEXE 3

Recueils d'observation du sujet concevant 1

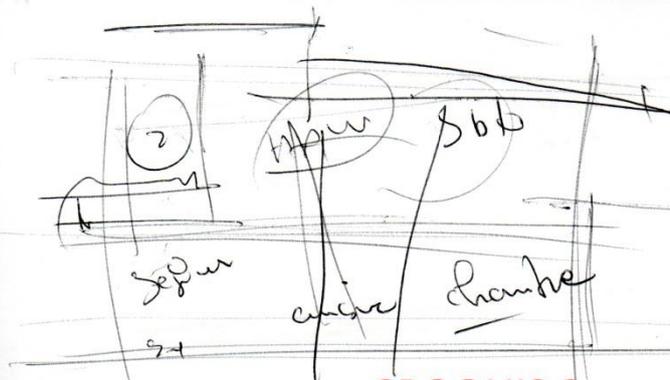
Séjour 10m
 Cuisine 15m
 chambre 15m
 chambre 15m
 Garage 20m
 Villa



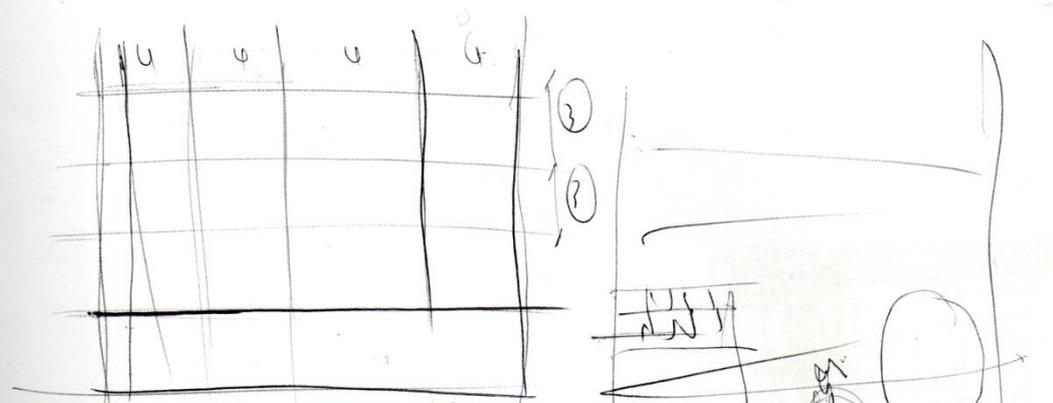
CROQUIS 1



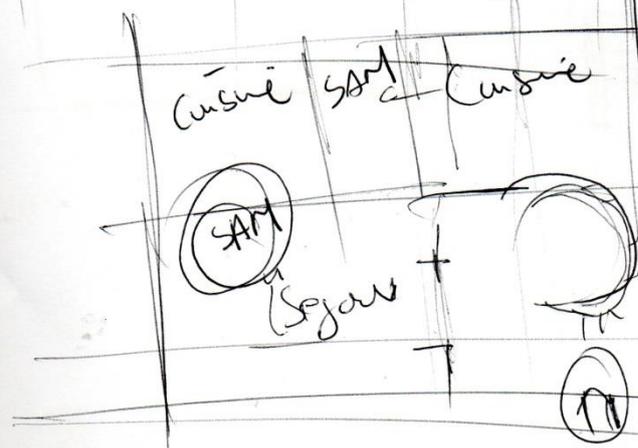
CROQUIS 2



CROQUIS 3



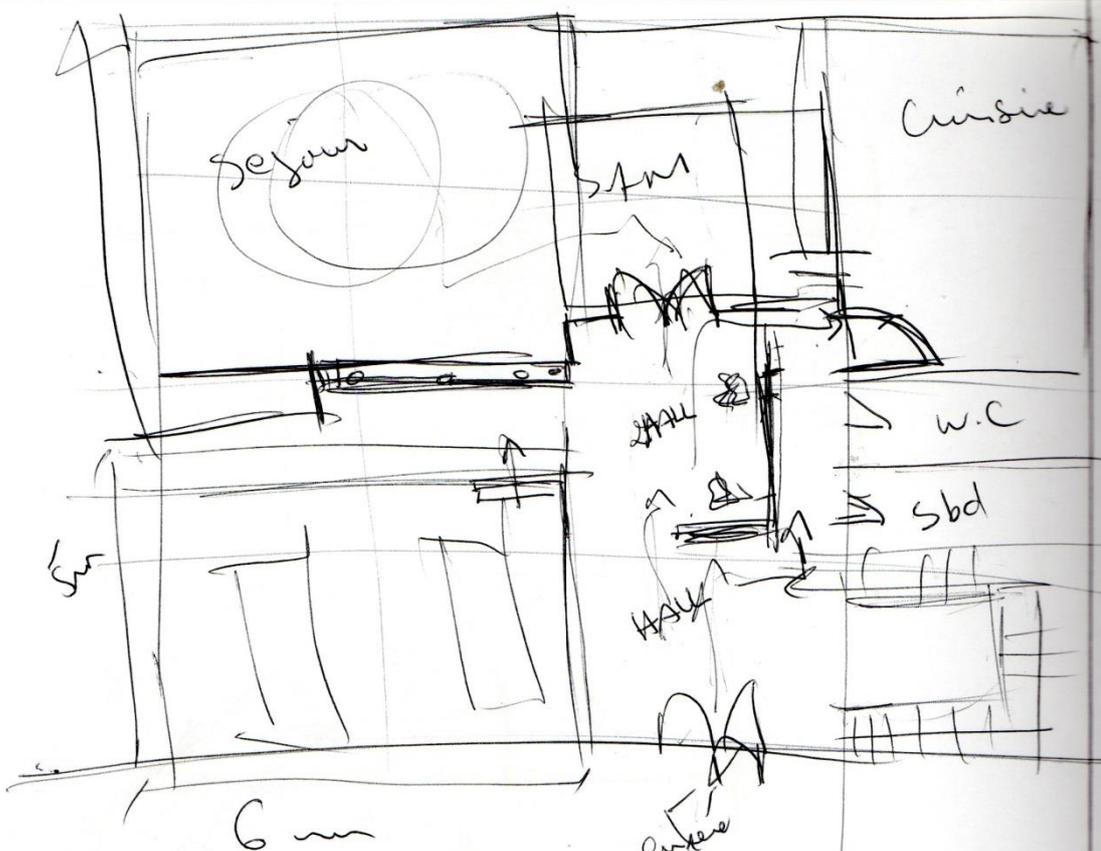
CROQUIS 4



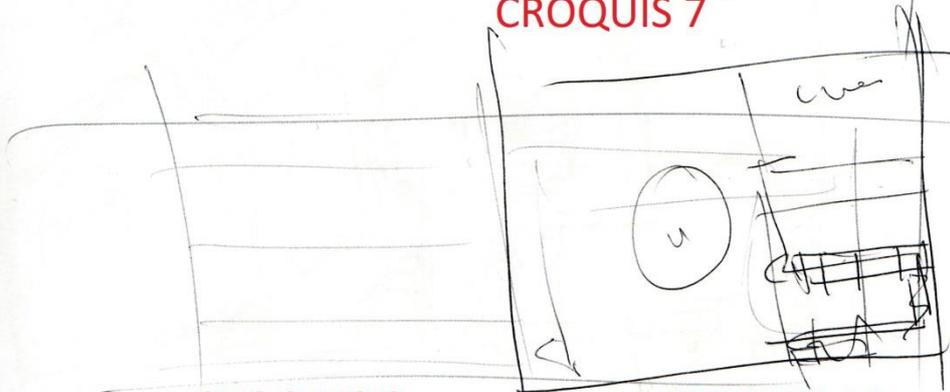
CROQUIS 5



CROQUIS 6

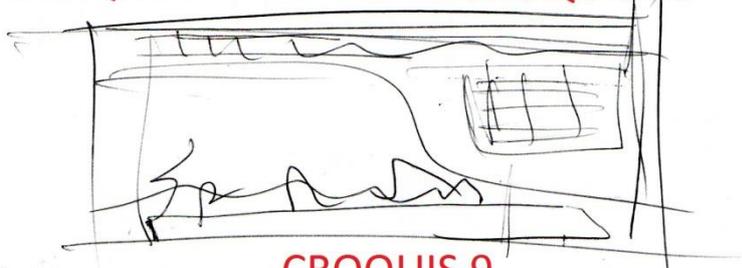


CROQUIS 7

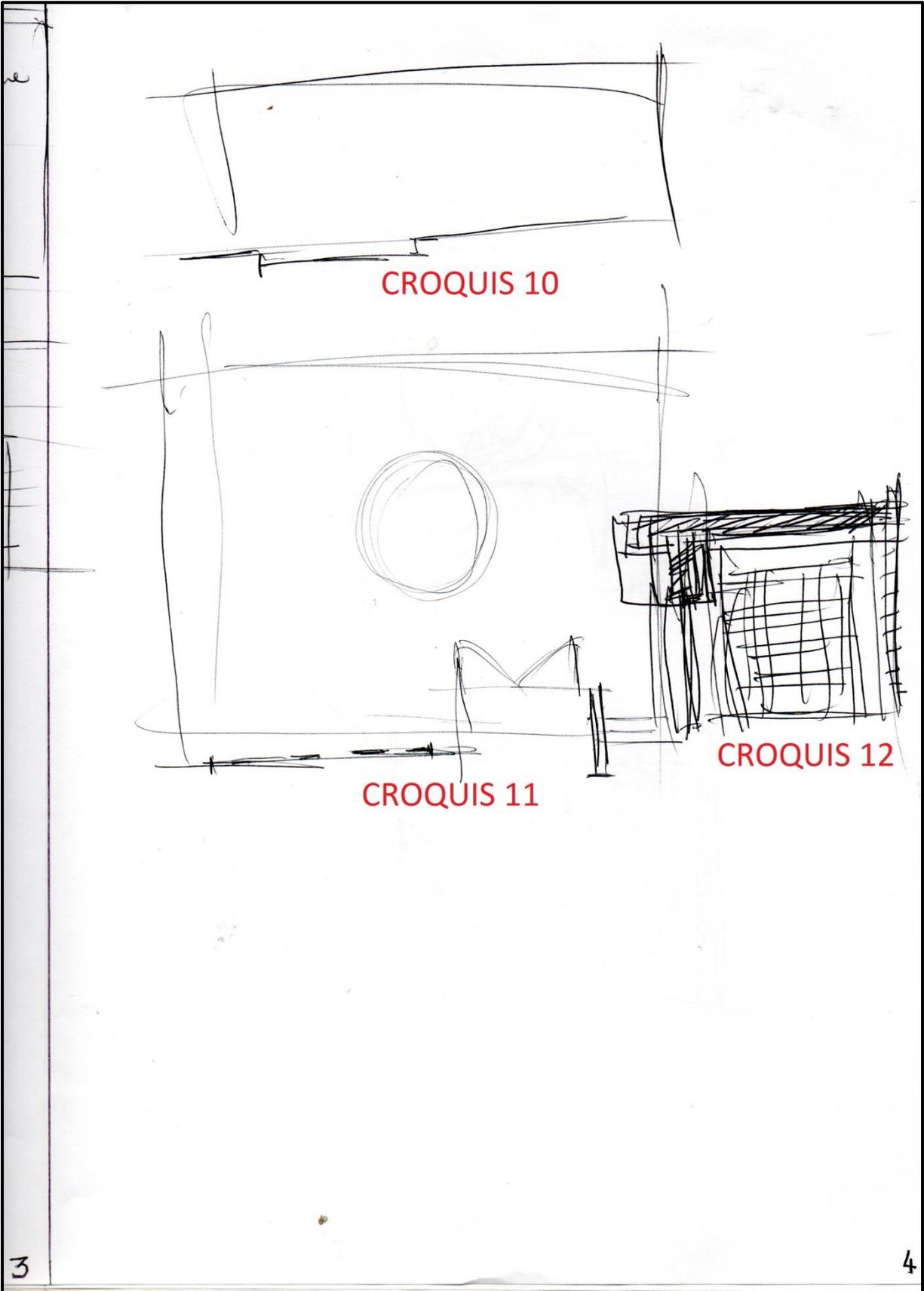


CROQUIS 8

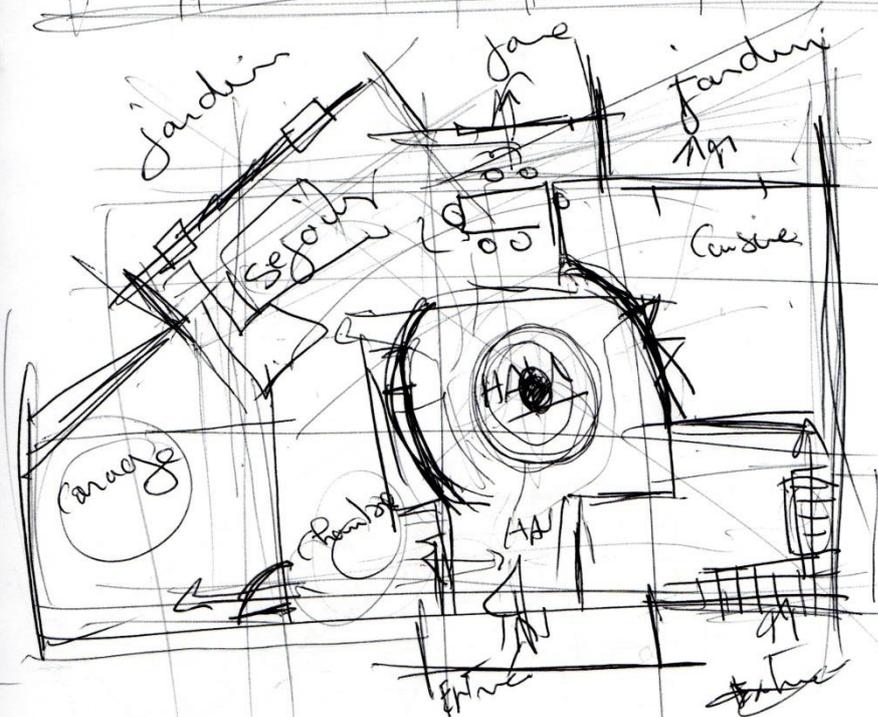
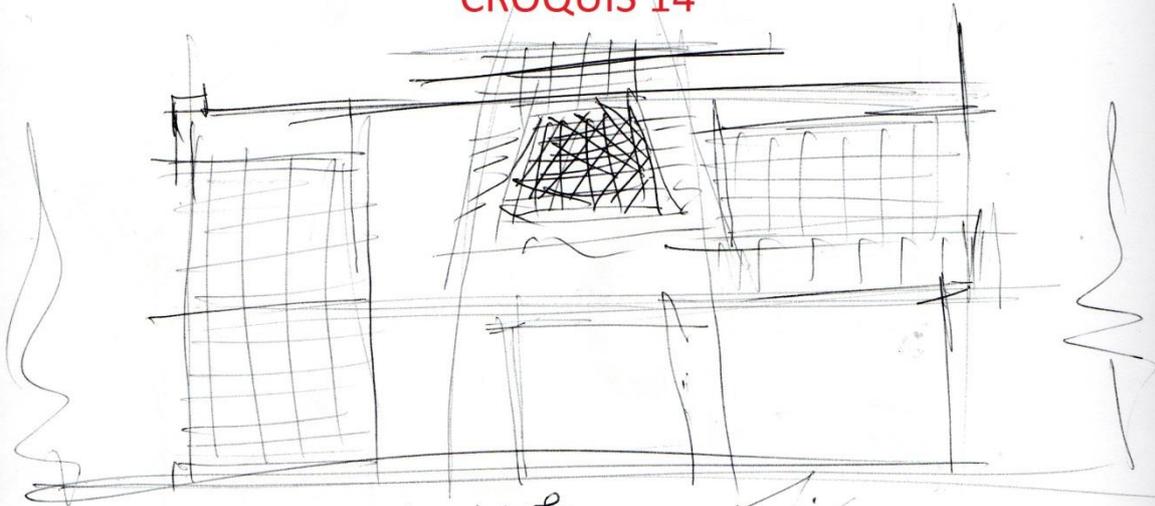
CROQUIS 13



CROQUIS 9

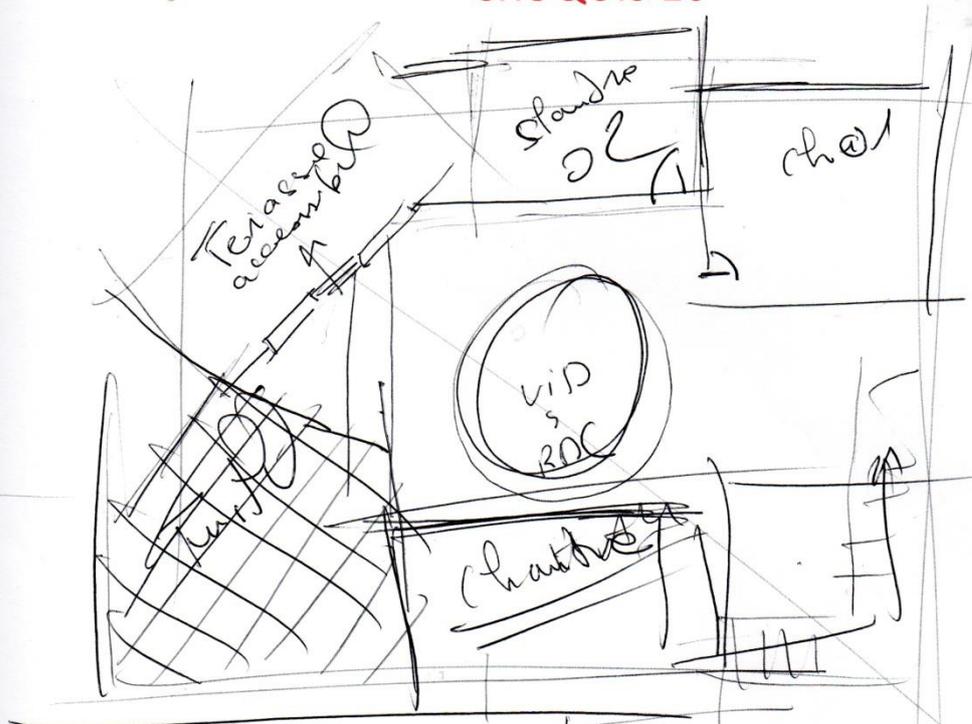


CROQUIS 14

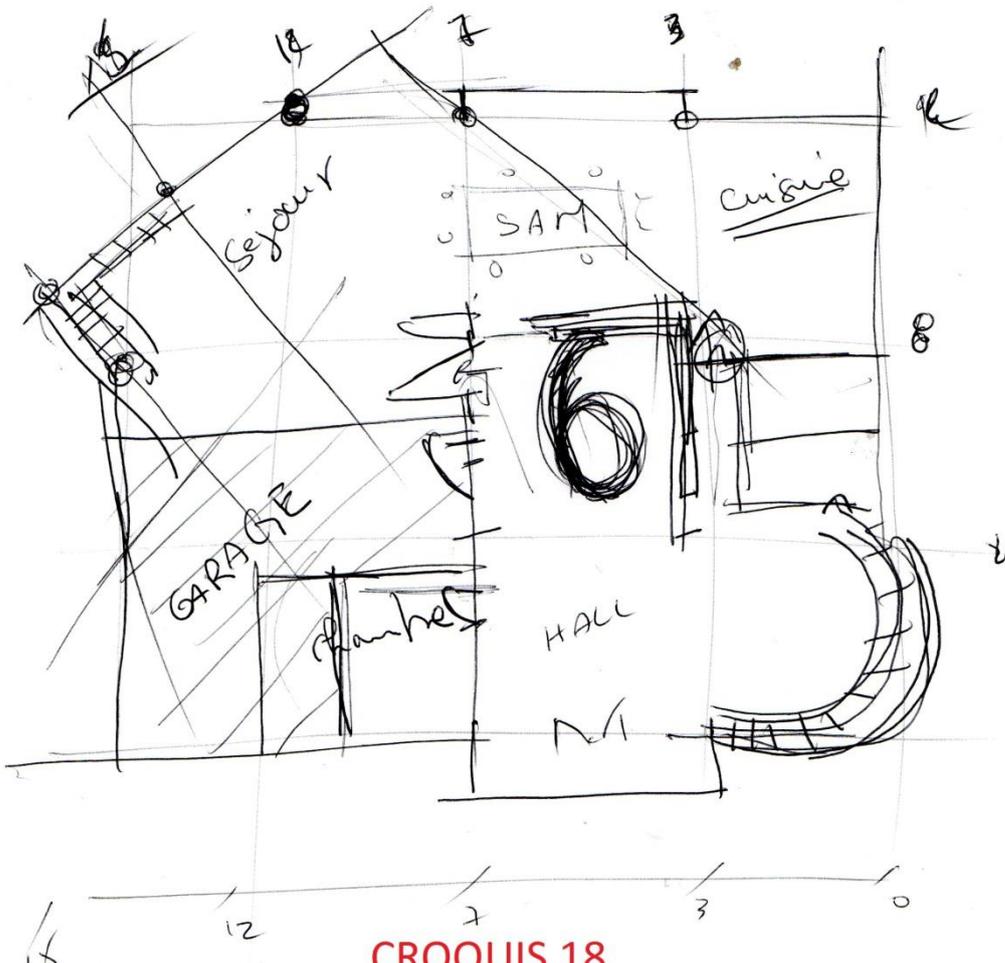


CROQUIS 15

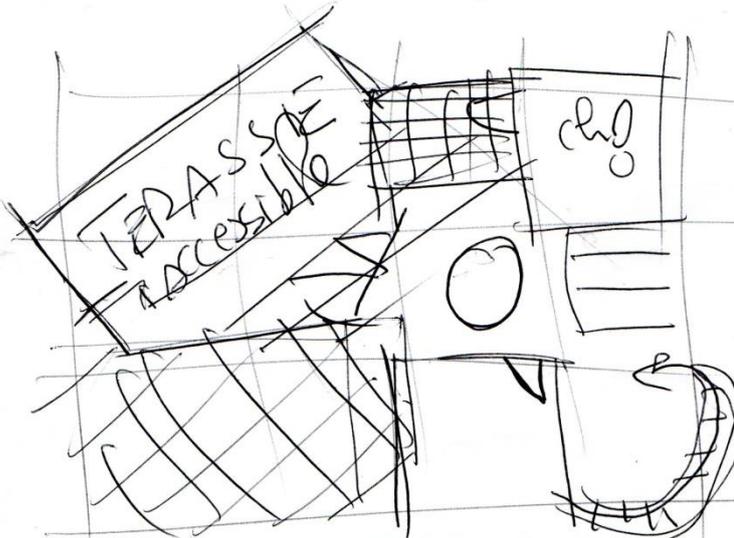
CROQUIS 16



CROQUIS 17



CROQUIS 18

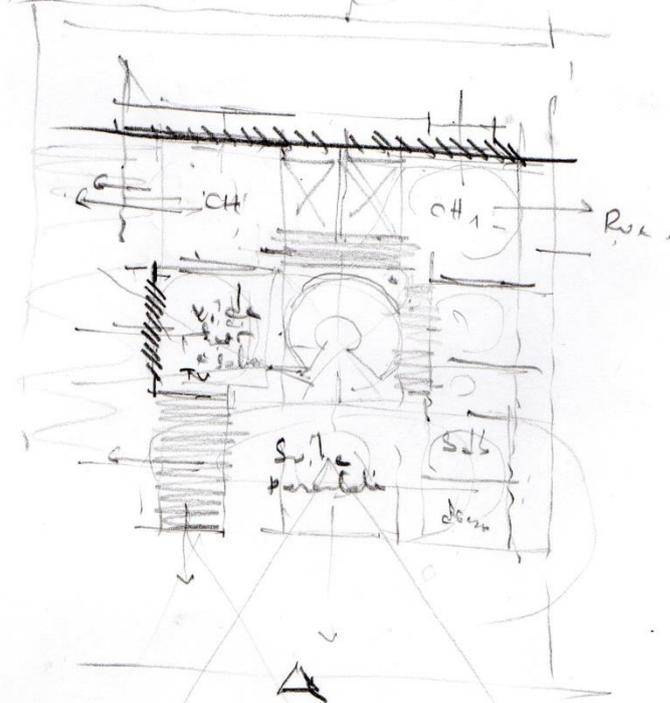
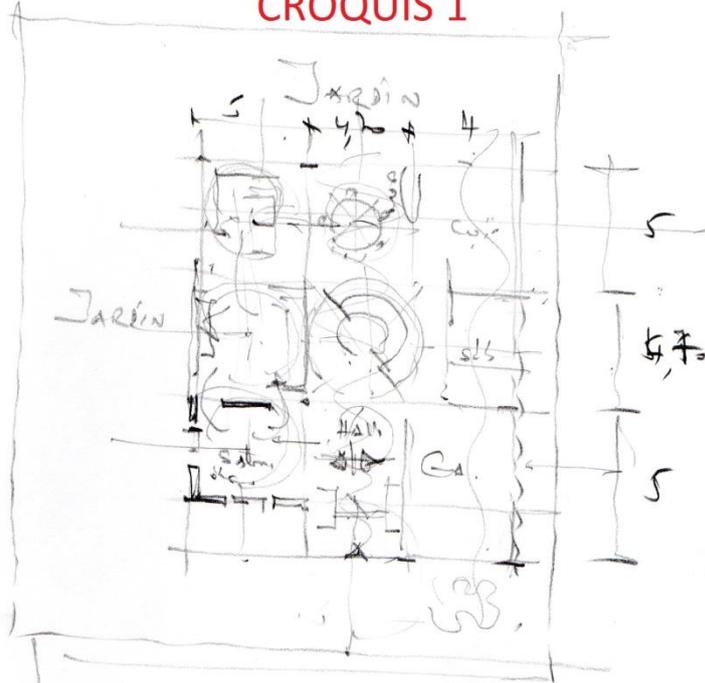


CROQUIS 19

ANNEXE 4

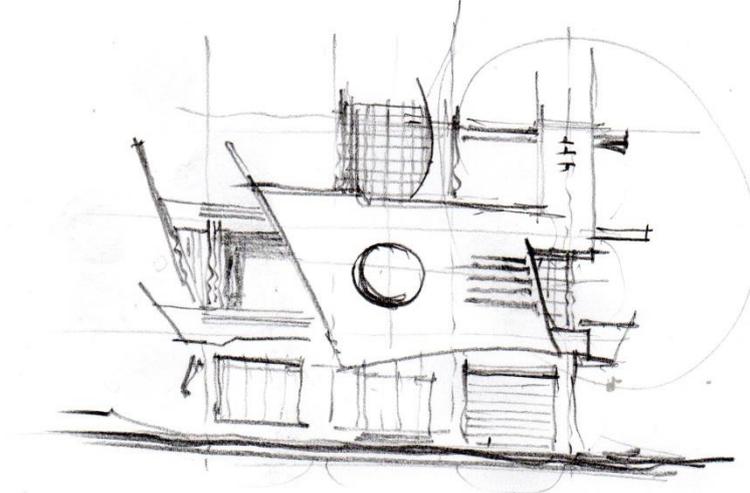
Recueils d'observation du sujet concevant 2

CROQUIS 1



CROQUIS 2

CROQUIS 3



CROQUIS 4

