

Rétroconception spatiocognitive et régénération : Vers la digitalisation du patrimoine à l'ère du numérique

Modèle constitutif de mémoires architecturales virtuelles numériques

Beya DHOUB¹, Nour El-Houda GHRIBI², Mounir DHOUB³

Co-premiers auteurs

1.Doctorante, Architecte, GAVED (ENAU), tsa-lab (UCLouvain),
beyadh@gmail.com .

2.Doctorante, Architecte, GAVED (ENAU), tsa-lab (UCLouvain),
nourghribi8@gmail.com .

3.Professeur UCAR, Architecte, Directeur ED SIA, Chef ER ArMC, GAVED
(ENAU), dhouibm@yahoo.fr.

Résumé. *La rétroconception spatiocognitive est une méthode au croisement de l'archéologie et l'architecturologie systémique qui s'apprête à être généralisée à tous les systèmes architecturaux passés. Alliée aux nouvelles technologies, elle fait appel à la « maquette virtuelle cognitive » comme médium de digitalisation des édifices. Ce qui permet de générer des mémoires artificielles archivées dans un système informationnel durable de l'architecture assurant la conservation numérique du patrimoine. Nous proposons dans cet article la rétroconception des thermes impériaux romains de Ain Doura en vue d'appliquer la Matrice Architecturologique.*

Mots clés : *Rétroconception spatiocognitive, architecturologie systémique, maquette virtuelle cognitive, numérique, digitalisation*

Abstract. *Spatiocognitive reverse engineering is a method at the crossroads of archaeology and systemic architecturology that could be applied to all past architectural systems. Combined with new technologies, it uses the cognitive virtual model as a medium for digitising buildings. This makes it possible to generate artificial memories that can be archived in a sustainable information system for architecture, thus ensuring the digital conservation of our heritage. In this article, we propose to reverse-engineer the Roman imperial baths at Ain Doura in order to apply the Architectural Matrix.*

Keywords: *Spatiocognitive reverse engineering, systemic architecturology, cognitive virtual mock-up, digital, digitalization*

Introduction

La technologie a connu une évolution impressionnante ces dernières décennies soulignant un progrès scientifique remarquable. Elle est devenue partie intégrante de plusieurs disciplines notamment l'archéologie qui adopte toute solution offrant rapidité et efficacité afin de faciliter les fouilles et les restitutions.

L'archéologie se trouve ainsi capable d'une restitution presque identique d'un « spécimen » donné permettant sa digitalisation. Incapable de déduction, elle demeure cependant limitée devant des vestiges incomplets. Face à cet obstacle, nous nous retournons vers l'architecturologie systémique qui avance une méthode régénérative apte à extraire le système informationnel à partir de quelques fragments. Cette méthode pourrait-elle alors compléter la méthode archéologique dépassant l'obstacle des fouilles incomplètes vers l'émergence d'une nouvelle méthode de rétroconception ?

Nous proposons la rétroconception spatiocognitive comme méthode de régénération au croisement de l'archéologie et de l'architecturologie systémique qui fait appel à la « maquette virtuelle cognitive » comme médium de digitalisation des spécimens architecturaux.

Nous nous intéressons aux thermes impériaux romains de Ain Doura dans l'expérimentation de la Matrice Architecturologique qui opère à travers la méthode régénérative guidant la rétroconception spatiocognitive vers la reconception des thermes.

1. La rétroconception spatiocognitive: une hybridation entre l'archéologie et l'architecturologie

La rétroconception spatiocognitive serait une méthode au croisement de l'archéologie et de l'architecturologie qui s'annonce capable de régénérer un spécimen architectural à partir de quelques fragments de son système informationnel.¹

L'archéologie est une discipline qui s'intéresse aux traces laissées par nos ancêtres en vue d'étudier les civilisations passées et de retracer leur évolution. Elle a comme objectif la préservation de l'héritage matériel depuis la préhistoire jusqu'à nos jours. Elle a développé une méthodologie adaptée à l'étude scientifique des civilisations disparues qui enchaîne l'étude de potentiel, la prospection, les fouilles, l'analyse et l'interprétation des données. Afin d'assurer la restitution, la méthode archéologique se base sur les récits historiques, sur les faits réels et sur les vestiges pour décrire, analyser et comparer avant d'établir des classifications.

La rétroconception², l'une des méthodes archéologiques, permet de rassembler les connaissances nécessaires pour comprendre le fonctionnement d'un objet afin de le

¹ Système informationnel : Les spécialistes de la cognition classent la connaissance en niveaux d'organisation selon les données, les informations, le savoir. Nous utilisons système informationnel dans le sens cognitif rassemblant ces différents niveaux.

² La rétroconception ou la rétro-ingénierie (ou reverse engineering) est l'activité de reproduire tout objet physique dans l'objectif de retrouver ses techniques d'élaboration, comprendre son fonctionnement, l'analyser et en créer une copie. Les connaissances acquises du processus de rétroconception peuvent ensuite être appliquées à la conception de produits similaires ou nouveaux.

reproduire numériquement. Par exemple, en archéologie industrielle la méthode de rétroconception est utilisée dans le cadre de la restauration des œuvres et des objets industriels anciens, ce qui permet de comprendre le fonctionnement mécanique des machines et d'obtenir des informations sur les marchandises et leur flux.

Dans une société en perpétuelle évolution, l'archéologie intègre désormais les nouvelles technologies dans le processus de conservation. Le numérique accompagne la méthode archéologique contribuant à faciliter et à accélérer la restitution des objets étudiés. Nous pouvons alors citer : la photogrammétrie et les drones qui assurent la prise des photos aériennes de sites ou de monuments, les scanners qui permettent de préserver les objets en assurant la découverte de leur intérieur sans les abîmer, l'imprimante 3D qui à travers les modèles numériques de l'objet, permet de fabriquer les pièces manquantes, de créer une copie des objets pour faciliter l'étude par l'archéologue ou même rendre l'objet plus accessible au public. La visite avec casque de réalité virtuelle des vestiges offre au public une perception presque réelle des sites archéologiques tels qu'ils ont été conçus.

Un nouvel horizon s'ouvre à la méthode archéologique, sous l'influence de l'évolution technique et numérique, assurant une meilleure étude, restitution et valorisation du patrimoine et de l'héritage architectural. Alliée avec les technologies de pointe, la méthode archéologique est capable de restituer à l'identique les objets ou les sites et les sauvegarder numériquement mais se trouve incapable de reconception ou de déduction d'un objet à partir des fragments que représente la partie existante fouillée. Le dépassement de cet obstacle ne relève pas des compétences de l'archéologie mais plutôt de celles des sciences de l'artificiel et de la conception. Dans ce contexte, l'architecturologie systémique, une science nouvelle qui essaie de fonder l'architecture en tant que connaissance de la conception en se référant au paradigme génétique, semble apporter la solution.

L'extrapolation de la méthode génétique à l'architecturologie permettrait d'étudier un objet architectural du point de vue de sa formation et de son évolution et même d'anticiper ses éventuelles mutations. En effet, elle considère les objets architecturaux comme des organismes vivants, qui portent en eux l'information nécessaire déterminant leur genèse et leur réalité. Ainsi le décryptage du système informationnel d'un organisme architectural nous permettrait de le restituer ou le recréer. Pour ce faire, l'architecturologie systémique suit l'enchaînement paradigmatique de la connaissance. Un échafaudage de stades successifs de plus en plus abstraits : descriptif, systématique, analytique, génétique et poétique. Une fois la boucle achevée l'inversion ou le sens inverse de l'enchaînement est possible.

Par ailleurs, l'architecturologie considère le patrimoine comme faisant partie d'un système plus large, intégrant l'environnement bâti, les spécificités culturelles et historiques ainsi que les interactions entre ces diverses composantes et éléments. La méthode régénérative, à la fois génétique et systématique, permet de proposer des hypothèses de reconstruction et de reconception des édifices. Elle tente de rétablir l'équilibre dynamique du système complexe qui a été déréglé ou dégradé, elle détermine son code génétique (ou programme), puis transforme cette information en matière. Un passage qui déchiffrerait l'acte créatif et permettrait à l'architecturologie de créer ou de régénérer un « organisme architectural » donné.

Dans ce contexte, l'équipe de recherche ArMC propose la rétroconception spatiocognitive comme méthode de régénération permettant la restitution. Plusieurs recherches³ ont été soutenues visant à l'expérimenter. La méthode régénérative pourrait-elle alors compléter la méthode archéologique dépassant l'obstacle des fouilles incomplètes vers l'émergence d'un nouveau modèle de rétroconception ?

2. Vers la construction d'un modèle architecturologique

2.1. Croisement de la Théorie du Développement Cognitif avec la Théorie des Systèmes Hiérarchiques Autonomiques Ouverts

L'architecturologie systémique, cherchant à fonder l'architecture en connaissance de la conception se base sur le principe hologrammatique⁴ tel que développé par Edgar Morin selon lequel fonder une science exige que cette connaissance partielle puisse trouver sa place comme paradigme appartenant à la connaissance globale. La connaissance globale se retrouve d'après ce postulat dans les différentes sciences ou disciplines locales qui se sont constituées au cours du temps à son image avec des méthodes applicables universellement, adaptées à toute science fondée ou qui cherche à se fonder, en cohérence avec la connaissance globale en tant que totalité.

Dans ce contexte, Jean Piaget annonce le mécanisme du développement cognitif des sciences selon lequel l'architecturologie devrait suivre les mêmes « mécanismes de passage d'un stade au suivant dans le développement historique de la science. » (Piaget, 1983) pour trouver sa place dans la connaissance globale.

Piaget a fondé sa théorie de la connaissance à travers ses recherches sur la psychologie de l'enfant. Il a pu établir que la connaissance tout comme l'intelligence chez l'enfant suivait un même mécanisme d'équilibration. Son évolution perpétuelle serait alors ponctuée par des stades d'équilibre successifs. Une évolution semblable à la montée d'un escalier dont la première marche représente le stade le plus concret, chaque marche représente alors un stade plus abstrait que la précédente : une réorganisation complète du stade précédent et de la pensée. Chaque stade ou « reconstruction de ce qui a été acquis aux niveaux précédents » (Piaget, 1967) se démarque par des raisonnements plus aigus et une logique plus construite. Il établit que toute construction génétique passe par des stades de « déséquilibres partiels » avant d'atteindre une « nouvelle forme d'équilibre » relative à la nouvelle structure construite. Cette interaction permanente vers l'équilibration fait que la connaissance suit une reconstruction perpétuelle vers l'abstraction.

³ Nous nous référons aux travaux réalisés par M. Dhouib, K. Bouaita, H. Lichiheb et I. Soussi. Le programme de recherche a été dirigé par M. Dhouib qui a appliqué la rétroconception dans le domaine de l'architecture et l'a baptisée « Rétroconception spatiocognitive »

⁴ Le principe hologrammatique remonte à des auteurs très anciens. Il a été vulgarisé par Edgar Morin dans son livre *Introduction à la pensée complexe*. Il constitue avec les principes dialogique et récursif le fondement de la complexité. Jean Claude Tabary y voit un paradigme : le paradigme holographique.

Par ailleurs, il avance l'idée du « cercle des sciences », selon laquelle l'évolution des sciences n'était pas linéaire mais circulaire interactionniste. D'après ce principe, les différentes sciences interagissent entre elles pour s'enrichir mutuellement abolissant de la sorte toute limite disciplinaire. Il propose alors une classification cyclique des sciences qui a été représentée sous forme d'un tableau à double entrée ou matrice par M.Dhouib. (Dhouib, 2004).

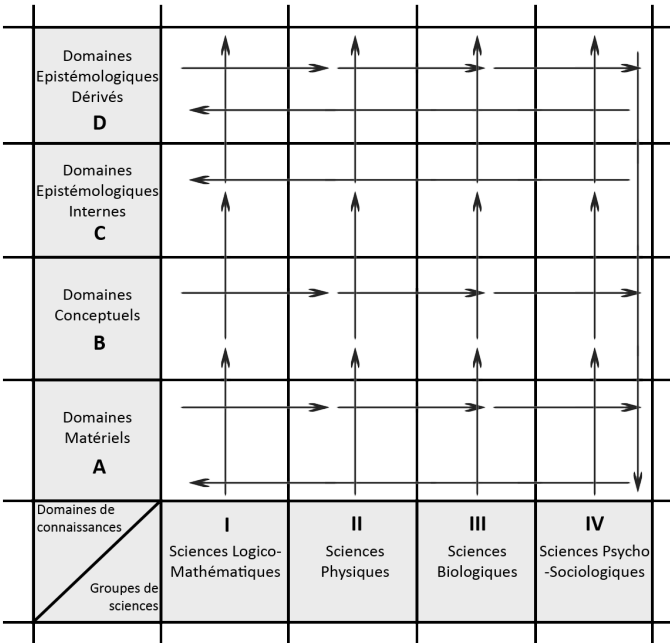


Figure 1. Le système cyclique des sciences de Jean Piaget illustré par M.Dhouib, (Dhouib, 2004)

La structure cyclique semble évidente si nous prenons comme origine les mathématiques qui s'appliquent à toutes les sciences qui les ont suivies historiquement. La physique, qui s'est fondée en se basant sur les mathématiques, prête ses méthodes à la chimie et à la biologie mais pas aux mathématiques. La biologie a utilisé au départ le paradigme mécanique apparenté à la physique avant de trouver un paradigme plus adapté aux spécificités du vivant, expliquant l'autoreproduction. Le paradigme génétique est devenu le maillon entre la méthode analytique, héritée de la physique et la méthode créative réservée aux arts et à l'anthropologie. C'est dans cette perspective justement qu'est apparue la théorie générale des systèmes de Bertalanffy initialement issue de la biologie. Elle a été extrapolée et appliquée dans d'autres domaines et semble s'adapter à la complexité et « aux propriétés dynamiques des systèmes socio-culturels » (Von Bertalanffy, 1993), ses méthodes seraient applicables aux sciences de conception.

La matrice disciplinaire telle que présentée par Piaget apporte des éclaircissements par rapport au mécanisme de construction de connaissances. Elle structure les systèmes cycliques des sciences et assure le passage entre les différents niveaux de connaissance à travers le mécanisme d'équilibration Intra-Inter-Trans permettant le passage d'un niveau d'organisation cognitive à l'autre, qui, en cas de dépassement, le dépassé est toujours intégré dans le dépassant. C'est le mécanisme de passage qui conduit de l'intra objectal (analyse des objets) à l'inter objectal (étude des relations) au trans objectal (construction des structures).

Par ailleurs, Koestler a proposé sa Théorie des Systèmes Hiérarchiques Autonomiques Ouverts selon laquelle un organisme n'est pas « un agrégat de parties élémentaires », c'est une hiérarchie dont les niveaux se ramifient en sous-ensembles jusqu'à l'infini. Koestler nomme ces sous-ensembles Holons. Le concept de Holon vise à concilier entre atomisme et holisme, entre hiérarchie et autonomie, il est à la fois partie et totalité. Il est à l'image de la dichotomie caractéristique dans tout organisme vivant où chaque partie est autonome mais dépendante de la totalité. Selon cette théorie, le système composant est un Holon considéré comme un tout faisant partie d'un tout plus grand. « Chaque Holon a une double tendance à conserver et affirmer son individualité en tant que totalité quasi autonome, et à fonctionner comme partie intégrée d'une totalité plus vaste ». (Koestler, 1968)

Le Holon présente alors une polarité qui découle d'une propriété assertive ou une tendance à l'affirmation du moi (A-M) qui exprime son dynamisme et sa totalité et d'une propriété intégrative ou une tendance à l'intégration (INT) traduisant sa partialité et sa capacité de s'intégrer au sein d'un ensemble. Ce genre de polarité est une caractéristique naturelle universelle présente dans des systèmes d'échelle très variée des atomes jusqu'aux galaxies. L'équilibration entre les deux propriétés intégrative et assertive assure l'autonomie du système et son ouverture.

Propriété qui manque justement à la matrice disciplinaire ce qui l'empêcherait d'intégrer les disciplines poétiques et imaginaires. Cela pourrait être expliqué par le fait que Piaget raisonne par rapport aux sciences et non par rapport à la connaissance. Or pour intégrer, les sciences de conception notamment l'architecture nous devrions raisonner par rapport à la connaissance globale.

La Théorie des Systèmes Hiérarchiques Autonomiques Ouverts TSHAO telle que présentée par Koestler semble s'accorder avec la Théorie du Développement Cognitif de Piaget. Le croisement entre ces deux théories pourrait fournir un cadre apte à remanier la matrice disciplinaire. De ce croisement émergerait une matrice plus ouverte à l'intégration des domaines poétiques. Appliquée à notre problématique, la TSHAO considérerait la science de conception comme un système composant ou un Holon ayant d'une part, une tendance assertive qui permettrait à cette science d'imposer sa méthode et de se détacher des connaissances qui l'ont précédée pour se constituer comme une connaissance totale autonome. D'autre part, une tendance intégrative qui transmet les propriétés de la connaissance globale dans la construction des sciences de la conception leur permettant de trouver leur place en tant que connaissance partielle, à l'image du tout, avec des méthodes extrapolables vers les autres connaissances visant la cohérence du Système Cognitif Total.

2.2. Émergence du système architecturologique : interface entre le modèle du système cognitif et le modèle du système architectural

Piaget a classé les sciences selon leur objet d'étude ou domaine matériel, un classement qui correspond à la chronologie de fondement de ces sciences. En effet chaque science se constitue à partir du paradigme des sciences antécédentes. Le paradigme emprunté entre à un certain moment « en crise » comme l'annonce Kuhn, n'arrive plus à suivre l'évolution d'une science donnée ce qui mènerait vers un changement de paradigme. En superposant cette idée de changement de paradigme sur la classification cyclique de Piaget, la matrice n'est plus simplement disciplinaire elle devient paradigmatologique. Les disciplines sont alors substituées par les méthodes qu'elles utilisent et qui découlent de leurs paradigmes respectifs. Ce remaniement de la matrice permettrait son ouverture aux paradigmes émergents. Nous allons nommer cette première perspective de la matrice remaniée comme structurale.

D'après Piaget, la construction génétique d'une structure tendrait perpétuellement vers un état d'équilibre. Un échafaudage, de paliers reliant l'immanence du réel et la transcendance de l'abstrait, une élévation du matériel à l'immatériel assurant l'ouverture du système vers le haut. Cette ouverture ontologique nous permettrait d'ajouter d'autres niveaux d'abstraction qui tendraient vers une dimension métaphysique. De là découlerait notre deuxième perspective : la perspective imaginale.

La construction de la connaissance découlerait d'un double mouvement d'échafaudage et de construction, une double abstraction génétique résultant du croisement de la perspective structurale avec la perspective imaginale. De ce croisement émanerait la perspective génétique ou historique. Plus concrètement, le savoir se construit en suivant un échafaudage du domaine matériel vers le domaine épistémologique dérivé. Les trois perspectives s'activent et interagissent ensemble jusqu'à atteindre une forme d'équilibre, une harmonie. Constituant ensemble la méthode régénérative qui se matérialiserait à travers un mouvement en spirale reliant deux infinis. En effet chacune des perspectives serait tendue entre deux pôles :

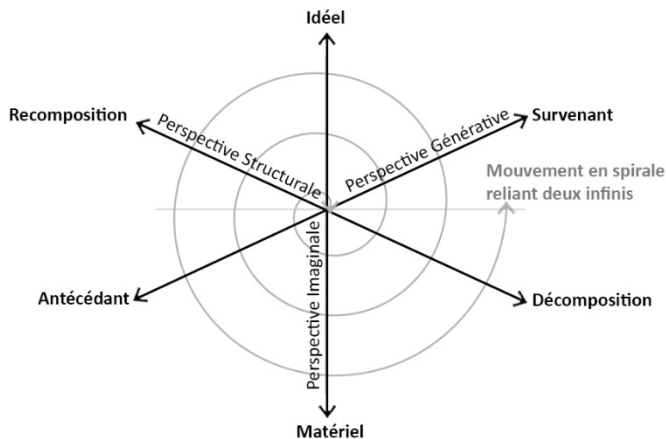


Figure 2. Hypothèse du Système Cognitif Partiel-Total avancée par Mounir Dhoubi, comme Modèle de régénération de la connaissance

Nous annonçons alors l'hypothèse du « Système Cognitif Partiel-Total »⁵ comme modèle du système cognitif représentant la méthode régénérative au croisement des trois unidualités.

Nos trois perspectives rejoignent l'idée de Francis Bacon qui aurait classé les sciences selon les « trois facultés de l'âme humaine » : les sciences de la raison, les mathématiques, la physique et la philosophie, les sciences de la mémoire : l'histoire et la biologie et finalement les sciences de l'imagination : la poésie. Contrairement au système cyclique de Piaget, la classification de Bacon intègre les disciplines poétiques et imaginales.

À travers les remaniements apportés à la matrice paradigmatologique, elle intégrerait désormais l'ensemble des sciences descriptives, analytiques, systématiques, génétiques et poétiques. Elle pourrait alors être considérée comme système global des sciences.

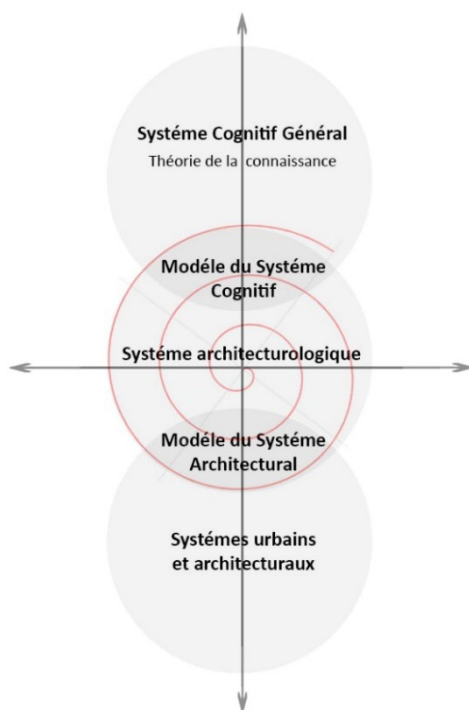


Figure 3. Modèle du Système Architecturologique

Le système architecturologique à la fois matériel et immatériel serait alors conçu à l'interface entre deux modèles, le modèle cognitif qui opèrerait à un niveau épistémologique et le modèle du système architectural qui expliquerait l'organisation et la conception à un niveau matériel. "A un premier niveau de modélisation, on produit de la connaissance sur l'architecture à un deuxième niveau de modélisation on montre comment est produite cette connaissance." (Dhouib, 2004)

⁵ L'hypothèse du « Système Cognitif Partiel-Total » est avancée par M. Dhouib dans sa thèse soutenue en 2004 et son mémoire d'Habilitation soutenue en 2005

Plus concrètement, l'application de la Théorie Générale des Systèmes dans le domaine de l'architecture nous permettrait de proposer un Modèle du Système Architecturologique ou Système Architectural Général. Pour ce faire, il suffit de montrer que les propriétés systémiques se retrouvent dans tout système architectural. Ce dernier se présenterait comme un tout *arborescent*, constitué de holons *autonomes quasi-décomposables*, ce qui lui confèrerait aussi la propriété d'*évolution*. Les holons seraient aussi des formes stables, des holons à partir desquels nous pourrions recomposer le système global.

3. Du modèle architectural au modèle numérique: la rétroconception appliquée aux thermes de Ain Doura

Nous allons appliquer le modèle du système architecturologique sur les thermes impériaux romains de Ain Doura situés à Dougga⁶ en vue d'illustrer nos généralisations symboliques.

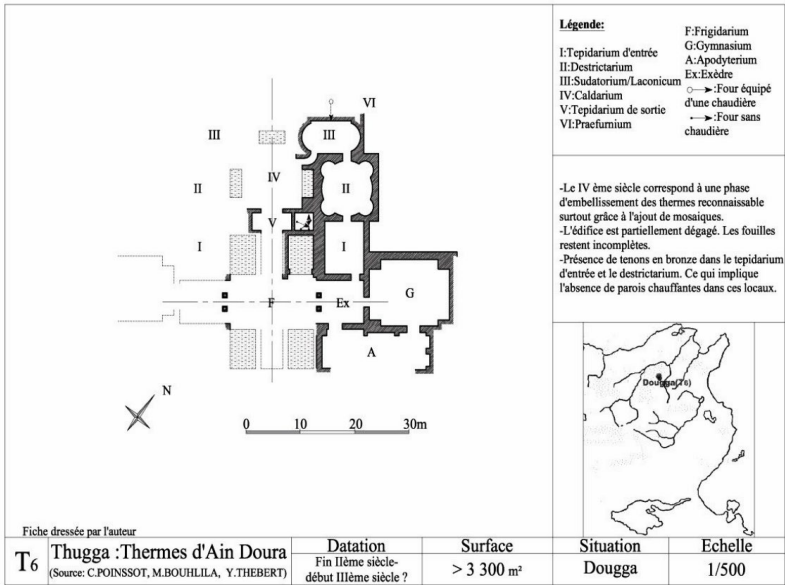


Figure 4. Fiche de présentation des thermes de Ain Doura. (Bouaita, 2008 d'après la monographie de Thebert)

⁶ « Ces thermes se situent dans le site archéologique de Dougga en Tunisie, ils sont de type impérial construits sur un terrain accidenté (15m environ de dénivellation). Leur datation remonte à la période entre la fin du II^e siècle et le début du III^e siècle ap. JC. Leur superficie est supérieure à 3300m² et les fouilles restent incomplètes. » (H. LICHHEB & al, 2012)

Des analyses géométriques physiques ont été établies au sein du laboratoire ArMC pour tirer un ensemble de règles géométriques constituant la grammaire et la syntaxe des thermes empiriques.

Nous nous basons sur ces résultats qui ont mené vers une hypothèse de restitution qui a servi de support pour les travaux réalisés en atelier de méthodologie d'enseignement du projet architectural niveau 2ème année visant à illustrer le processus de la méthode régénérative que nous modéliserons par la suite dans la maquette numérique. Ces travaux font abstraction du niveau du bâtiment en sous-sol réservé au service et ne tiennent pas compte de la deuxième toiture en charpente et double pente dans un souci de simplification de l'exercice.

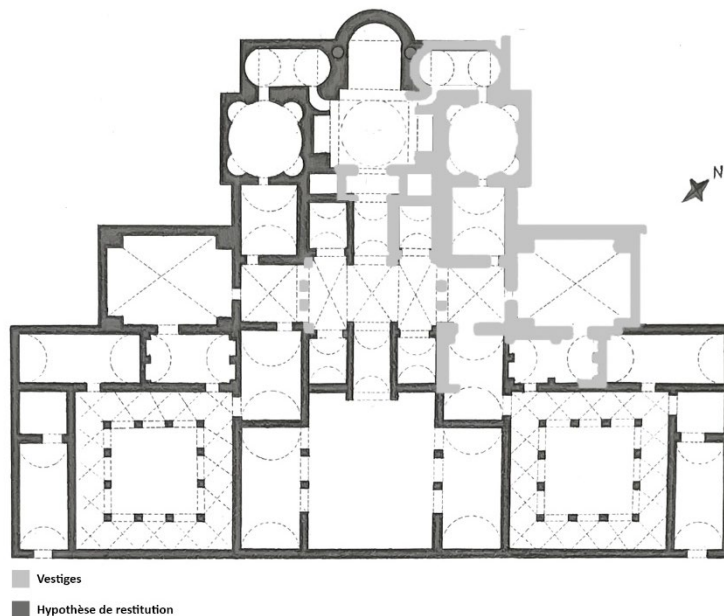


Figure 5. Plan RDC de restitution des Thermes de Ain Doura élaboré par les étudiants en 2ème année architecture (année universitaire 2022/2023)

3.1. Les Matrices de régénération : Modèle du Système Architecturologique

Nous allons appliquer le modèle de système architectural sur les thermes romains où sur le plan structural nous désignons par Espace Lieu Architectural ELA tout édifice présentant une double décomposition structurale. L'Espace Lieu Architectural serait alors formé par un milieu Habité Englobé MHE engendré par une enveloppe physique, un Dispositif Solide d'Englobement DSE. Ce dernier serait une paroi matérielle mécanique, c'est-à-dire une forme constructive FC et une forme géométrique ou plastique FP. Alors

que le milieu habité MHE se présenterait comme une Organisation d’Usage OU et une atmosphère ou une Forme Ambientale FA.

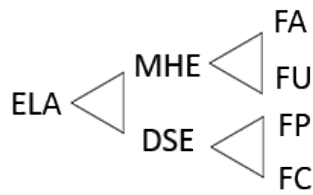


Figure 6. Décomposition de l’Espace Lieu Architectural ELA en milieu Habité Englobé MHE et Dispositif Solide d’Englobement DES, hiérarchie fonctionnelle

Le modèle du système architectural serait un modèle arborescent généralisable à n’importe quel édifice, bâtiment indépendamment de son style. Ces généralisations symboliques ont été mises en œuvre en atelier de projet et expérimentées au sein du labo ArMC. Nous distinguons alors la différence entre “structural” comme attribut d’une organisation systémique et “structurel” par rapport à la composition des éléments dans un tout.

Par ailleurs, tout édifice architectural ELA se déploierait dans l’espace comme une agrégation de salles interreliées sous forme d’emboîtement arborescent de holons hiérarchiques. Nous proposons de modéliser la composition structurelle comme suit :

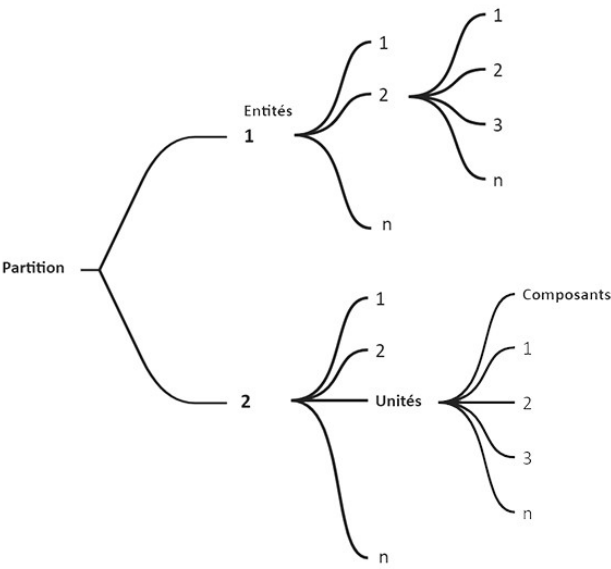


Figure 7. Arborescence et modélisation de la composition structurelle de l’Espace Lieu Architectural dans l’espace, hiérarchie structurelle

Nous pourrions combiner les deux types de hiérarchie fonctionnelle et structurelle dans une même matrice à double entrées dont les lignes renvoient à l'arborescence fonctionnelle et les colonnes à l'arborescence structurelle. Les croisements entre les lignes et les colonnes seraient alors les niveaux d'organisation c'est-à-dire des holons spatiaux.

		Partition	Entités	Unités	Composants
Espace Lieu Architectural	ELA				
Milieu Habité Englobé	MHE				NOS
Dispositif Solide d'Englobement	DSE				
Forme Ambiantale	FA				
Forme Usagère	FU				
Forme Plastique	FP			NOS	
Forme Constructive	FC				

Figure 8. Matrice structurale

Chaque case de la Matrice Structurale MS représenterait un niveau d'organisation spatiale NOS qui n'est pas nécessairement un élément spatial mais renvoie à une catégorie d'éléments arborescents. Une hiérarchie qualitative typologique de holons qui renseigne sur leur variété et leurs attributs⁷. Remonter le processus de formation, et décrire la variation reviendrait à décrire la genèse des éléments et la variété des typologies. Chaque niveau d'organisation spatiale pourrait être représenté sous forme de matrice dont les colonnes décriraient les stades de genèse et les lignes la variété ou la taxinomie des variantes.

⁷ La classification des NOS peut se présenter sous forme de Matrices taxonomiques rangées en classes, types et variantes.

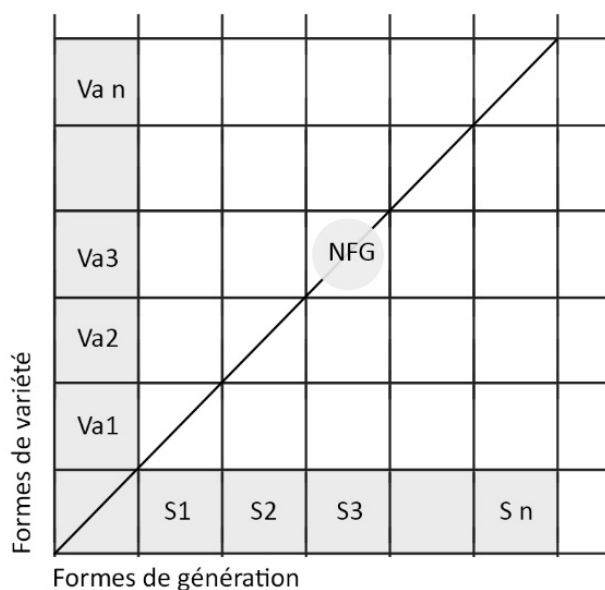


Figure 9. Matrice génétique

La matrice génétique remonterait pour décrire l'ontogenèse et la variation de chaque forme spatiale quelque soit son niveau d'organisation et montrer les possibilités de variation. L'ontogenèse et la variation obéiraient aux règles d'un jeu compositionnel. Ces règles seraient dictées par le style de chaque système architectural qui serait lui-même dérivé d'une doctrine esthétique propre à ce style et qui lui confère son identité. A tous les niveaux d'organisation spatiale, la doctrine dicterait les règles, le canon et les possibilités de variation, ce qui conférerait à tout système architectural son identité et ses stratégies d'adaptation et de variation.

Les styles architecturaux reconnus et les architectures paradigmatiques possèderaient donc un système identitaire qui les différencie. En ce qui concerne l'architecture romaine classique, plus spécifiquement les thermes impériaux, les règles et le canon découleraient de la vision du monde et de la doctrine poétique de cette culture. Cette vision d'ordre sphérique et centrée pourrait être décrite comme une configuration spatio-temporelle du modèle culturel de leur imaginaire et se matérialiserait dans la production architecturale. Une topologique, organisant la composition de l'édifice en tracés autorégulateurs, conférerait aux formes physiques et à la matérialité une configuration géométrique, une composition plastique, une conformation.

Le tracé autorégulateur assurerait l'équilibration entre les composants spatiaux, affirmant leur identité propre, et les intégrant dans les holons qui les contiendraient dans un mouvement récursif des parties vers le tout et du tout vers les éléments. Il s'agirait d'un mouvement de conversion poétique qui élèverait les conformations matérielles vers les configurations spirituelles et l'inversion de ces dernières en vue de les rendre tangibles. Nous baptisons cet appareil de conversion poétique Matrice Imaginale MI.

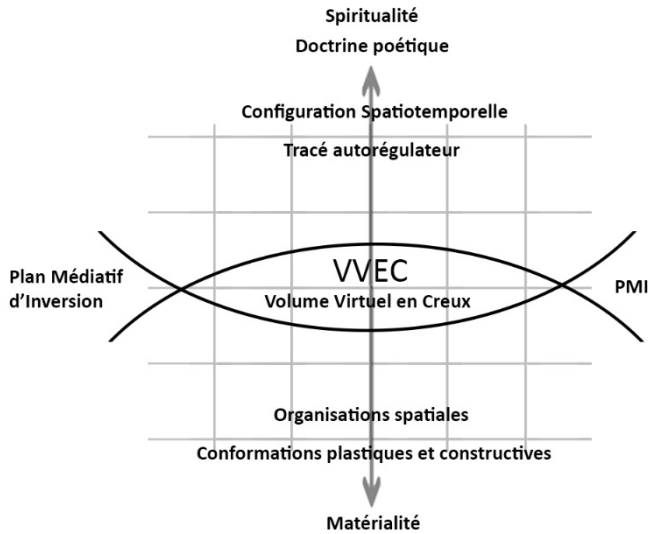


Figure 10. Matrice imaginaire

Nous pouvons même avancer que la dynamique de formation transformation équilibration se joue au niveau du seul Volume Virtuel En Creux VVEC. Ce dernier est commandé par le plan médiatif d'inversion PMI ou paradigme qui se décline en Tracé Auto-Régulateur, un mécanisme de régulation des interfaces imaginale, structurales et génératives.

Nous baptisons Matrice Architecturologique, ce système ternaire ; où s'articulent les trois matrices Imaginale, Structurale, et Générative pour fonctionner ensemble et en même temps, reliant les parties au tout et inversement.

3.2. Maquette virtuelle cognitive et autoreproduction

La Matrice architecturologique se présente comme un modèle complexe où nous retrouvons les trois perspectives cognitives que nous avons identifiées pour décrire tout processus cognitif, les perspectives imaginale, structurale et générative relevant de l'hypothèse du Système Cognitif Partiel Total. Face à la complexité des perspectives étroitement liées du modèle architecturologique nous nous interrogeons par rapport au moyen le plus adéquat à sa représentation.

Le système de représentation architectural s'est apparenté au paradigme géométrique euclidien depuis la Renaissance qui repose sur les projections orthogonales et se caractérise par la bidimensionnalité et la linéarité du processus de conception.

Avec l'avènement de l'informatique, le système de représentation serait en train de muter vers la maquette numérique qui bouleverse notre rapport avec le processus de conception. La superposition des différents lots sur un même modèle devient possible,

ainsi que le déplacement en temps réel. La maquette numérique permet une représentation immersive du projet, offrant une perception presque réelle de l'objet architectural en question.

Ce système de représentation nous a semblé potentiellement adapté à la représentation du modèle architecturologique et des processus génératifs de la forme.

La rétroconception spatiocognitive suivrait un processus taxonomique, analytique et génétique permettant d'aboutir à un modèle génératif, rassemblant les connaissances, représenté par une maquette numérique qui passe ainsi à un niveau d'abstraction supérieur rassemblant des systèmes complexes adaptatifs et créatifs du spécimen architectural. Elle n'est plus seulement représentative elle devient cognitive et conceptuelle.

La maquette virtuelle cognitive est au croisement de deux savoirs, l'un découlant d'une intelligence artificielle, la représentation virtuelle, l'autre découlant d'une intelligence naturelle, le modèle théorique.

Ce croisement appliqué aux thermes impériaux de Ain Doura nous permettrait de générer un modèle rassemblant des connaissances précises ce qui réduirait l'écart d'incertitude dans les hypothèses de restitution proposées. L'autoreproduction des thermes incomplets serait alors possible à partir de ce modèle régénératif.

Une autoreproduction virtuelle ou Digital Twin fidèle aux thermes étudiés qui constituerait une convergence entre deux mondes : le physique et le virtuel.

Dans une ville en perpétuelle mutation, nous proposons la maquette virtuelle cognitive, qui à travers les jumeaux numériques pourrait constituer une mémoire informationnelle durable du patrimoine assurant sa conservation et la restitution de la mémoire du lieu.

Conclusion

Notre intérêt pour la restitution de vestiges incomplets nous a orienté vers l'architecturologie systémique et son modèle régénératif apte à extraire le système informationnel à partir de fragments. Ce modèle compléterait l'approche archéologique vers l'émergence d'une nouvelle méthode de rétroconception spatiocognitive.

Du croisement entre la Théorie des Systèmes Hiérarchiques Autonomiques Ouverts de Koestler et la Théorie du Développement Cognitif de Piaget nous sommes arrivés à un résultat essentiel au développement ultérieur de nos recherches. La Matrice Paradigmatologique du Système Cognitif Général aussi bien que la Matrice Architecturologique obéissent à la même structure, c'est une espèce de Méta-Structure dynamique, une Trans-Forme qui s'organise en nébuleuse spirale exprimant le principe holographique. Une difficulté se présente à nous de ce double résultat. Comment représenter cette structure dynamique ouverte qui produit cette forme-process en elle, qui à son tour produit cette structure, en respectant les trois principes de la complexité : le principe hologrammatique, le principe dialogique et le principe récursif ?

Appliquée aux thermes de Ain Doura, la rétroconception spatiocognitive nous a permis de générer un jumeau virtuel qui dépasse le réel. La méthode peut être généralisée à tous les systèmes architecturaux passés. Face à une expérimentation réelle inconcevable, la maquette numérique nous a servi d'interface intermédiaire entre le réel et le virtuel. L'intelligence artificielle associée à l'intelligence naturelle accorde à la maquette virtuelle

une nouvelle dimension poétique. Elle passe d'un simple outil de représentation à une maquette cognitive rassemblant l'ensemble des connaissances nécessaires à la reconception. A quel point le jumeau numérique créé par la maquette virtuelle cognitive reproduit-il le modèle réel ?

Nous n'avons considéré que le Système Architectural Romain, en particulier le système des thermes impériaux de Tunisie que nous avons essayé de modéliser. Nous nous interrogeons alors sur la représentation de l'emboîtement hiérarchique de la totalité des systèmes architecturaux. Si l'identité de tout système et de tout holon s'obtient par différenciation holographique, est-ce que l'identité d'un spécimen serait une fonction différentielle de son intégration au système global ?

Nous pensons avoir présenté une méthode qui au-delà de sa capacité à reconstituer des vestiges incomplets ouvre le champ à l'architecturologie expérimentale à travers la maquette numérique cognitive. De cette alliance, pourrait émerger une nouvelle pédagogie d'enseignement du projet architectural.

Bibliographie

Livres

- Bertalanffy, Ludwig von. *Théorie générale des systèmes*. Paris : Dunod, 1993.
- Koestler, Arthur. *Le cheval dans la locomotive : le paradoxe humain*. Paris : Calmann-Lévy, 1979.
- Koestler, Arthur. *Janus : esquisse d'un système*. Paris : Calmann-Lévy, 1979.
- Kuhn, Thomas Samuel. *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion, 2008.
- Morin, Edgar. *Introduction à la pensée complexe*, ESR, Paris, 1990.
- Piaget, Jean. *Logique et connaissance scientifique*, Paris : Gallimard, 1967.
- Piaget, Jean, et Rolando García. *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion, 1983.
- Tabary, Jean-Claude. *Cognition, systémique et connaissance*. Dunod. France, 1991.

Articles

- Lichieb, Houda, Karim Bouaita, et Mounir Dhouib. « Modélisation architecturologique des thermes impériaux romains de Tunisie », *Courrier du Savoir*, 13, n° 1 (2014).

Thèse de doctorat

- Bouaita, Karim. « Rétro-conception architecturale ; le modèle des thermes impériaux romains de Tunisie. » ENAU, 2015.
- Dhouib, Mounir. « De la construction de connaissances à la création : modélisation du processus de conception architecturale ». ENAU, 2004.
- Souissi, Imen. « Rétro-conception paramétrique des thermes impériaux de Rome ». ENAU, 2019.