

Université de Montréal

Intégration de méthodes informatiques dans le processus de restitution  
en égyptologie

Par

Hacène Izza

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de  
Maîtrise ès sciences appliquées (M.Sc.A.)  
en aménagement  
Option CMFAO

Août 2003

© Hacène Izza, 2003



NA

9000

U54

2004

V.008

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Intégration de méthodes informatiques dans le processus de restitution  
en égyptologie

Présenté par :

Hacène Izza

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Manon Guité  
.....

Directeur de recherche  
Giovanni De Paoli  
.....

Président du jury  
Jean Reves  
.....

Membre du jury  
.....

## SOMMAIRE

L'objectif de cette recherche est d'établir une méthode informatique qui permettra de générer, à partir d'une description iconographique d'un ensemble de blocs, la restitution automatique d'un mur. Cette recherche se situe dans le contexte de l'égyptologie.

Pour ce faire, nous avons commencé par décrire les premières tentatives de restitution jusqu'à l'avènement de l'outil informatique. Cette partie nous a permis de constater les différentes méthodes utilisées à ce jour avec les contraintes et les avantages.

Dans la seconde partie, nous avons procédé à une description de certains aspects de l'iconographie égyptienne. Cette partie nous a permis de dégager les règles qui la caractérisent.

Ensuite, nous avons décrit les différentes étapes du travail d'un égyptologue dans le processus de restitution ainsi que les éléments pertinents de deux méthodes de restitution sur lesquels nous nous appuyerons.

Cela nous a conduit à développer une stratégie de description et de classement des iconographies égyptiennes, qui nous a amené à proposer deux façons de connecter deux blocs entre elles par une méthode informatique.

Mots clés : Iconographie, restitution, bases de données, programmation orienté objet.

## ABSTRACT

---

The objective of this research is to establish a computer methodology of data-processing, starting from an iconographic description of a set of stones, the automatic restitution of a wall. This research is in the context of Egyptology.

To do that, we started to describe the first attempts of restitution from its beginnings until the advent of the data-processing tool. This part enabled us to note the various methods used until now with the constraints and the advantages.

With the second part, we carried out a description of certain aspects of the Egyptian iconography. This part enabled us to release the rules which characterize the Egyptian iconography.

Then, we described the various stages of the work of an Egyptologist in the process of restitution.

That led us to develop a strategy of description of the Egyptian iconographies, which led us to propose two ways of connecting two blocks between them by a data-processing method.

Key words: Iconography, restitution, data bases, oriented programming object.

## TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DU JURY.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
REMERCIEMENTS.....	xv
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMATIQUE.....	2
1.2 QUESTION DE LA RECHERCHE.....	2
1.3 OBJECTIF DE LA RECHERCHE.....	3
1.4 LIMITES DE LA RECHERCHE.....	3
1.5 PLAN DE TRAVAIL ENVISAGÉ.....	3
1.6 DEFINITIONS PRELIMINAIRES.....	4
<b>CHAPITRE 2 : HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES MÉTHODES DE RESTITUTION EN ÉGYPTOLOGIE.....</b>	<b>6</b>
2.1 INTRODUCTION.....	6
2.2 LES PREMIÈRES RESTITUTIONS .....	7
2.3 LES PREMIÈRES RESTITUTIONS SCIENTIFIQUES.....	9

2.3.1	L'expédition de Bonaparte les premières restitutions en égyptologie.....	10
2.3.2	Le déchiffrement des hiéroglyphes.....	12
2.3.3	La photographie et la restitution.....	13
2.4	METHODES DE RESTITUTION.....	13
2.5	LES METHODES MANUELLES.....	14
2.5.1	Techniques de l'épigraphe.....	14
2.5.2	The " Chicago house method " .....	14
2.5.3	La méthode de relevé de blocs.....	16
2.5.4	La méthode de l'anastylose.....	17
2.5.5	Présentation d'une méthode de restitution manuelle.....	18
2.6	LES METHODES INFORMATIQUES.....	20
2.6.1	Premières applications informatiques.....	21
2.6.2	Les bases de données en égyptologie.....	22
2.6.3	Les systèmes experts et restitution.....	24
2.6.4	Méthodes de restitution pertinentes.....	25
2.6.4.1	The akhenaten temple project.....	25
2.6.4.2	Méthode par systèmes expert.....	32
2.6.4.3	La méthode du GRCAO.....	38
2.7	CONCLUSION.....	40
	<b>CHAPITRE 3 : ASPECTS DE L'ICONOGRAPHIE EGYPTIENNE.....</b>	<b>41</b>
3.1	PROPRIETÉS DE L'ICONOGRAPHIE EGYPTIENNE.....	41
3.1.1	Formes de représentation.....	41



3.1.2 Règles de représentation .....	43
3.1.3 La couleur.....	47
3.1.4 Thèmes de représentation.....	48
3.1.5 Répertoire iconographique.....	49
3.2 LA GRILLE SYSTEME.....	51
3.3 CONCLUSION.....	54
<b>CHAPITRE 4 : SYSTEME CONSTRUCTIF.....</b>	<b>56</b>
4.1 PROCEDÉS DE CONSTRUCTION.....	56
4.1.1 Taille des blocs.....	56
4.1.2 Type de blocs.....	57
4.1.3 Disposition des blocs.....	57
4.1.4 Disposition des murs.....	58
4.2 CONCLUSION .....	59
<b>CHAPITRE 5 : ELEMENTS DE DEFINITION DU PROCESSUS DE RESTITUTION.....</b>	<b>60</b>
5.1 INTRODUCTION.....	60
5.2 LES CRITERES DE CONNECTION.....	60
5.2.1 Les critères de connections iconographiques.....	61
5.2.2 Les critères de connections architecturales.....	62
5.3 CONCLUSION.....	64
<b>CHAPITRE 6 : METHODE INFORMATIQUE PROPOSÉE .....</b>	<b>64</b>

6.1	OBJECTIFS.....	65
6.2	ELEMENTS D'OBSERVATION DU PROCESSUS DE RESTITUTION.....	65
6.2.1	Le critère iconographique.....	60
6.2.2	Le critère architectural.....	67
6.3	ELEMENTS PERTINENTS DES METHODES ANTERIEURS.....	67
6.3.1	The Akhenaten Temple project.....	69
6.3.2	Méthode par système expert.....	70
6.4	PRESENTATION DE LA METHODE.....	73
6.5	CHOIX DE L' OUTIL.....	74
6.6	IDENTIFICATION DES DONNÉES.....	74
6.6.1	Choix du bloc.....	74
6.6.2	L'entité visuelle.....	76
6.6.3	Propriété des vecteurs.....	80
6.6.4	Les relations descriptives.....	80
6.6.5	Répartition des vecteurs.....	87
6.7	LA GRILLE SYSTEME.....	87
6.7.1	Méthode par division.....	87
6.8	LES BASES DE DONNÉES.....	91
6.8.1	Forme de la base de données.....	92
6.8.2	Modèle conceptuel relationnel de la base de données .....	94
6.9	LA RECHERCHE PAR ZONE.....	96
6.10	RECHERCHE PAR ASSOCIATION.....	101

6.11 CONCLUSION.....	107
<b>7. CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>111</b>

## Liste des figures

- Figure 1 : Villa Vicenza.....	8
- Figure 2 : Le forum d'Auguste : Le temple de Mars Ultor.....	8
- Figure 3 : Viollet-le-Duc : Analyse du partheon.....	9
- Figure 4 : Vue géométrale du portique de Denderah.....	11
- Figure 5 : Thèbes, medinet Habou.....	11
- Figure 6 : La pierre de Rosette.....	12
- Figure 7 : Reproduction des épigraphies.....	15
- Figure 8 : Reproduction des épigraphies.....	15
- Figure 9 : Complément des parties manquantes.....	16
- Figure 10 : Complément des parties manquantes.....	16
- Figure 11 : Lits d'attente.....	18
- Figure 12 : Queues d'aronde.....	18
- Figure 13 : Premiers assemblages.....	19
- Figure 14 : Interprétation des vides.....	22
- Figure 15 : Ensemble de rayons solaires.....	27
- Figure 16 : Convergence des rayons solaires.....	29
- Figure 17 : Répartition de la surface du bloc ( D.Redford).....	29
- Figure 18 : Répartition de la surface du bloc ( R.Vergnieux).....	35
- Figure 19 : Schéma de principe.....	36
- Figure 20 : Projection de points.....	39
- Figure 21 : Relief du temple d'Hatshepsout.....	42

- Figure 22 : Relief en creux.....	42
- Figure 23 : Relief gravé.....	43
- Figure 24 : Ligne horizontale.....	44
- Figure 25 : Figurants se chevauchant.....	45
- Figure 26 : Mesures et proportions.....	45
- Figure 27 : L'échelle de représentation.....	46
- Figure 28 : Relief représentant Osiris.....	48
- Figure 29 : Les différents thèmes.....	49
- Figure 30 : Personnage recevant une offrande et félicitant.....	50
- Figure 31 : Personnage manifestant un désaveu et une adoration.....	50
- Figure 32 : Personnages serrés exprimant un deuil.....	50
- Figure 33 : Personnage présentant une offrande et une réjouissance....	51
- Figure 34 : Représentation de l'axe vertical et horizontal.....	51
- Figure 35 : La coudée royale.....	52
- Figure 36 : La coudée royale. La subdivision.....	52
- Figure 37 : Traces de l'échelle des proportions.....	53
- Figure 38 : Grille pour esquisser les figures.....	53
- Figure 39 : Introduction de la grille système dans l'architecture.....	54
- Figure 40 : Les deux types de blocs.....	57
- Figure 41 : Disposition des blocs.....	58
- Figure 42 : Vue d'ensemble de la position des blocs.....	58
- Figure 43 : Recherche du bloc.....	62
- Figure 44 : Bloc contenant un élément iconographique.....	66

- Figure 45 : Zones hachurées et suite du dessin.....	51
- Figure 46 : Zones hachurées et élément iconographique visible.....	71
- Figure 47 : Résumé de la méthode proposée.....	73
- Figure 48 : Position des blocs par rapport au système de coordonnées...	75
- Figure 49 : Entités visuelles présentes sur le bloc.....	77
- Figure 50 : Éléments géométriques visibles sur la surface d'un bloc.....	79
- Figure 51 : Bloc représentant un ensemble de vecteurs .....	81
- Figure 52 : Vecteur avec un angle d'inclinaison.....	82
- Figure 53 : Type et orientation de vecteur.....	83
- Figure 54 : Orientation du vecteur et angle d'inclinaison.....	84
- Figure 55 : Disposition des blocs et système de coordonnées.....	85
- Figure 56 : Bloc avec des zones de rupture des vecteurs.....	85
- Figure 57 : Bloc en boutisse. Subdivision.....	88
- Figure 58 : Bloc en carreau. Subdivision.....	88
- Figure 59 : Bloc en carreaux. Système de coordonnés.....	89
- Figure 60 : Bloc en boutisse. Système de coordonnés.....	89
- Figure 61 : Bloc en carreaux. Position des entités visuels.....	90
- Figure 62 : Blocs en boutisse. Position des entités visuelles.....	90
- Figure 63: Schéma du système de gestion de la base de données.....	94
- Figure 64 : Schéma détaillé de gestion de la base de données.....	95
- Figure 65 : Position du vecteur de départ.....	96
- Figure 66 : discontinuité du vecteur sur les deux cotés.....	84

**Liste des tableaux.**

- Tableau 1 : Résumé des interprétations de la stèle.....	24
- Tableau 2 : Descriptif des informations.....	28
- Tableau 3 : Structure de données.....	68
- Tableau 4 : Structure de données utilisée par D.Refdfort.....	70
- Tableau 5 : Structure de données utilisée par R.Vergnieux.....	72
- Tableau 6 : Récapitulatif des propriétés des vecteurs.....	86
- Tableau 7 : Attributs de i et j selon la position des blocs.....	100
- Tableau 8 : Combinaison de groupe de blocs.....	103

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été grandement facilitée par des personnes que je tiens à remercier pour leur aide, leurs conseils et leurs informations, tout particulièrement Manon Guité Professeure agrégée à l'Université de Montréal, qui a acceptée d'être mon directeur de mémoire. J'ai été particulièrement sensible aux remarques et questions qu'elle a bien voulu formuler. Celles-ci m'ont permis de clarifier constamment ma réflexion et la justesse des idées présentées.

Ma reconnaissance et mes plus vifs remerciements à Jean Revez égyptologue, pour ses suggestions, critiques et conseils à la rédaction de la partie concernant les aspects liés à l'égyptologie. Ensuite, j'exprime mes remerciements à De PAOLI Giovanni membre du jury et ma reconnaissance à Michel Gay et à Robert Godin, respectivement professeurs aux département d'histoire et d'informatique de l'UQAM.

Enfin, merci encore à toutes les personnes qui, en me recevant, ont rendu ce travail possible.



A mon père,

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Les égyptologues et les architectes spécialisés dans la recherche archéologique sont confrontés à d'importants problèmes de simulation des hypothèses de restitution des monuments. Les moyens manuels utilisés ne peuvent plus remplir tous les besoins qui se font jour dans cette discipline. C'est pourquoi il convient de s'interroger sur les services que peuvent rendre les nouvelles techniques de l'informatique, et de penser au renouvellement de méthodes adaptées qui pourraient aider au développement du champ de questionnement de la discipline égyptologique et faire ainsi émerger de nouvelles méthodes informatiques de restitution des monuments grâce à l'introduction des outils informatiques.

Le but essentiel de notre recherche est d'apporter une aide au travail égyptologique sous deux aspects : dans un premier temps par la mise en œuvre d'une méthode d'acquisition de données qui s'appuiera sur les contenus iconographiques et dans un deuxième temps par l'organisation d'un système de base de données.

Notre objectif est de pouvoir trouver une méthode de description de l'iconographie égyptienne qui pourrait nous permettre d'une part, de pointer des critères de connexion entre les blocs, et d'autre part, qui faciliterait les recherches d'assemblage. Nous nous appuyerons d'une part, sur les résultats pertinents de travaux antérieurs, et d'autre part, sur le raisonnement de l'égyptologue qui, dans le processus de restitution, s'appuie sur des indices architecturaux et iconographiques.

### 1.1 PROBLEMATIQUE

Les hypothèses de restitution que les égyptologues échafaudent se heurtent souvent au caractère impressionnant de données dont ils disposent. Bien souvent, les méthodes traditionnelles de restitution limitent les possibilités de recoupement de ces informations et ne permettent pas toujours de détecter les éventuelles incohérences entre données, ou bien encore, la lourdeur des méthodes limite souvent le nombre d'hypothèses de restitution.

Pour amorcer son travail de restitution, l'égyptologue s'appuie souvent sur des indices architecturaux ou iconographiques contenus sur chacune parmi les centaines de blocs<sup>1</sup>. Il procède par la suite à des amorces d'assemblages par le recouplement des informations. L'aspect traditionnel de ce travail est souvent une source d'erreurs eu égard à la quantité importante d'informations qu'il est amené à stocker, à manipuler et à traduire. Et c'est pourquoi, ces dernières années, des travaux de restitution se sont multipliés visant à améliorer les techniques d'assemblage des blocs par l'introduction de méthodes plus performantes. Le développement vertigineux des outils et programmes informatiques a poussé les chercheurs à exploiter de nouvelles pistes de recherche en vue d'améliorer les procédés de restitution.

Avec les outils informatiques actuels, il est possible de développer une méthode qui consiste à améliorer les procédés d'assemblage des blocs en intégrant le raisonnement égyptologique qui consiste à identifier, décrire et organiser la position de chacune des centaines de blocs en référence à leur contenu iconographique et leur indice architectural.

## 1.2 QUESTION DE LA RECHERCHE

- Quelle stratégie possible avec les moyens informatiques actuels nous permettra de générer un assemblage des blocs d'un mur en se basant sur leur contenu iconographique.
- Quelle stratégie adopter pour décrire le contenu iconographique d'un bloc en tenant compte de ses connections avec les autres.

## 1.3 OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Notre but est de proposer une méthode qui permettra de générer un assemblage de

---

<sup>1</sup> Indices architecturaux : la mesure des blocs, la position des queues d'aronde (Tenon en forme de queue d'hirondelle et qui doit entrer dans une entaille de même forme) etc.

Indices iconographiques : les représentations hiéroglyphiques, les scènes des peintures murales etc.)

blocs à partir de leurs contenus iconographiques.

#### 1.4 LIMITES DE LA RECHERCHE

Cette étude ne se veut pas une étude exhaustive de restitution, mais elle sera limitée au contexte de l'égyptologie et particulièrement au temple d'Aménophis IV à Karnak. Le choix de ce site est dicté par le fait qu'il est le mieux documenté et présente un intérêt particulier au plan épigraphique. Aussi, les recherches que nous exploitons pour appuyer notre travail ont expérimenté leurs méthodes dans ce même site.

#### 1.5 PLAN DE TRAVAIL ENVISAGÉ

Notre démarche consiste à nous rapprocher davantage des méthodes des égyptologues qui, pour connecter deux blocs entre eux, effectuent un rapprochement entre les associations iconographiques présentes sur les blocs ainsi que les relations qui les unissent. Notre approche consiste à décrire logiquement les iconographies ainsi que les critères de connections pour un assemblage.

Les étapes de la recherche se présentent comme suit :

**Première étape : Dans cette étape nous décrivons les origine et l'évolution des méthodes de restitution en égyptologie dans l'ordre qui suit :**

- 1) Les différentes méthodes de restitution avant et après l'introduction des outils informatiques.
- 2) Les connaissances sur lesquelles s'appuient les chercheurs et la manière dont sont manipulées ces données.
- 3) Les recherches actuelles en matière de restitution basées sur la description des contenus iconographiques.

**Deuxième étape : Dans cette étape nous procéderons a l'analyse des propriétés de l'iconographie égyptienne et consiste a :**

Analyser les règles et les thèmes de représentation ainsi que les techniques utilisées.

**Troisième étape : dans cette étape nous définirons du processus de restitution en :**

Analysant le cheminement qui permet a un égyptologue d'affirmer que deux blocs sont jointifs. Le but étant d'identifier le processus de restitution pour dégager une stratégie.

**Quatrième étape : Cette étape nous permettra de dégager une stratégie en nous appuyant :**

D'une part, sur les éléments pertinents de recherches antérieurs en tenant compte du raisonnement de l'égyptologue, et d'autre part, sur les derniers développements en matière informatique.

#### DEFINITIONS PRELIMINAIRES

Pour commencer, il convient de donner une définition exacte de certains mots employés dans cette recherche.

**RESTITUTION :** Le mot " restitution " signifie : Action de rétablir, de remettre une chose, dans son premier état, représentation d'un monument en ruine à partir de documents imparfaits, action de rendre à quelque chose sa forme primitive. (Dictionnaire Larousse)

**ICONOGRAPHIE :** Étude descriptive des différentes représentations figurées d'un même sujet ; ensemble classé des images correspondantes. (Dictionnaire Larousse).

**EPIGRAPHIE :** Science auxiliaire de l'histoire ayant pour objet l'étude des inscriptions (parmi lesquelles les épigraphes), généralement anciennes, gravées ou parfois peintes sur des supports durables. (Dictionnaire Hachette).

**ANASTYLOSE** : C'est un terme archéologique qui désigne la technique de reconstruction d'un monument en ruine grâce à l'étude méthodique de l'ajustement des différents éléments qui composent son architecture. (Wikipédia, l'encyclopédie libre).

**DAGUERRÉOTYPE** : Procédé inventé de 1813 à 1829, par Niepce et Daguerre, à l'aide duquel on fixait les images de la chambre noire sur des plaques d'argent sensibilisées à la vapeur de l'iode. (Dictionnaire Hachette)

## CHAPITRE 2 : HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES MÉTHODES

### DE RESTITUTION EN ÉGYPTOLOGIE

Dans cette partie, nous nous proposons d'esquisser l'origine et les grandes étapes de l'évolution de la restitution en général et plus particulièrement en égyptologie afin de pouvoir situer le sujet de notre étude. Nous verrons aussi les différentes méthodes de restitution utilisées, avec quelques exemples de cas à la fin de chaque section.

#### 2.1 INTRODUCTION

La restitution en général n'a pas représenté un centre d'intérêt à toutes les époques de l'histoire humaine. Longtemps, et souvent, les villes et monuments concernant une époque antérieure ont été évoqués sans toutefois le souci de pouvoir les reconstruire. Ce n'est qu'au siècle dernier que des travaux sporadiques de restitution ont été mentionnés. Dans le domaine de l'égyptologie, c'est en partie grâce à l'expédition de l'Empereur Bonaparte que le monde prit connaissance de l'existence des merveilleux monuments qu'on voulait plus tard connaître. La fascination qu'a porté l'Égypte sur les hommes les a conduit à de curieuses aventures pour la découverte des monuments et vestiges et de tenter plus tard de les restituer. Des années plus tard, on commençait à réfléchir sur des méthodes qui pourraient aider à restituer ces temples.

La découverte de la photographie fut l'un des événements les plus marquants de l'histoire de l'égyptologie qui a permis à beaucoup d'égyptologues de développer des procédés pour retracer les vestiges de certains édifices en utilisant les trois techniques photographiques<sup>2</sup>. La thèse de doctorat de Claire BUSTARRET, "parcours entre lire et voir : les albums photographiques de voyage en Orient (1850-1880)" ainsi que le mémoire de DEA de Nicolas LE GUERN "L'Égypte et ses premiers photographes" constituent une bonne introduction sur les différentes techniques et du matériel utilisés de 1839 à 1869.

---

<sup>2</sup> Le daguerréotype, le négatif sur papier ciré ainsi que le négatif sur plaque de verre.

Des méthodes de restitution prenaient forme. Ensuite, avec l'avènement de l'outil informatique, des travaux ont vu le jour avec d'autres méthodes de restitution qui nous ont permis aujourd'hui de comprendre une grande partie de l'histoire de l'égyptologie.

## 2.2 LES PREMIÈRES RESTITUTIONS

Il serait difficile de citer tous les architectes et tous les travaux de restitution qui furent réalisés sur les sites archéologiques<sup>3</sup>. Nous allons évoquer les grandes lignes.

C'est à l'époque de la Renaissance que l'on situe la véritable origine de la démarche intellectuelle qui permit d'aboutir aux premières restitutions architecturales.

Il faudrait citer en premier lieu l'œuvre de Palladio (1508-1580)<sup>4</sup>. Celui-ci, centré sur la recherche du savoir faire des anciens et la compréhension des formes de l'architecture romaine, a le regard d'un architecte de la renaissance soucieux de découvrir les chef d'œuvre de l'antiquité et de s'en inspirer ensuite dans ses propres créations.

Palladio dessina, releva et restitua alors un grand nombre de monuments (fig.1). Il s'inspira profondément de l'architecture romaine dans ses créations architecturales, mais il su comprendre et dépasser la tradition. En 1570, parut son traité "les Quattro Libri" (Quattro Libri dell'architettura, imprimé à Venise en 1570).

Cependant, Palladio n'avait pas de réflexion purement archéologique. Il voulut retrouver, à partir d'un exemple particulier, un archétype susceptible de servir de point de départ à sa réflexion.

---

<sup>3</sup> L'histoire des multiples contributions des architectes aux travaux de restitution reste encore à retracer.

<sup>4</sup> Architecte italien du 16<sup>e</sup> s. (1508-1580). Il a influencé toute l'architecture néo-classique du 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> s. grâce à sa réactualisation des formes antiques (colonnes, frontons, etc....).



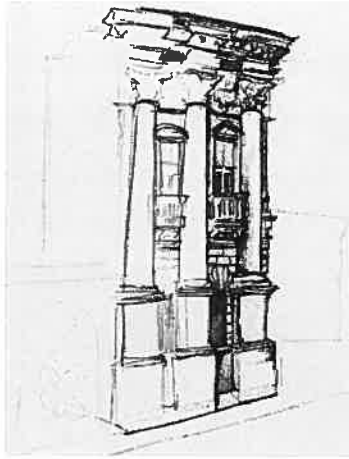


Fig.1 Dessin de Palladio Villa, Vicenza.  
Photo : Vicenza Institute of Architecture

Ses restitutions, qui s'appuient sur Vitruve (25 av. J.-C)<sup>5</sup>, peuvent être qualifiées de relativement libres et inspirées. Elles n'en sont pas moins remarquables et d'une précision inégalée jusqu'ici. Citons notamment ses coupes des thermes de Caracalla, du temple de Trevi ou encore du forum d'Auguste, temple de Mars Ultor (fig.2).

On ne peut pas dire qu'un théoricien de l'architecture antique tel que Vitruve ait vraiment abordé la démarche de la restitution architecturale. Il a voulu surtout énoncer des règles inspirées de monuments anciens, utiles à la construction des édifices de son époque mais qui furent en réalité rarement appliquées telles quelles.

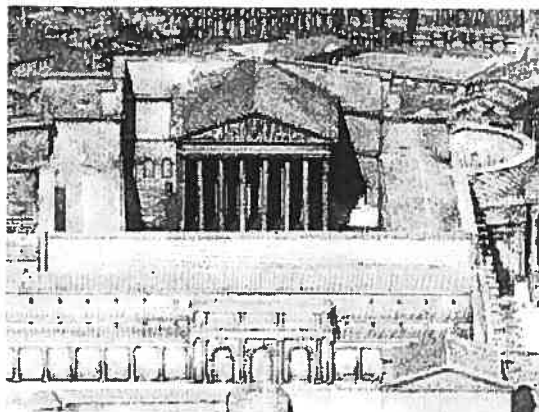


Fig.2 : Le Forum d'Auguste : le Temple de Mars Ultor.  
Photo : C. Jadot

<sup>5</sup> Architecte romain du I<sup>er</sup> siècle avant notre ère. Auteur du célèbre traité « De architectura » où il décrit l'état de l'architecture de son époque, ainsi que de nombreux bâtiments du monde romain. C'est l'un des nombreux constructeurs de l'époque de Jules César.

Autre œuvre incontournable dans le domaine de la restitution, celle d'Eugène Emmanuel Viollet-Le-Duc (1814-1879)<sup>6</sup>. Ce dernier fut l'auteur de nombreuses planches de restitution comme la cité de Carcassonne, le château de Blois ou l'analyse du Parthénon (Fig.3)

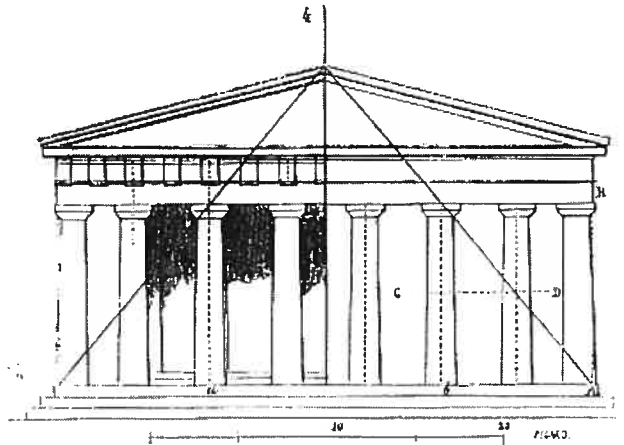


Fig. 3. Croquis Viollet-le-Duc. "analysis of the Parthenon", 1863

On peut citer également l'œuvre de Feodor Joseph Herbert Hoffbauer (1829-1922)<sup>7</sup>. " L'une de ses grandes œuvres fut la représentation des quartiers de Paris avant la démolition et après la reconstruction. Son travail consistait à dessiner l'aspect des divers monuments et quartiers à travers les époques". (J. Pérouse de Monclos, Histoire de l'architecture française, de la Renaissance à la Révolution, Monge, Paris, 1989, p.85).

Il faudra attendre longtemps pour que cette démarche suscite à nouveau un grand intérêt afin, en tout cas, qu'elle puisse être considérée comme caractéristique de la vision d'une époque.

### 2.3 LES PREMIERES RESTITUTIONS SCIENTIFIQUES

<sup>6</sup> Architecte et théoricien Français qui se forma auprès d'Achille Leclère (1785-1853), dessinant de nombreux monuments au cours de ses voyages en France et en Italie (1836-1837). En 1840, il entre au Service des monuments historiques, avec Durban et Lassus. C'est le début d'une longue carrière de restaurateur

<sup>7</sup> Architecte Français à qui on doit le formidable livre " Paris à travers les ages", Textes de Bonnardot, Cousin, Drumont [e.a.]. Paris, Firmin-Didot, 1885. 2 vol. Il décrit les aspects successifs des monuments et quartiers historiques de Paris depuis le XIIIe siècle jusqu'à la moitié du IXe siècle, fidèlement restitués d'après les documents historiques.

Les premières restitutions scientifiques sont sans aucun doute livrées dans la "Description de l'Égypte" (Description de l'Égypte ou recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'armée française", Paris, imprimerie Impériale, 1809-1828). Monumentale publication des travaux des savants qui accompagnèrent l'expédition de Bonaparte en Égypte. On sait quelle importance a revêtu cette campagne-éclair en raison de la masse considérable et la qualité exceptionnelle des recherches scientifiques qui furent réalisées et publiées.

### 2.3.1 L'expédition de Bonaparte et les premières restitutions en Egyptologie

La campagne d'Égypte conduite par Bonaparte en 1798, marque le coup d'envoi des grandes expéditions aventurières et scientifiques au pays des pharaons. Deux facteurs, furent à l'origine de cette expédition : la volonté d'enrichir la connaissance de l'Égypte antique et la véritable attraction que l'architecture pharaonique exerça sur eux. Ce fut la véritable révélation des grandes oeuvres d'une civilisation ancienne qu'ils pouvaient voir de leurs propres yeux. (Laissus, Y., L'Égypte, une aventure savante avec Bonaparte, Kléber, Menou, 1798-1801, Fayard, Paris, 1998 p.58-67).

Toutes les images connues auparavant ne rendaient pas compte fidèlement des formes et de la puissance de cette architecture. "Ils s'appliquèrent à étudier les édifices le plus consciencieusement possible, à les mesurer, à les dessiner avec précision (en plan, coupe et élévation), à les décrire et surtout à les restituer". (Ziegler Chr., Bovot J.L : Art et archéologie, L'Égypte ancienne, Paris, 2001, p.37).

L'ampleur et la précision de leurs travaux ont permis ensuite de les faire découvrir à l'Europe et au monde entier. Cette volonté de révéler l'idée qu'ils étaient parvenus à se donner de ces édifices est à l'origine des nombreuses planches de restitution qui furent publiées dans les prestigieux volumes de la Description de l'Égypte.

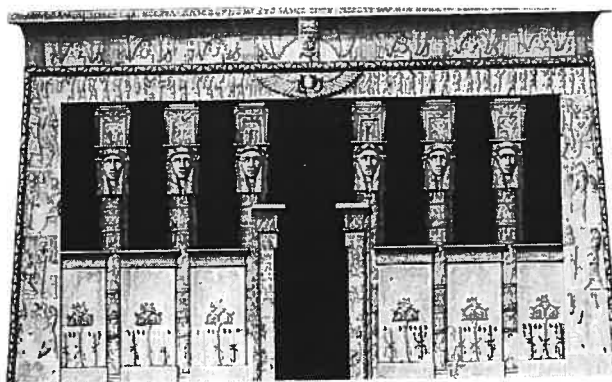


Fig.4 : Dominique Vivant Denon, Vue geometrale du portique de Denderah. 1798-1799.

Leurs travaux comprennent donc une impressionnante série de relevés et, sur cette base, des dessins de restitution faits avec un grand souci de rigueur. Pour la première fois, les temples font l'objet d'un relevé réellement scientifique (fig.4).

Pour la première fois aussi, fut livrée au monde, une masse considérable de documents crédibles permettant de découvrir de façon très précise les grands sites et monuments d'Egypte tels qu'ils se présentaient aux yeux de savants mais aussi tels qu'ils pouvaient apparaître à un observateur du temps de leur splendeur (fig.5).

La nécessaire complémentarité des compétences, concrétisée par la collaboration des artistes et des historiens, ouvrait la voie aux travaux qui devaient se développer dans le courant du XIXe siècle. La restitution n'est plus l'affaire d'un seul artiste ou d'un seul architecte mais plutôt le fruit de la collaboration de divers spécialistes.

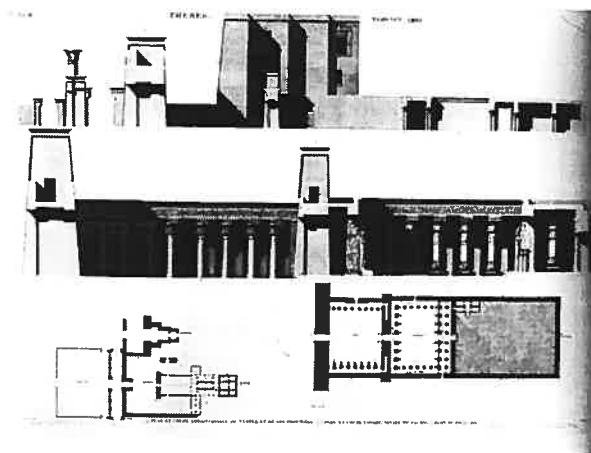


Fig. 5 : Jean Baptiste Lepère. Thèbes, Medinet Habou, Plan et coupe longitudinale du temple, de ses propylées, du palais et du pavillon. Extrait de la description de l'Egypte

En juillet 1879, sans mesurer aucunement la portée de sa découverte, qu'un officier du génie français, Bouchard, met au jour, au cours de travaux du fort Saint-Julien près de Rosette, une stèle portant un texte rédigé dans deux langues et trois écritures (hiéroglyphe, démotique et grec). Elle permettra à Jean-François Champollion (1790-1832) de décrypter, quelques années plus tard, les hiéroglyphes. En révélant les secrets de la langue égyptienne ancienne, il ouvre les pages de l'histoire de l'Égypte pharaonique et, par là même, trace une nouvelle voie à l'interprétation de la représentation égyptienne. (Laurens H. : L'expédition d'Égypte, 1798-801, Édition A. Colin, Paris, 1989, p.89)

### 2.3.2 Le déchiffrement des hiéroglyphes

Le déchiffrement des hiéroglyphes fut le premier travail d'interprétation d'une représentation en égyptologie. C'est la reconnaissance de l'aspect figuratif de l'écriture égyptienne.

C'est pendant la campagne d'Égypte que la pierre de Rosette fut découverte par un officier du génie français (fig.6). Laquelle une tablette de basalte en trois parties est gravée en trois écritures différentes. La première, en haut, renferme des hiéroglyphes. La seconde, au centre, est démotique. La troisième, grecque, est facilement traduisible.



Fig. 6 : La Pierre de Rosette Londres, British Muséum © Bridgman - Girardon

Le déchiffrement du contenu de cette pierre donna naissance à une grande aventure égyptologique qui entraîna des chercheurs et des savants en Égypte à consacrer leur

vie à l'interprétation des signes hiéroglyphiques. Plus tard, et grâce à ces travaux et à la découverte de la photographie des méthodes nouvelles on vu le jour

## 2.5 La photographie et la restitution.

La naissance de la photographie est l'un des événements majeurs qui a permis très vite aux savants d'envisager les possibilités immenses que pouvait réserver l'utilisation d'un tel art dans le domaine de la restitution égyptologique. " Pour copier les millions et les millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monuments de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc..., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le daguerréotype<sup>8</sup>, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Les images photographiques, étant soumises dans leur formation aux règles de la géométrie, permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices." <sup>9</sup> (Clercq Louis, *Voyage en Orient. Monuments et sites pittoresques de l'Égypte 1859-1860*, J. Blondeau et Antonin, Paris, p.36-42)

Débarquent alors en Égypte les premiers « photographes - archéologues » et grâce à l'emploi de la photographie, des travaux de restitution prennent forme. La restitution est maintenant une science bien établie. Les enquêtes systématiques vont peu à peu se multiplier. De nouveaux procédés prennent naissance et les premières méthodes de restitution voient le jour.

## 2.4 LES METHODES DE RESTITUTION

Les premières méthodes de restitution en égyptologie se sont basées sur les indices archéologiques et documentaires contenus dans les images que rapportèrent les photographes. Le problème n'était pas de savoir s'il faut tenter de restituer un monument ou un site, mais comment le faire. C'est ainsi que savants et archéologues se sont donnés à des travaux d'interprétation des contenus

---

<sup>8</sup> Voir définitions préliminaires page 5

<sup>9</sup> Citation de François Arago, *En Égypte au temps de Flaubert*.

épigraphiques pour comprendre les méthodes de construction égyptiennes. L'accumulation de données non interprétés incita les scientifiques à multiplier les démarches qui donneront naissance aux premières méthodes de restitution.

## 2.5 LES METHODES MANUELLES.

Nous allons décrire dans cette partie les méthodes manuelles de restitutions utilisées dans le domaine de l'égyptologie.

### 2.5.1 Techniques de l'épigraphiste

Un épigraphiste (du grec épigraphe, "inscription") est un spécialiste qui étudie les inscriptions anciennes gravées sur différents supports : bloc, métal, bois et terre cuite. L'épigraphie, dans le domaine de l'égyptologie, concerne spécifiquement l'étude des inscriptions hiéroglyphiques; et c'est la pierre de Rosette qui donna le coup d'envoi à toute l'épigraphie égyptienne.

Les techniques de l'épigraphiste se basent sur la traduction et l'analyse d'un éventail représentatif d'inscriptions iconographiques pour des hypothèses de restitution. Ses techniques relèvent une foule de particularités qui aident à mieux connaître les détails concernant les méthodes de construction, de dessins etc. C'est grâce à la connaissance de l'épigraphie que des temples jusque là méconnus ont rejailli des vestiges. Dans les lignes qui suivent, nous allons décrire une méthode de restitution qui utilise les techniques de l'épigraphiste.

### 2.5.2 *The " Chicago Method House "* <sup>10</sup>

La méthode américaine de restitution des temples est une technique qui se base sur la transcription épigraphique. La technique utilisée associe entre autres des photographes, dessinateurs et épigraphes. Le processus est le suivant :

La première étape consiste à photographier la surface du mur ou du bloc avec un

---

<sup>10</sup> Source : (<http://www-oi.uchicago.edu/OI/default.html>)

appareil photo de grand format dont l'objectif est exactement placé parallèle au mur pour prévenir toute déformation (fig.7). A partir d'agrandissements photographiques, on imprime l'image sur un papier spécial à surface mate avec un enduit d'émulsion afin de pouvoir dessiner dessus au crayon et à l'encre.



Fig.7 et 8 : Photographe et dessinateur dans le travail de reproduction des épigraphies. Source : (<http://www.oi.uchicago.edu/OI/default.html>)



Un artiste prend cette copie photographique agrandie montée au même mur et, au moyen de crayons il rajoute directement sur la photographie les détails nécessaires comme par exemple la continuité d'une ligne ou une surface de couleur dont la photo n'a pu capter (fig.8). Ensuite vient l'étape du laboratoire. Les lignes tracées au crayon sont soigneusement renforcées à l'aide d'une encre pour montrer les reliefs du dessin. Les parties endommagées du dessin sont rendues avec des lignes plus minces pour délimiter les parties manquantes.

La photo est ensuite immergée dans un bain d'iode dans le but de dissoudre le contenu de l'image photographique en préservant les parties dessinées à la main avec l'encre. Une fois le schéma du contour obtenu, le modèle est coupé en sections et chaque section est montée sur une feuille blanche et raide. Ces modèles sont reposés de nouveau au mur où les détails à l'encre sur le modèle sont complètement examinés par deux épigraphistes d'égyptologie, un après l'autre (fig. 9). Ces corrections de crayon que l'épigraphiste aurait inscrit à l'endos de chaque modèle sont autant d'améliorations qui sont apportées sur chaque schéma avec des



explications et des instructions à l'artiste, qui les prend alternativement de nouveau au mur et vérifie soigneusement les corrections des épigraphistes (fig.10).



Fig.9 et 10 : travail de complément des parties manquants du dessin. Source: (<http://www-oi.uchicago.edu/OI/default.html>)



Une fois que les artistes et les épigraphistes sont unanimes sur l'exactitude des corrections à chaque étape, le modèle est alors approuvé par le directeur du projet.

Les consultations entre l'artiste, l'épigraphiste et le directeur du projet, servent à tirer le consensus de tous les talents combinés afin d'établir une "copie" fidèle entre le contenu du mur et le contenu des images avec les corrections.

### 2.5.3 La méthode de relevé de blocs

La méthode de relevé de bloc par décalque direct sur support transparent mise au point par L.Gabolde<sup>11</sup> est une technique assez approuvée dans la communauté des égyptologues. Cette méthode dite " *méthode française* " considérée aussi parmi la plus efficace à cause du fait que le relevé est effectué à l'échelle 1/1 et réduit ensuite à une échelle qui permet une meilleure manipulation.

Le principe consiste à relever l'ensemble des décors et des textes hiéroglyphiques qui couvrent les murs en reproduisant le contour des reliefs et textes sur chaque décor le plus fidèlement possible. C'est face au parement d'un mur ou d'un bloc épars que l'égyptologue effectue son relevé sur un film plastique. Ces fac-similés sont réalisés sur des feuilles plastiques transparentes et sont ensuite réduits au 1/10e

<sup>11</sup> Luc Gabolde, égyptologue au CNRS.

par un procédé photographique. (M. Albouy, H. Boccon-Gibod, J.-C. Golvin, J.-C. Goyon, P. Martinez ‘‘ Karnak, le temple d’Amon restitué par l’ordinateur, p.5-35).

Après réduction de ce dessin, l’égypologue dispose d’une pièce supplémentaire à rajouter à son puzzle dans le but d’identifier les associations iconographiques significatives. Avec la photographie de chacun des blocs tirés à une même échelle, l’épigraphiste aide à la restitution du site en relevant les inscriptions des milliers de blocs photographiés en proposant éventuellement leur remontage, leur interprétation et leur traduction.

#### 2.5.4 La méthode de l’anastylose.

Signifie littéralement, d’après ses racines grecques " redresser les colonnes". Ce mot désigne par extension l’art de repositionner les blocs épars, de les replacer dans l’ordre adéquat par rapport aux structures restées en place. L’anastylose permet la reconstruction partielle (réelle ou graphique) des parties d’un édifice dont les fragments ont été retrouvés.

Cette technique fut utilisée pour la première fois au Cambodge dans les années 1930, à Banteay Srei. On devait réédifier un monument effondré avec ses propres matériaux, remplaçant le cas échéant un bloc manquant.

Les égyptologues utilisent ce principe de restitution pour la reconstitution de monuments, de colonnes, de façades ou de murs en se basant sur les indices architecturaux comme par exemple la taille des blocs, les queues d’aronde etc...

La technique consiste à replacer, après les avoir triés, répertoriés et annotés, les éléments d’origine en vue de leur réédification. Cette méthode n’exclut pas certains raccords lorsque des éléments d’origine viennent à manquer. La chapelle Rouge<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> La Chapelle Rouge construite sous le règne de la reine Hatshepsout, servait de reposoir pour la barque d’Amon lors de ses processions.

est par exemple un monument qui a été remontée un siècle après sa découverte grâce à François Larché<sup>13</sup> par la technique de l'anastylose. Il a proposé de nouveaux assemblages de blocs, confirmés par des indices architecturaux.

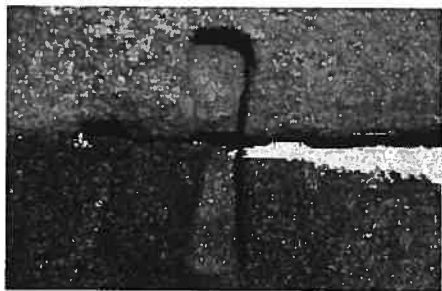


Fig. 11 : Lits d'attente, vue verticale. Des indices qui permettent aux égyptologues d'identifier la position initiale du bloc. Photo. Groscaux, R. Perrot, B. Poulin. CNRS/CFEETK

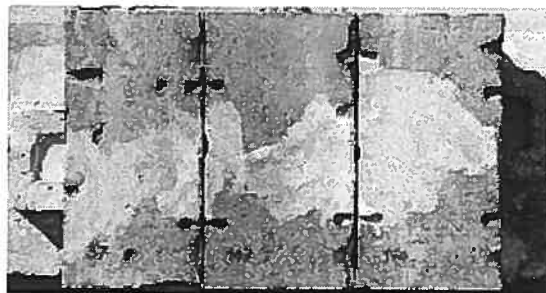


Fig. 12 : queue d'arronde. Autre indice architectural pour la reconstruction de la chapelle rouge. Photo. Groscaux, R. Perrot, B. Poulin. CNRS/CFEETK

Chaque bloc présentant quasiment une seule scène, non lié aux blocs environnants. Grâce aux indices précieux de la construction de l'édifice dont les traces de pince de pose, les mesures des blocs et l'emplacement des queues d'arronde (fig.12), il a pu proposer de nouveaux assemblages de blocs et préciser les dimensions de la chapelle. Le remontage s'est donc effectué surtout grâce à l'étude des encoches de leviers et des queues d'arronde destinée à l'assemblage et à la manipulation des blocs (fig. 11 et 12).

Les méthodes de restitution associent souvent les techniques que nous venons de décrire plus haut. D'autres égyptologues se basent par contre sur la cohérence de l'iconographie d'une scène pour amorcer des hypothèses de restitution. Nous allons voir dans la section qui suit un travail qui se base essentiellement sur la continuité du dessin pour confirmer la position des blocs dans une scène.

### 2.5.5 Présentation d'une méthode de restitution manuelle

Parmi les autres méthodes utilisées dans le domaine de la restitution, nous pourrions citer le travail présenté par Y. Brocard dans le cadre de la X<sup>ème</sup> table ronde "Informatique et Égyptologie" 1994 au cours des recherches archéologiques

<sup>13</sup> François Larché, Architecte (CNRS).

concernant le gigantesque puzzle de Karnak. (R.Vergnieux. Les talatat d'Akhénaton : un cas d'école pour l'analyse de restitutions iconographique. Informatique et Égyptologie N. 10, p.25-32).

Cette méthode est largement utilisée dans la communauté des égyptologues. Les étapes se résument comme suit :

La première étape consiste à photographier les iconographies de l'ensemble des blocs. Ensuite sont scannées toutes les images photographiques des blocs sous un format JPEG ou BITMAP. Le but étant de construire une base de données numérique des blocs qui rendra plus facile leur manipulation.

La seconde étape consiste à unifier ces documents photographiques qui, rappelons-le, n'ont pas la même échelle encore moins le même éclairage ou un angle de vue similaire. Les types de films utilisés ainsi que les périodes éparées où ces photos ont été prises dénotent aussi une différence de tons.

La troisième étape consiste à étaler les images par groupes significatifs afin de reconstituer la scène. Cette étape est la plus lourde à cause du caractère manuel de la recherche d'image. En effet, la recherche d'un bloc voisin parmi les centaines de blocs peut prendre des heures et dès qu'une disposition particulière d'un ensemble de bloc est constituée, on tente de compléter les espaces vides entre les blocs qui donnent une apparence de décors éparés (fig.13).



Fig. 13 : Premier assemblage. Photo. Amenophis IV et les pierres du soleil. R. Vergnieux, M. Gondran. Edition Arthaud. 1997

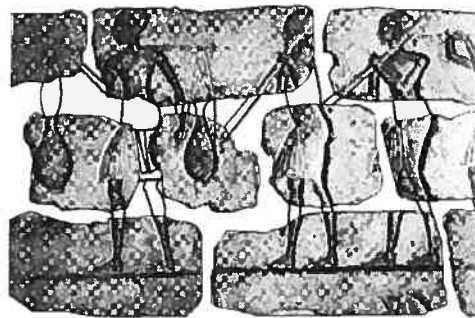


Fig. 14 : Interpretation des vides. Photo. Amenophis IV et les pierres du soleil. R. Vergnieux, M. Gondran. Edition Arthaud. 1997

La quatrième étape, plus délicate aussi, est l'interprétation des espaces vides du décor des scènes (fig.14). Ce travail ne peut se faire sans l'expérience et les connaissances partagées des égyptologues. On constitue ainsi les groupes significatifs de bloc et en fin de compte on rassemble tous les groupes pour reconstituer le mur au complet.

Commentaires :

Cette méthode est rigoureuse et fiable en terme de justesse, mais de nombreux inconvénients sont constatés : Sa lourdeur quand a la manipulation manuelles des photographies. En effet, un temps énorme est associé à la recherche d'une photo manquante. Par exemple, si on doit chercher la photo d'un bloc pour compléter un groupe significatif, on doit passer en revue une multitude d'images sans toutefois savoir laquelle est probablement la bonne si ce n'est l'expérience de l'égyptologue qui, souvent peut se tromper du fait que le puzzle n'est jamais au complet et que le bloc qu'il cherche ne figure peut-être pas dans sa liste.

Compte tenu des moyens limités, cette méthode ouvre la voie aux erreurs possibles lors de l'interprétation des espaces vides dues au rajout au trait des parties manquantes, ce qui engendre souvent des erreurs à cause de la subjectivité du dessin manuel. Citons a titre d'exemple le travail de restitution de la chapelle rouge dont les travaux ont été remis en cause suite a l'incohérence de certaines interprétations

Nous considérons par contre les étapes de ce travail particulièrement intéressant car ils nous permettent d'observer certains aspects de restitution du point de vue de l'égyptologue et cela peut nous permettre de traduire certaines taches informatiquement.

2.6 LES MÉTHODES INFORMATIQUES.

Nous allons étudier dans cette partie les méthodes informatiques utilisées en égyptologie de façon générale et décrire à la fin de cette section trois méthodes qui utilisent l'informatique comme outil avec des procédés différents.

### 2.6.1 Premières applications informatiques

L'égyptologie a commencé faire usage sporadique de l'informatique à la fin des années 60. Divers travaux ont été menés, visant à appliquer les techniques de l'informatique à l'égyptologie : Constitution de banque de données, développement d'outils de recherche documentaire, de saisie et d'impression de textes en hiéroglyphes, de recherches lexicales et grammaticales dans un texte, etc.

À la fin des années 1960, Jan Buurman de l'Université d'Utrecht compose sur un ordinateur Phillips ses premiers hiéroglyphes. Il écrit un logiciel, GLYPH capable de reproduire des textes hiéroglyphiques par ordinateur. (Revue Informatique et Egyptologie, n° 1, Paris, CNRS, 1985, p.18-25).

En 1970, certains égyptologues ont utilisé l'informatique pour l'interprétation et la représentation des textes hiéroglyphiques. Malheureusement la puissance du matériel était tout juste suffisante pour saisir des données.

En 1975, D.Redford dans un projet monumental a intégré l'informatique dans son projet de restitution du temple de Karnak. (Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976).

Il y a également le traitement automatique des textes en hiéroglyphes égyptiens par Michael Hainsworth en 1976 décrit dans l'article de A.H.J. Schimmel Penninck. ("The composing of Hieroglyphic texts by means of a computer" dans GÖTTINGER MISZELLEN 1976, p. 41-43).

En octobre 1983, des pionniers, composés de professeurs et d'étudiants de sept nationalités différentes, se réunissent sous la direction de Fritz Hintze de l'Humboldt Université de Berlin (DDR), sur le thème : "Die Anwendung numerische Methoden bei der Erforschung des merotische Kultur", (Méthodes informatiques pour l'égyptologie). Le but étant la possibilité d'intégrer les outils informatiques dans le domaine de l'égyptologie.

En 1984, une table ronde de la Fondation HUGOT ayant pour thème "Informatique appliquée à l'Égyptologie" est organisée par le CNRS (Centre National pour la Recherche Scientifique, France) à Paris. Elle a pour but de susciter dans ce domaine la coopération internationale et l'uniformisation des moyens de traitement et de transmission des données égyptologiques. (Duquette F., Informatique et Égyptologie, n° 1, 1985, p.36).

Les disciplines relevant de l'archéologie utilisaient déjà l'informatique depuis quelques années, en particulier pour automatiser les inventaires réalisés au cours des fouilles mais les tentatives demeuraient sporadiques à cause de la puissance du matériel informatique. Ce genre de travail nécessitait des outils raisonnables et le problème que posait l'égyptologie pour le travail de restitution serait la multitude d'informations à stocker. Il fallait donc attendre les années 80 avec l'avènement des SGBD<sup>14</sup> qui ouvre de nouvelles perspectives au domaine de la restitution en égyptologie.

#### 2.6.2 Les bases de données en égyptologie

La construction de base de donnée dans le domaine de l'égyptologie a été l'un des premiers pas vers de nouvelles méthodes de restitution des temples et sites anciens à cause des possibilités de stockage des informations. L'hypothèse selon laquelle il serait possible d'automatiser une recherche de blocs par questionnement d'une base de données a conduit de nombreux chercheurs à explorer cette piste de recherche.

---

<sup>14</sup> Systèmes de Gestion de Bases de Données.

Guimier-Sorbets A.-M., Les bases de données en archéologie. Conception et mise en oeuvre, Paris, 1990, p.28-48)

Jean Winand a été l'un des premiers à avoir utilisé des bases de données pour réaliser ses travaux sur la morphologie de néo-égyptien (Jean Winand, Constitution de fichiers textes en néo-égyptien : lemmatisation et levée d'ambiguïtés automatique, Revue : Informatique et statistiques dans les sciences humaines, 1986, p.179-190). Il a tenté une ébauche de lemmatisation<sup>15</sup> automatique. Son but était de concevoir un analyseur syntaxique du moyen égyptien. Il s'agit de construire automatiquement, à partir d'un texte, une représentation de la structure syntaxique de celui-ci<sup>16</sup>.

Le 6 et 8 juillet 1994 Lors de la Xe table ronde "Informatique et égyptologie" qui s'est tenue à Bordeaux, fut décidée la création d'une base de données des "Ressources égyptologues Informatisées" ("Computerized Egyptological Resources"). La gestion a été confiée à la société d'égyptologie de Genève. Le but était de recenser l'ensemble du matériel informatique utile à l'égyptologie (programme, application, fichiers, fontes, etc.).

D'autres projets d'informatisation des données ont été entrepris avec le développement du matériel informatique et de l'Internet. On cite notamment l'Oriental Institute de Chicago ([www-oi.uchicago.edu](http://www-oi.uchicago.edu)), The Center for Computer-aided Egyptological Research de l'université d'Utrecht ([www.ccer.theo.uu.nl/ccr](http://www.ccer.theo.uu.nl/ccr)) qui forment un laboratoire de l'égyptologie informatisée.

Parmi les applications les plus marquantes dans l'introduction de l'informatique en égyptologie, on peut citer le travail R.Vergniew dans sa tentative d'introduire les systèmes experts pour simuler le raisonnement égyptologique. Ce projet visait la restitution du temple de Karnak à partir de descriptions standardisées de l'iconographie des blocs qui les constituaient. (Gondran M. et Vergniew R :

---

<sup>15</sup> La lemmatisation est l'opération par laquelle les formes d'un texte sont classées.

<sup>16</sup> Par exemple codé dans le format du manuel de codage.



Aménophis IV et les pierres du soleil, Akhénaton retrouvé, Paris, 1997, p.22-45) et (Vergnien R. : Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999, p.12-125).

### 2.6.3 Systèmes experts et restitution.

En 1980, E.Zadora-Rio, a utilisé, en avant-première, un système expert pour l'identification d'une construction médiévale. Son objectif était de simuler, à l'aide d'un moteur d'inférence, le raisonnement conduisant à l'identification d'une structure architecturale au cours d'une fouille (Archéologie et toponymie : le divorce, Les petits cahiers d'Anatole, n° 8, 1980, p.17-26) ([http://www.univ-tours.fr/lat/Pages/F2\\_8.html](http://www.univ-tours.fr/lat/Pages/F2_8.html)).

. A la même période, différents travaux de simulation du raisonnement en archéologie au moyen de systèmes experts s'ensuivirent. (E.Zadora-Rio : Systèmes experts et sciences humaines, Éditions Eyrolles, 1986, p.24-46).

**Tableau 1 : Résumé des interprétations de la stèle**

Interprétation Auteurs	Fonction de la stèle	Date de la stèle	Identification du grand personnage	Identification du petit personnage	Identification de l'oiseau	Thème représenté	Observations diverses
J.P. Roux (Roux 1971)	Funéraire	13 <sup>e</sup> s. après J.C.	Le sultan	Le fils du sultan adolescent	Faucon	Cérémonie d'investiture du droit de chasse	Scène grave et statique
S. Eyice (Eyice 1966)	Stèle funéraire réutilisée comme matériau de réparation du rempart de Konya (?)	Réutilisation après 1221 (?)	Personnage important, ou le sultan, ou un mystique	Personnage barbu et âgé, le défunt ou un disciple	idem		Scène réaliste, influence centro-asiatique
G. Mendel et G. Migeon (Mendel 1908 et Migeon 1927)		Période seldjoukide	Le sultan	Un jeune enfant	idem		Style persan. Parenté avec stèles gréco-romaines
K. Otto-Dorn (Otto-Dorn 1967)		idem	Enfant	idem	idem	Scène de genre : dressage du faucon	
F. Sarre (Sarre 1909)	A l'origine, pierre de rempart, réutilisée comme pierre tombale (?)	13 <sup>e</sup> s. après J.C.	Le souverain, un prince	Un favori, de statut social inférieur	idem		Scène animée. Ressemble aux "reliefs-aux-génies" du rempart de Konya
T. Talbot-Rice (Talbot-Rice 1961)		Autour de 1221	Le sultan	Serviteur, favori	idem	Conversation	Parenté avec stèles romaines

Tableau 1 : Détails de l'interprétation de la stèle. Source : Systèmes experts et sciences humaines Editions Eyrolles 1986

En 1986, Lagrange et Renaud ont démontré dans leurs travaux " Essai de cumul de six expertises en iconographie" qu'il était possible d'utiliser un système expert pour reproduire avec fidélité un raisonnement qui consiste à simuler six interprétations distinctes d'un même objet archéologique.

Les six bases de règles utilisées offraient la possibilité d'étudier les caractéristiques du raisonnement archéologique (Tableau.1)

Il s'agissait de fabriquer une seule base de règles, fonctionnant de façon cohérente sur la base de faits déjà cumulés; cela à partir de six règles bien distinctes qui reflétaient chacune avec précision les nuances d'interprétations propres à un auteur.

Dans le domaine de l'égyptologie, c'est dans les années 90 que R.Vergnieux<sup>17</sup> a introduit pour la première fois l'intelligence artificielle pour la reconstruction du temple d'Aménophis IV. Son travail visait à simuler le raisonnement de l'égyptologue pour retrouver la cohérence d'une scène. Ce même temple a déjà fait l'objet d'une étude par D.Redfort en 1975, et même aujourd'hui, le GRCAO<sup>18</sup> travaille sur le même site en intégrant de nouvelles méthode de relevé épigraphique par les outils informatique.

#### 2.6.4 méthodes de restitution pertinentes.

Nous allons présenter trois travaux de recherches qui utilisent des méthodes différentes mais qui ont le même but : L'introduction d'outils informatique dans le processus de restitution. Ces trois expériences ont exploité le même site : Karnak. Certains de leur aspect peuvent nous aider à amorcer une réflexion sur une nouvelle méthode.

##### 2.6.4.1 The Akhenaten Temple project.

Le travail initié par le projet "The Akhenaten temple project" est le

---

<sup>17</sup> Ingénieur au CNRS.

<sup>18</sup> Groupe de Recherche en Conception Assisté par Ordinateur.

repositionnement de plus de 3000 blocs pour la reconstruction du temple de Karnak. Le principal objectif était d'intégrer les outils informatiques (bien que très limités à l'époque) pour constituer un ensemble de fichiers<sup>19</sup> ou seront décrits tous les blocs et pouvoir ainsi rechercher un groupe significatif par des mots clés. "An exhaustive description of a talatat could be recorded on its single punch card. By a combination of nine digits and the letters of the alphabet"(Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976. p.7).

Ce travail a été rendu possible une fois les photographies de chaque bloc disponibles, celles-ci sont étudiées et toutes les informations relatives à chaque bloc ont été enregistrées sur des feuilles de programmation qu'on appelle "carte à poinçon". Il faut préciser qu'à cette époque (1975), le principal support de saisie des informations était la carte perforée, un support en papier de 10cm X 8cm qui servait aussi de ce que l'on qualifierait aujourd'hui de mémoire de masse, comme nos disques durs. Un ensemble de fichiers qui contient toutes les données concernant chaque bloc a été créé.

Initialement, les étapes de ce travail se résument comme suit :

- Décrire l'ensemble des iconographies visible sur chacun des blocs.
- Construire des fichiers informatisés pour contenir l'inventaire et la description de chaque bloc.
- Interroger ces fichiers par des codes dont les résultats donnent des groupes de blocs pouvant s'assembler.

Aussitôt l'inventaire des blocs et leur description établie, l'équipe de D.Redford constata sur une bonne partie des blocs une forte présence de rayons et mains solaires. "One list includes all of the several thousand talatat showing one or more sunrays"(Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial

---

<sup>19</sup> Durant ses années, la notion de base de données n'existait pas encore.

discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976. p.8). La disposition des rayons et mains solaires sous forme de ligne sur la surface des bloc indiquait qu'ils convergents toujours vers le haut de la scène, il s'agit de ce qu'on appelle communément le disque solaire (fig.15).

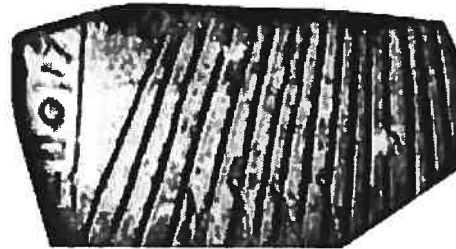


Fig.15. Bloc représentant un ensemble de rayons solaires.  
Photos : The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries,  
Aris & Phillips, Warminster, 1976.). Redford, D. B. et Smith,  
R. W,

A partir de ce constat, une liste particulière de blocs contenant un ou plusieurs rayons solaires est établie indiquant l'angle d'inclinaison<sup>20</sup> par rapport à la ligne d'horizon, l'orientation et la largeur entre chaque rayon "For these blocks, the coding schedules gave the angle of both right-hand and left-hand rays and the distance between them". (Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976. p.8). (Tableau 2).

Les limites dues aux capacités de stockage des cartes à poinçon ne permettaient pas d'introduire beaucoup d'informations, ce qui a largement limité la portée du projet.

<sup>20</sup> Vu que les angles changent sur un éventail énorme pour les milliers de blocs qui montrent des rayons du soleil, la solution été d'introduire les données selon une limite angulaire inférieure et une limite angulaire supérieure.

Par exemple, si un angle est mesuré dans une gamme des quatre degrés 104° et 107° avec la mention FG, cela signifie que l'angle du vecteur est compris entre 104 et 107 et que la limite inférieure de la gamme est égale à 104 ou 105, par contre si pour le même angle on indique la mention GF, cela signifie que la limite supérieure de la gamme est égale à 106 ou 107. la recherche serait donc instituée dans cette gamme, et si le bloc désiré n'est pas trouvé dans cette section, la recherche serait répétée dans la prochaine gamme inférieure, 99°-103°.

L'orientation qu'a prise la recherche a permis d'affiner le travail. Ainsi, sur chaque bloc ou sont identifiés des rayons solaires on pouvait identifier la présence de deux angles et d'un côté d'un triangle, dont le sommet était le disque solaire présent au

Tableau 2 : Descriptif des informations

<i>Description of computer lists</i>	<i>Number of volumes</i>	<i>Number of pages</i>
General List, according to film numbers	9	1,144
General List, according to stone numbers	9	1,154
Right Sunrays	2	184
Left Sunrays	1	152
Sunray Hands	2	32
Sun-discs	2	32
Figures	3	343
Columns 18-19	5	708
Column 44	4	518
Columns 60-61	3	300
Column 72	2	27
Column 73	2	61
Column 74	1	87
Continuation Lines	3	229
Hieroglyphs	3	253
<i>Total</i>	51	5,224

Tableau 2 : Descriptif des informations. Nous remarquons à partir de la 3<sup>ème</sup> ligne, les renseignements relatifs aux rayons solaires. Tableau : The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976.). Redford, D. B. et Smith, R. W.

dessus. Il se produit ainsi que les rayons solaires viennent directement toujours de l'extrémité à l'extrémité par rapport a un bloc, de sorte que leurs angles par rapport a l'horizontale ne changent jamais sur les blocs se touchants de la même scène.

Les recherches ont établie que les informations tel que définis sur chaque bloc pouvaient donner les coordonnées du point de convergence des rayons par l'introduction de solutions mathématiques. Cela veut dire qu'on est en présence de cas ou, a partir de deux angles et d'un coté du triangle, on pourra, par l'introduction d'équations trigonométriques, définir a quelle hauteur se trouve un bloc par rapport a un autre.

De ce fait, connaître la position exacte du bloc contenant le disque solaire au-dessus de n'importe quel bloc désiré ainsi que sa distance vers le droit ou gauche est chose possible (fig.16).

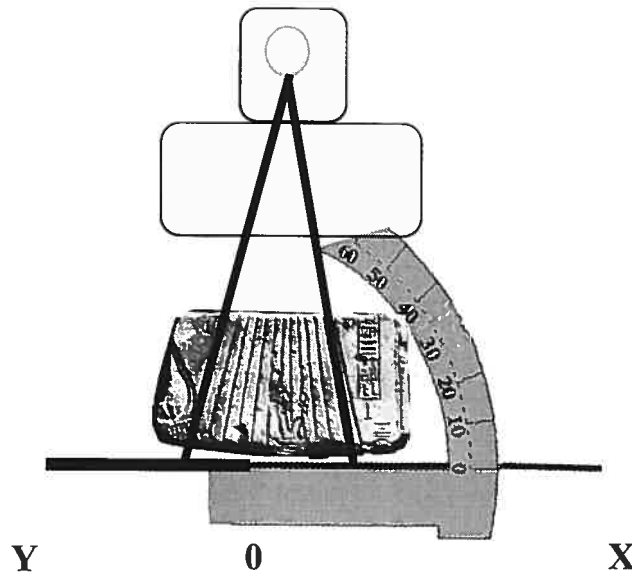


Fig.16 : La convergence des rayons solaires vers un même sommet a permis d'identifier le bloc se trouvant à la 3<sup>ème</sup> rangé par l'introduction d'équations algorithmiques

L'information relative au bord de l'apparition d'une ligne a été introduit par des lettres désignant chaque côté, ce qui manque largement de pertinence et la raison est probablement due au fait que l'ensemble de ses informations devaient être organisées dans des bases de données qui n'existaient pas encore (fig.17). Avec l'introduction de plusieurs critères pour un bloc désiré, son numéro de série peut être rapidement trouvé et la photographie identifiée et récupérée.

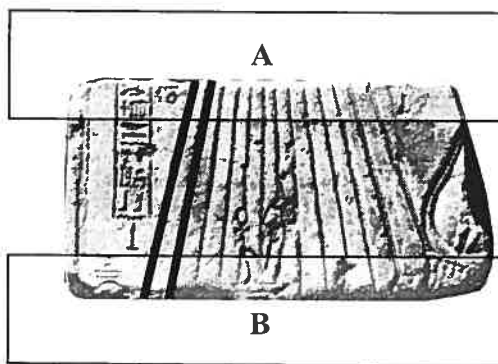


Fig.17 : Les lettres A et B désignent les parties du bloc par où les rayons continuent

Commentaire :

Cette expérience d'informatisation du processus de restitution est intervenue durant les années 1975 bien avant la naissance de la souris et de la programmation. C'est l'une des tentatives monumentales dans la diffusion de l'informatique à l'égyptologie.

Les limites des cartes perforées ne permettaient pas d'enregistrer certaines données qui pourtant semblent essentielles à la recherche égyptologique (au moins à certains aspects de la recherche). Ainsi, les codes des cartes ne pouvaient accepter l'infinité des noms de dieux, héros, personnages mythologiques, peintres et potiers, etc., qu'il faudrait pouvoir leur confier.

Bien que la technique même des cartes perforées implique un certain nombre d'inconvénients<sup>21</sup>, Le mérite du système utilisé par D.Redford est sa rigueur descriptive: Le contenu iconographique des blocs y est désigné non par son nom, trop souvent contenu dans des frontières sémantiques et techniquement difficiles à intégrer, mais par une série de caractères strictement définis, à travers une analyse objective et uniforme, et ce sont ces caractères qui servent au jeu combinatoire de la recherche de blocs. Ce qui a énormément aidé à trouver une combinaison pour traduire les éléments iconographiques en entités géométriques. Par exemple écrire "L1" (pour désigner une ligne de type 1) pour remplacer le mot " rayon solaire" ce qui nécessite moins d'espace.

Des raisons, d'ordres divers, ont fait que le système de cartes perforées au moment où il a été mis au point dans ce projet constituait une nouveauté remarquable. Ce qui n'est pas de l'avis de certains égyptologues. Ainsi, des critiques ont été formulées à l'égard de cette expérience et qui ne tiennent compte ni de la méthode utilisée et non moins du contenu des informations retenu par les auteurs du projet.

---

<sup>21</sup> L'appareillage est lourd, encombrant, il doit être installé dans un centre de recherches bien déterminé, et les chercheurs des autres centres qui souhaitent consulter le fichier doivent ou bien se rendre là où il se trouve, ou bien faire dupliquer les fiches pour une nouvelle installation, qui elle aussi ne servira qu'en un seul point.

Ils concernent spécifiquement l'aspect informatique qui, de toute évidence, n'aurait pas du être pris en considération vu les performances de l'outil informatique à cette époque.

R.Vergnieux qui insiste sur l'échec de la démarche prônée par D.Redford ne mentionne aucun aspect positif de ce travail bien qu'il nous informe au début que les moyens informatiques disponibles à cette époque étaient presque nulles : "il est plus aisé de comprendre maintenant les limites qui firent échouer l'utilisation d'un ordinateur à cette époque." Et un peu plus loin "Les machines permettaient alors, essentiellement de classer et de compter." (R.Vergnieux, "Recherches sur les monuments Thebains d'amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques", p.57-58).

L'une des raisons de l'échec de la méthode selon lui est du essentiellement à un classement maladroit des informations relatives aux blocs qui favorisait une confusion au niveau de l'interprétation des données. " L'équipe de l'ATP<sup>22</sup> choisit de reclasser l'ensemble des *talatat* à partir d'un descriptif thématique. Mais la liste des termes retenus pour élaborer le classement des pierres était d'une part d'un niveau d'interprétation trop élevé et, d'autre part, mélangeait entre elles des informations de "nature" différente (fonction, attitude, genre, etc...). (R.Vergnieux, "Recherches sur les monuments Thebains d'amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques", p.57-58).

En effet, ce dernier semble malheureusement confondre la nature des informations introduites par D.Redford et les objectifs associés aux moyens utilisés à l'époque. Le but de créer un *descriptif thématique* de l'ensemble des blocs n'était pas de construire un système à base de connaissances pour traduire un raisonnement *d'un niveau élevé* pour la simple raison que la carte perforée ne permettait pas ce genre de performances informatiques et que l'intelligence artificielle n'a fait son apparition que des années plus tard. La démarche D.Redford est de type " classement, comparaison, tri" qu'on attribue aujourd'hui aux techniques des SGBD, ce qui est complètement différent.



Nous citerons aussi les critiques formulée par Jean Doresse, égyptologue français et membre de l'académie des sciences d'outre mer a l'égard de ce travail sans pour autant mentionner les maladresses informatiques dont il fait allusion (Doresse Jean, Des "Talatates" de Karnak à l'identification et à la reconstitution du GEM-PA-ATON d'Aménophis IV, Aegyptus, Milano 1998, p. 19-20).

Marianne Doresse son épouse égyptologue fait état de son coté des insuffisances des résultats des restitutions de D.Redford mais ne mentionne pas de façon pertinente si la cause est attribuée aux outils informatiques, qui, de toute façon dans les années 80, étaient encore moins performants. (Marianne Doresse, Observations sur la publication des blocs des temples atoniens, "Gttinger Miszellen" 46, 1981, p.45-79).

L'intérêt que nous retenons de cette méthode que les critique ont passé sous silence réside dans le choix du type de données qui consiste entre autre a tenir compte de l'aspect géométrique de certaines entités iconographiques compte tenu de leur pertinence. En fait, c'est a partir d'observations que l'ensemble des lignes qui représentent les rayons et mains solaires on été intégrés au système en tenant compte de leur paramètres. Cette démarche est originale et nous pensons que les outils informatiques actuels avec la performance des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD) pourront permettre une exploitation pouvant automatiser le processus de restitution en égyptologie.

#### 2.6.4.2 Méthode par système expert.

Parmi les travaux qui ont suscité un intérêt particulier eu égard aux méthodes informatiques utilisées, nous citerons l'expérience de Robert Vergnieux dans son projet qui consiste à intégrer l'intelligence artificielle dans le processus de restitution en égyptologie. (Gondran M. et Vergnieux R : Aménophis IV et les pierres du soleil, Akhénaton retrouvé, Paris, 1997) et (Vergnieux R. : Recherches

---

<sup>22</sup> Akhenaten Temple Project.

sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999).

L'énigme posée dans ce projet est le repositionnement de plus de 1000 blocs d'un énorme puzzle. Chaque bloc a été inventoriée, photographiée, puis entreposée dans une réserve à l'abri de l'air et de l'humidité. Mais comment, à partir de ces centaines de blocs, retrouver les puzzles d'origine ? L'interprétation de la majorité des blocs demandait l'intervention de techniques nouvelles. Ce qui a poussé Robert Vergnieux et son équipe à mettre pour la première fois l'intelligence artificielle au service de l'égyptologie : " Nous avons eu recours à un système expert qui formalise les raisonnements de l'égyptologue devant les blocs. C'est l'accumulation de raisonnements élémentaires qui permet d'atteindre de hauts niveaux de complexité. (R.Vergnieux, "Amènophis IV et les pierres du soleil", Akhénaton retrouvé, Arthaud, Paris 1997, p.78). L'idée consistait à utiliser le système expert pour "interpréter" les contenus iconographiques de chaque bloc pour ensuite introduire des règles qui permettraient de déduire les blocs manquant. Les étapes de ce travail se résumant comme suit :

- La description des iconographies : Qui consiste à décrire l'ensemble des éléments iconographiques visibles sur la surface de chaque bloc. Par exemple : PERSONNAGE1, PERSONNAGE2, AUTRE1, AUTRE2, etc...). Ces informations sont placés, par une première base de règles, dans un fichier texte afin d'être analysés. Il s'agit ensuite de constituer une base de faits contenant le descriptif de chaque bloc, et dans laquelle chaque caractéristique de l'élément observé est accessible, compréhensible, sans qu'il y ait perte d'information. Cela nécessite deux opérations de transformation :

- Une analyse syntaxique qui repère chaque élément de scène et définit les particularités, l'ensemble formant une base de fait. Par exemple : un bloc (identifié par un numéro) peut présenter plusieurs éléments de scène qui sont définis par la relation COMPREND. Cela se décrit de la façon suivante :

<N° Bloc > comprends <Élément d'un bloc>

- Trouver des association iconographiques : Cela consiste à trouver un rapprochement entre les éléments iconographique par l'introduction d'une syntaxe. Une base de règles extrait les entités iconographiques (appelés UNICO)<sup>23</sup> de chaque bloc à partir d'un descriptif sous la forme suivante :

Le rapprochement entre les entités iconographiques se traduit sous forme de relations suivantes:

Relations structurantes : qui consiste a déterminer la relation des contenus iconographiques. Par exemple :

<HOMME\_C > suit <HOMME\_B> ou

<SOL > supporte <HOMME>

2) Interactions entre les iconographies. Qui consiste à traduire une action. Par exemple :

<HOMME\_C > action <TENIR>

Cela se fait de la façon suivante :

<Élément d'un bloc> <Relation> <mot du descriptif>

<Élément d'un bloc> <Relation> <mot du descriptif> <relation > <mot du descriptif>...

La Répartition des iconographies sur la surface du bloc permettait de savoir sur quel bord rechercher la suite du dessin. Cela consiste a subdiviser la surface du bloc en "zones" pour permettre de déterminer la position de chaque entité iconographique.

---

<sup>23</sup> Unité iconographique (R. Vergniew : Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999, p.96).

Un ensemble de 10 zones est introduit pour désigner sommairement un endroit du périmètre du bloc<sup>24</sup> (fig.18).

” La grille d’assemblage et de la position relative des blocs supposées contenir une ”suite” de l’unico permet d’introduire cette information par les relations archéologiques ”zone”, ”zone-A” et ”zone-B” (R.Vergnieux, ”Recherches sur les monuments Thébains d’amenhotep IV a l’aide d’outils informatiques”, P.102).

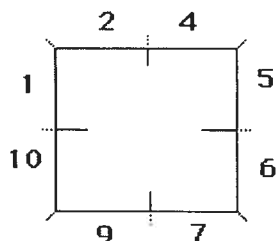
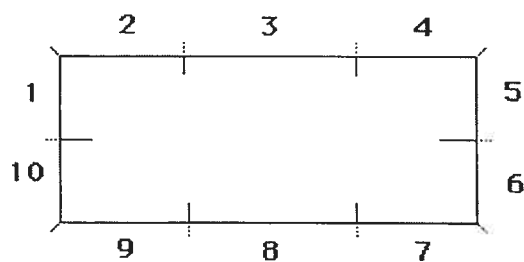


Fig.18 : Repartition de la surface des blocs en zones. Photo : Vergnieux R. : Recherches sur les monuments thébains d’Amenhotep IV à l’aide d’outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999, p.101).

Ainsi, la recherche du bloc manquant se fait par l’introduction d’une relation qui détermine la suite du dessin en désignant la zone de rupture.

La mise au point d’un programme pour l’exploitation des données se divise en deux parties :

- 1) Une base de connaissances : composée d’une base de règles et d’une base de faits.
- 2) un moteur d’inférences capable de raisonner à partir des informations contenues dans la base de connaissance, de faire des ”déductions”, etc... (fig.19).

<sup>24</sup> Nous constatons une amélioration par rapport à la répartition du bloc suggérée par D.Redford (fig.17)

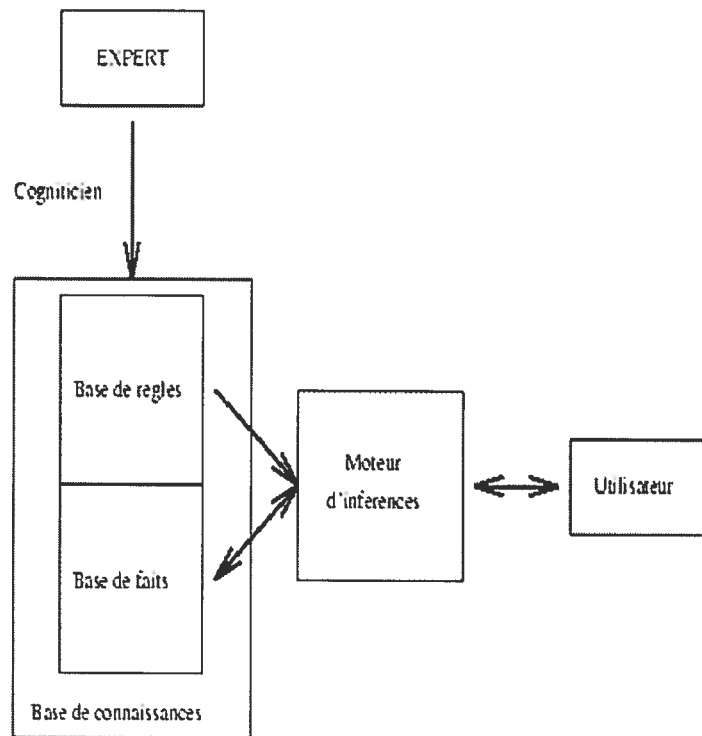


Fig.19 : Schéma de principe. Systèmes experts et sciences humaines Editions Eyrolles 1986

#### Commentaire :

Le travail sur les blocs, n'a pas forcément été plus rapide que l'approche manuelle et le problème de cette méthode de restitution qui intègre l'intelligence artificielle réside dans la nécessité de décrire "l'ensemble" des éléments iconographiques contenus dans chaque bloc pour pouvoir intégrer des règles qui permettent de simuler le raisonnement de l'égyptologue. En effet, un temps important est alloué à la description de l'iconographies à cause que la connexion entre les blocs n'est pas établie sur la base de la discontinuité du dessin aux abords de ceux-ci mais sur des informations contenues dans la base de connaissance et du travail de "déduction" du système.

Si on considère que l'ensemble du projet s'appuie sur les performances des systèmes expert, nous pourrions considérer qu'une place importante est accordée à l'interprétation. Le but de l'intelligence artificielle vise essentiellement à reproduire, à l'aide de machines, une activité mentale (compréhension, perception...etc.) sur la

base d'une déduction. C'est la "Recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains" (dictionnaire hachette).

La démarche de ce travail vise la modélisation et la mise en forme du raisonnement égyptologique, et parmi les étapes qui consistent à formaliser ce raisonnement une place importante est accordée à l'interprétation. Ce n'est pas ce que R.Vergnieux nous affirme : "Nous avons opté pour une solution s'attachant à introduire le minimum d'interprétation dans les restitutions" (R.Vergnieux, "Informatique et Égyptologie" n.10, 1994, p.36). Ce qui est comparable à un calcul qui consiste à décrire mathématiquement le processus de restitution en s'appuyant sur des relations *jugés potentiels*. En d'autres termes, cela revient à dire que la position de chaque bloc dans une scène dépend de l'interprétation et du sens qu'on accorde aux liens entre les éléments iconographiques présents sur leurs surfaces. Ainsi, à partir de certaines règles qui découlent des observations, le système traduit les relations décrites et propose un ensemble de blocs qui sont le résultat d'une déduction.

C'est une démarche assez complexe, mais le conflit des interprétations est énorme car le problème n'est pas de seulement de trouver des blocs mais aussi de les repositionner. Le critère de connexion dans ce cas tient compte d'une "suite logique" du dessin *par association des entités iconographiques*, c'est comme si en apparence, pour chercher le bloc manquant, on traduit ce qui manque par des faits au lieu de tenir compte de paramètres qui permettraient de localiser avec pertinence non seulement la partie du bloc qui contiendrait la suite du dessin mais aussi son contenu par un tri<sup>25</sup>. Ce qui explique le peu d'intérêt accordé à la répartition de la surface des blocs (en "zones") et un niveau de précision moins évident : Pour une pierre en boutisse par exemple, celui-ci identifie (sur la longueur) 3 zones. Il attribue ainsi pour un bloc de 50 cm, une valeur de 16 cm par zone, ce qui largement insuffisant.

---

<sup>25</sup> Les Systèmes de Gestion de Bases de données (SGBD) auraient été très efficaces pour les opérations de tris, classement et organisation.

#### 2.6.4.3 Méthode du GRCAO ([www.grcao.umontreal.ca](http://www.grcao.umontreal.ca)).

Parmi les travaux qui intègrent les outils informatiques dans le processus de restitution en égyptologie, nous pourrions citer la méthode du GRCAO dans son projet de relevé du temple de Karnak. L'objectif dans lequel s'inscrit ce travail est de démontrer que l'intégration des méthodes informatique dans le processus de restitution peut être un nouveau moyen de Réflexion en égyptologie.

La méthode utilisée vise à améliorer le travail de relevé épigraphique des gravures anciennes par l'introduction de l'outil informatique. Ainsi, la méthode consiste à effectuer un relevé bidimensionnel des inscriptions épigraphique sur les photos des blocs en reproduisant le contour des figures par un dessin. Pour se faire, on utilise les lignes et les courbes de bezier pour tracer les formes géométriques et construire ainsi une base de données pour contenir l'ensemble des signes. La manipulation de ces données est fort intéressante car elle permet entre autre de renseigner sur l'appartenance d'un bloc par rapport à une période donnée.

Ainsi, un des problèmes que rencontrent les égyptologues dans leurs projets de reconstruction, c'est le grand nombre de blocs non datés qui se trouvent dispersés à travers les temples. Et en sachant que les représentations stylistiques changent d'un règne à un autre, cette base de données permet de retrouver les signes communs appartenant a un règne et les comparer a ceux déjà enregistrés initialement et pouvoir ainsi renseigner sur l'endroit initial des blocs dispersés. L'identification d'un bloc peut ainsi se faire non seulement selon la géométrie du signe, mais aussi selon sa valeur phonétique.

Aussi, les signes stockés dans la base de données, permettent un gain de temps considérable qui consiste à éviter de redessiner systématiquement les mêmes formes répétées. " On a more practical point of view, using prototypes proves to be a very fruitful strategy when it comes to reproducing repetitive and recurrent decorative motifs such as the toponymic list of captured foreign towns that often accompanied military scenes. Instead of drawing each occurrence individually, it is far better to

simply adapt the prototype of that decorative pattern to each example that comes up". (GRCAO).

Le GRCAO utilise aussi la photogrammétrie pour produire les modèles tridimensionnels. Le principe permet à partir d'un couple d'images prises sous des angles de vues différents de déterminer les caractéristiques géométriques d'un objet à restituer (forme, dimensions) et définir les coordonnées Y, X et Z de chaque point de cette image afin d'en tracer une projection plane (fig.22). Le but est de retracer la forme, les dimensions et éventuellement la position dans l'espace d'objets à partir de leur photographies (fig.20).

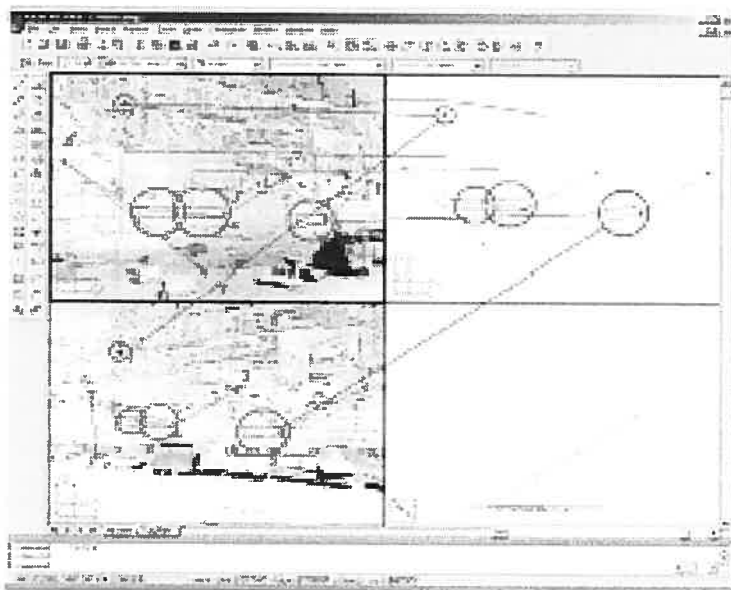


Fig.20 : Projection de points. Photo : Claude Parisel (GRCAO).

Ce système permet d'identifier la manière dont les blocs sont disposés dans un appareil en tenant compte du système constructif de chaque période et aussi de renseigner sur la manière dont les blocs ont été démantelés et incorporés à nouveau dans les nouveaux édifices.



## 2.7 CONCLUSION.

Les égyptologues et les architectes spécialisés dans la recherche égyptologique ont, depuis le début de leur aventure introduit, au fur et à mesure des découvertes, des techniques nouvelles qui leur permettaient avec les moyens à leur disposition de valider leurs travaux de restitution. A chaque période de l'histoire ils ont pu exploiter les outils qui leur permettaient d'améliorer leurs techniques. On doit certaines avancées à la photographie, à d'autres à l'informatique.

Les moyens traditionnels ont beaucoup aidé à la restitution de sites anciens mais ne peuvent aujourd'hui répondre à l'ensemble des besoins. L'une des contraintes majeures est sans aucun doute liée à la masse importante de données et ses méthodes ne permettent pas toujours de détecter les éventuelles incohérences entre les différentes informations, ce qui limite les possibilités de recoupement des informations. L'aide au travail de l'égyptologue est plus spécifiquement attachée aux phases d'acquisition, de classement et d'exploitation des données.

Il y a encore quelques années, concilier archéologie et informatique relevait d'un formidable pari, celui d'associer deux techniques de recherches que rien, de prime abord, ne réunissait. Les ordinateurs d'alors - de gros systèmes très coûteux si l'on souhaitait une certaine puissance de calcul - présentaient une interface peu conviviale et leurs limites de stockage rendaient le traitement des informations insignifiantes. Les tentatives d'augmenter la mémoire pour augmenter les capacités de traitement ont incité plus tard des chercheurs à trouver des voies qui permettraient aux égyptologues une meilleure exploitation de leur connaissance.

Les expériences de travaux que nous avons décrit plus haut bien que de longues années séparent ont pourtant un élément en commun : La volonté de mettre l'informatique au service de l'histoire. Les méthodes utilisées, même si elles sont différentes, peuvent contenir des éléments de réponse à la problématique de restitution, qui, une fois associés, permettront de nouvelles réflexions et des solutions probablement plus performantes. Si on considère que les témoignages qui

restent à un égyptologue pour produire le savoir du passé sont les traces de l'architecture et des symboles iconographiques, L'association d'expériences antérieures donnera l'élan nécessaire au domaine de l'égyptologie.

### CHAPITRE 3 : ASPECTS DE L'ICONOGRAPHIE EGYPTIENNE

Dans ce chapitre nous allons définir certains aspects de l'iconographie égyptienne qui nous aideront à cerner ce domaine pour mieux les intégrer dans la formulation de notre projet informatique. Nous savons que les règles de composition qui régissaient l'iconographie égyptienne ont fait l'objet de maintes études et recherches et que chaque période de l'histoire égyptienne a pu construire son propre répertoire iconographique selon des thèmes définis sur la base des règles et méthodes connues à cette époque. Notre but est d'identifier certains aspects de l'iconographie égyptienne qui nous aideront dans notre recherche pour une meilleure description de leur contenu. Il est évident que les milliers d'années d'histoire de l'art égyptienne ne peuvent se contenir dans ce travail et notre approche se résume aux règles de représentation qui ont un lien direct avec notre recherche. Les publications de Robins G, Donovan L. et Corquodale K constituent l'essentiel des éléments décrits dans le chapitre qui suit. (Gardin J-C., Guillaume O., Herman P.O, Hesnard, Lagrange M.S, Renaud M., Gay R. : Proportion and Style in Ancient Egyptian Art, edition Austin-University of Texas press. 1994, p. 62-85) (Donovan L., Corquodale K: Egyptian art, principles and themes in wall scenes. Edition prism archaeological, Macquarie University, Australia.1986, p. 28-52)

#### 3.1 PROPRIETES DE L'ICONOGRAPHIE EGYPTIENNE

Nous allons voir maintenant les différentes propriétés de l'iconographie égyptienne. On définit d'abord le support utilisé ainsi que certaines règles.

##### 3.1.1 FORMES DE REPRESENTATION

Le bas relief et la peinture sont deux formes de représentation utilisées par les artistes égyptiens qui font appel à trois méthodes ou genres différents :

- Le relief :

Les figures sont sculptées dans le bloc en légère saillie. L'artisan commence par délimiter les contours des figures puis il « rabat », c'est-à-dire enlève toute la surface de la paroi entre les figures dont les détails sont ensuite sculptés. Dans cette technique, les figures se détachent sur le fond, en relief (fig.21).

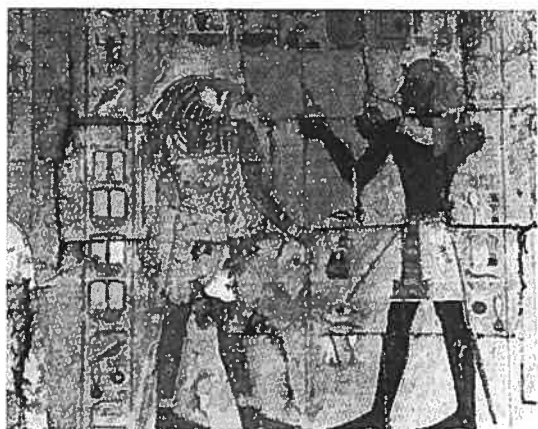


Fig.21 : Relief du temple d'Hatshepsout, XVIIIeme dynastie, a Deir el-Bahari. Photo : D.ARNOLD, Building in Egypt. Pharaonic stone masonry, Oxford, 1991.

- Le relief en creux (appelé aussi "relief à l'égyptienne") :

Les figures sont modelées en creux, sans se détacher du fond. L'artiste se contente de « rabattre » en dégradé le bloc, uniquement autour des figures. Celles-ci restent donc au même niveau que l'ensemble de la paroi (fig.22)



Fig.22 : Relief en creux. Fragments décoratifs du mastaba de Photo :Musée égyptien. Le Caire

- Le relief gravé :

C'est la méthode la plus économique, laquelle consiste à évider le contour des figures. Ces dernières sont creusées dans la paroi. Cette technique favorise les jeux d'ombres et de lumières. Elle est surtout employée sur les parois extérieures des monuments : mastaba ou sanctuaire (fig. 23).



Fig.23: Relief gravé. Photo: Musée égyptien.  
Le Caire

Ces œuvres trouvaient place sur les murs de blocs ou encore sur les parois de terre sèche ou de brique des palais et des résidences. Le procédé d'exécution était le suivant :

On traçait les contours des sujets, on teintait le fond d'un jaune ou d'un blanc de craie et, pour finir, on peignait les sujets eux-mêmes en appliquant les couleurs requises sur les diverses surfaces. Pour exécuter les dessins, les artistes égyptiens devaient se soumettre à des règles strictes qui ont donné un style à l'iconographie égyptienne.

### 3.1.2 REGLES DE REPRESENTATION

L'iconographie égyptienne est régie par un certain nombre de règles. Nous allons définir quelques unes :

1ère règle :

- La représentation du visage et des jambes est indiquée de profil.
- Le trois quart ( $\frac{3}{4}$ ) de la poitrine est représenté dans certain cas. Dans d'autres, on la voit de face.
- L'œil est aussi représenté de face.
- Les figures sont tournées vers la droite. (fig.24)
- Les épaules sont représentées sur le côté frontal (fig.24).
- La représentation frontale de la partie inférieure du corps et des deux pieds (fig.24).
- Les enfants sont représentés nus (fig.24).
- Les enfants en plus d'être nus, ont été montrés avec leur index posé sur leur lèvre inférieure, une tresse de cheveux portée habituellement sur un côté de la tête.
- Les personnages sont toujours placés sur un sol horizontal (fig.24).<sup>26</sup>



Fig.24 : Ligne horizontale sur laquelle est dessiné un enfant nu. Metchetchi et son plus jeune fils.  
Photo : musée royal d'Ontario

<sup>26</sup> La ligne horizontale dans l'organisation de l'espace pictural peut s'avérer intéressante dans la recherche de connections entre chaque pierre.

- Les figures de personnes importantes ne se chevauchent pas afin de les rendre plus complètes (fig.25).
- Les domestiques, les subordonnés ou les animaux, se chevauchant les uns et les autres avec rythme afin qu'il soient moins perçus.
- Les objets, les paysages, sont représentés dans des points de vues multiples afin de donner un aspect complet du message.



Fig.25: Photo : Figurants subordonnés se chevauchant. The metropolitan museums collection (acc. No. 15 3 1163)

Quand aux proportions, les tailles des différents sujets sont en fonction de leur importance dans l'œuvre.

L'unité de mesure étant la paume de la main, des pieds jusqu'au front, la mesure est de dix-huit paumes (paume de la main). Les épaules mesurent seize paumes de la base à la figure; les coudes sont alignés à douze paumes de la base, et aux genoux à six paumes (fig.26).

2° Règle :

La seconde règle est la hiérarchisation des tailles :

- Le roi est beaucoup plus grand que son serviteur.
- Les rois ont approximativement la même taille que les dieux dans la même scène.

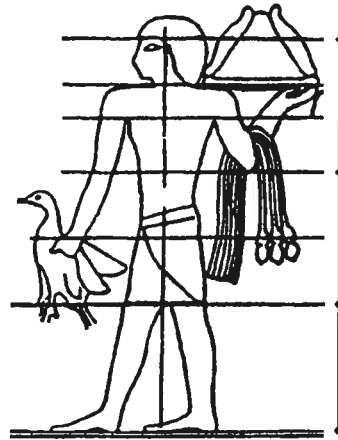


Fig.26 : des pieds jusqu'au front, la mesure est de dix-huit paumes. Les épaules sont alignées aux paumes de seize de la base à la figure, les coudes sont alignés à douze paumes de la base, et aux genoux à six paumes. Plusieurs des rectangles dans la grille entourant la figure sont proportionnels au rectangle d'or. Photo : source : Heinrich Schafer. Principles of Egyptian art

- Les femmes, reines incluses - étaient représentées plutôt petites, à peine plus grandes que des enfants.
- Les domestiques, les amuseurs, les animaux, les arbres et les détails architecturaux sont habituellement montrés dans une plus petite échelle que les figures du roi.

Les tailles indiquent donc l'ordre d'importance dans la hiérarchie (fig.27).

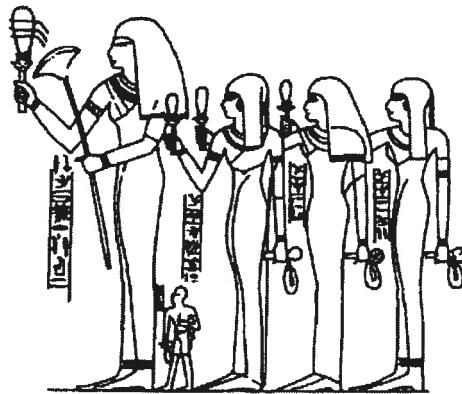


Fig.27 : L'échelle de représentation. La taille indique l'ordre d'importance. Photo : The metropolitan museums collection (acc. No. 68.5641.1)

3° Règle : Structuration du dessin.

Les artistes égyptiens utilisaient deux types de perspectives :



- La perspective hiérarchique :

Un système de représentation qui consiste à porter aux personnages importants un volume et une taille accrus et à réduire l'apparence des êtres subalternes. Les gens importants sont idéalisés, représentés avec les traits de la jeunesse même s'il s'agit de vieillards. Par contre les petits gens sont décrits dans leur naturel et leurs défauts : ils sont vieux, obèses, nains etc.

- La perspective recomposée :

Qui consiste à diviser en plusieurs plans le sujet puis recomposer ensuite de manière à ce qu'aucun des organes sensoriels ne soit dissimulé. Par exemple, si on représente un visage de face, on perçoit seulement la bouche et les yeux, le nez demeurant escamoté. En revanche, le visage de profil laisse apparaître tous les organes des sens : oreilles, nez, bouche.

Ces règles de dessin ont défini les styles de toutes les scènes. L'application de la couleur serait la touche finale de ses représentations. Les règles de son application devaient aussi être respectées.

### 3.1.3 LA COULEUR

De nombreuses conventions réglementaient l'utilisation des couleurs. Nous définirons les principales :

- L'incarnation des femmes était jaune.
- Celle des hommes en brun (fig.28).
- Le vert, est associé à l'eau, au Nil et à la végétation. Il symbolisait la fraîcheur et même la résurrection. C'était la couleur d'Osiris<sup>27</sup>
- Le noir représentait aussi la fertilité car c'est la couleur du limon.

---

<sup>27</sup> Dieu majeur de l'Égypte ancienne.

- Le bleu, tout comme l'or (jaune), est associé au soleil Il est la couleur des dieux, de l'immortalité.

- le rouge et le rouge - orange symbolisaient le désert, le feu. Il était utilisé pour le dieu Seth mais aussi pour représenter l'ennemi, le méchant. Il a des référents liés au désert, à la puissance, au sang et à la vitalité.

- Les figures qui se chevauchent sur une scène sont représentées dans des tonalités plus légères et plus foncées.

L'ensemble de ces règles a permis aux artistes égyptiens d'enrichir les sujets à représenter et un grand nombre de thèmes a été traité. (Robins G. : Proportion and Style in Ancient Egyptian Art , edition Austin-University of Texas press. 1994, p.62-85)



Fig.28: Relief représentant Osiris (tombe de Néferrenpet). L'utilisation des couleurs pour identifier la peau et le visage d'Osiris est symbolique. Le doré et le bleu sont des couleurs typiques dans l'art égyptien. Photo Jacques Livet

### 3.1.4 THEMES DE REPRESENTATION

On distingue diverses thématiques dans la représentation égyptienne. Les rites funéraires, les tables des offrandes, la vie quotidienne des défunts, les combats, les

spectacles des vainqueurs et des vaincus<sup>28</sup>. Un thème, enfin, devient très familier : celui des fêtes somptueuses et des riches banquets.



Fig.29 : Photo : Différents thèmes sont représentés dans l'art égyptien. Ici, la présence d'animaux avec un berger. Photo : The metropolitan museums collection (acc. No. 08.201.1)

Ces thèmes ont été rigoureusement traités et leur survivance est due aux règles définies plus haut. Ce qui a donné naissance à un vaste répertoire iconographique appelé " cahiers de modèles " qui devait servir de référence à l'artiste. Il nous servira à nous aussi de référence dans notre partie informatique pour introduire certaines règles.

### 3.1.5 REPERTOIRE ICONOGRAPHIQUE

Des observations indiquent que certains motifs utilisés dans l'histoire égyptologique appartiennent à un répertoire commun et à une période donnée. Ils n'écartent pas non plus l'hypothèse que l'évolution des techniques de dessins à travers les empires a eu une très grande influence sur le répertoire iconographique de chaque période. (Donovan L., Corquodale K: Egyptian art, principles and themes in wall scenes. Edition prism archaeological, Macquarie University, Australia.1986, p. 28-52).

Les artistes égyptiens ont développé un répertoire des formes qui ont été généralement utilisées au Nouvel Empire et qui sont devenues la norme et le modèle à suivre. Nous présenterons quelques uns :

<sup>28</sup> On en trouverait sans doute la cause dans la situation politique.



Fig.30 : fig. de gauche : Personnage qui s'apprête à recevoir des offrandes : posée avec un ou les deux bras se reposant sur son recouvrement. Fig. de droite : Personnage félicitant une action : accroupi sur un genou, un bras levé et l'autre tenu contre la poitrine avec les bras. Photo : D.ARNOLD, "Building in Egypt. Pharaonic stone masonry", Oxford, 1991.

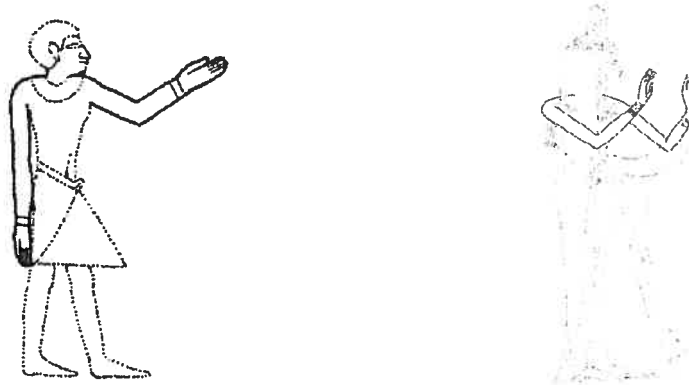


Fig.31 : fig. de gauche de gauche : Personnage Manifestant un désaveu : Paumes dirigée vers le bas : un bras prolongées en avant avec la paume ouverte. Fig. de droite : Personnage manifestant une adoration : les deux bras allongés en avant avec des mains soulevés. Photo : D.ARNOLD, "Building in Egypt. Pharaonic stone masonry", Oxford, 1991.



Fig.32 : Fig. de gauche : Personnes serrés l'un contre l'autre : expression de deuil avec les poings surélevés, les paumes tournées vers le visage. Fig. de droite : Personnage Protégeant : les deux bras sur les côtés avec les paumes faisant face au corps. Photo : D.ARNOLD, "Building in Egypt. Pharaonic stone masonry", Oxford, 1991.



Fig. 33: Fig. de gauche : Personnage présentant une offrande : les deux bras prolongés en avant avec un objet tenu dans un ou les deux paumes. Fig. de droite : Personnage manifestant une réjouissance : les deux bras en avant sortis avec les paumes tournées parties du corps. Photo : D.ARNOLD, "Building in Egypt. Pharaonic stone masonry", Oxford, 1991.

Les formes et les compositions sont représentées de façon équilibrée, les contours clairs, la forme simplifiée, et les zones de couleur, ont été employées pour créer l'ordre et la clarté. Les figures et les scènes ont été arrangées dans des proportions par l'introduction d'un système de carreaux qui permettait de répartir le dessin sur la surface.

### 3.2 LA GRILLE SYSTEME

Le Canon égyptien d'art a été maintenu durant des siècles par l'intermédiaire d'une technique assez originale que l'on appelle **grille système**.

Le principe consiste à diviser la surface de dessin en carreaux. La première ligne tracée sera un axe vertical qui divise la surface en deux (fig.34). Ensuite sont tracées d'autres lignes qui seront des axes horizontaux. (Angela M.J, Tooley M., Egyptian Models and Scenes, Buckinghamshire, UK, Shire Publications, LTD., 1995, p.36-42)

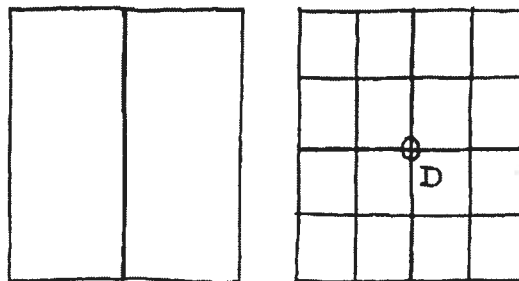


Fig.34 : Représentation schématique de l'axe vertical et horizontal qui divise la surface en deux. Photo : Else Christie Kielland, Geometry in Egyptian ArtArt

La deuxième étape consiste à subdiviser la surface de la façon suivante :

On trace trois lignes horizontales d'une valeur égale à trois cubit royaux (Le cubit royal est l'unité de mesure égyptienne qui mesure exactement 52,4 centimètres et correspond à vingt-quatre doigts divisés en six paumes) (fig.35).

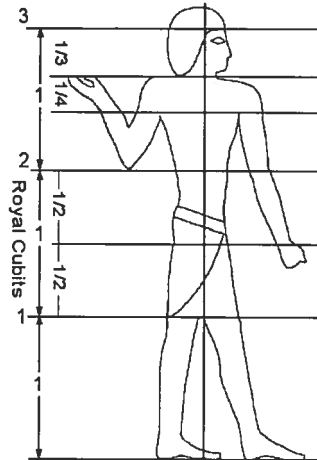


Fig.35 : La coudée royal comme unité de mesure du canon égyptien. Photo: G. Robins, *Proportion and Style in Ancient Egyptian Art* (London, 1994).

On subdivise ensuite chacune de ces trois parties en 6 carreaux qui correspondent à 6 paumes d'une main. Les mêmes lignes sont tracées verticalement (fig.36).

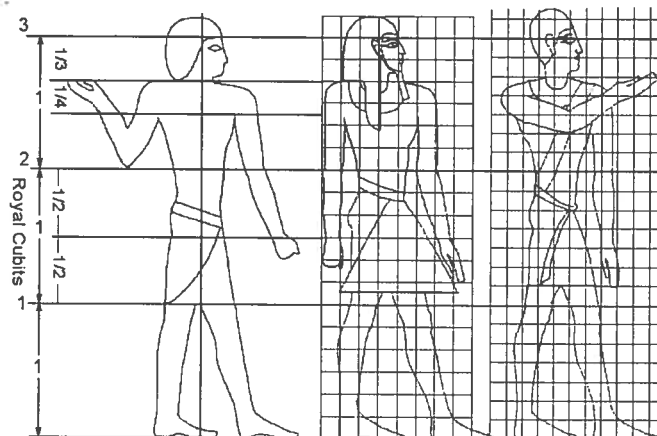


Fig.36 : La coudée royale comme unité de mesure du canon égyptien. Photo: G. Robins, *Proportion and Style in Ancient Egyptian Art* (London, 1994).

La taille de la figure est mesurée au dessus du front, cette partie de la tête souvent cachée par une couronne rendant difficile l'application des proportions établies.

Nous nous retrouvons donc avec une subdivision de la surface en 18 lignes horizontales qui forment la structure cohérente sur laquelle les proportions d'une figure pourraient être basées (fig.38).

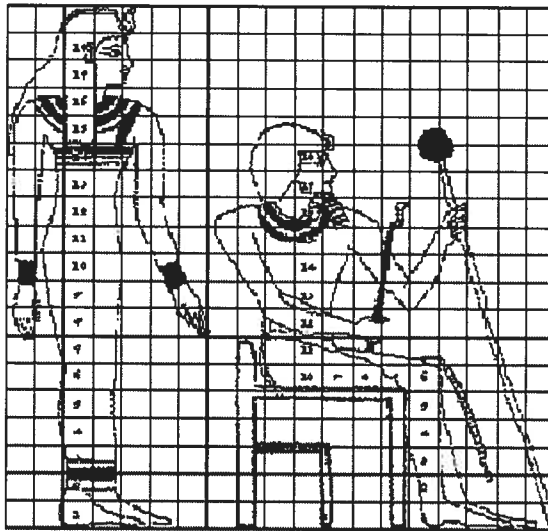


Fig.38 : Les artistes égyptiens utilisaient une grille à dix huit carrés pour esquisser leurs figures. Dessin : Fitzpatrick

Le principe essentiel du système de grille, après tout, était que des objets avec des dimensions particulières pourraient être reproduits sur une surface plate.

C'est un dispositif qui permet de dessiner n'importe quel objet sur n'importe quel endroit de la scène, mais aussi un système complet des proportions au moyen desquelles, toute forme de représentation pourrait dans la théorie être correctement proportionnée, comme par exemple les constructions qui sont elles aussi définies dans ce système (fig.39). (Stevenson S.W.: The Art and Architecture of Ancient Egypt. 3<sup>ème</sup> édition. Révisée par William Kelly Simpson, 1998, p.28-32)

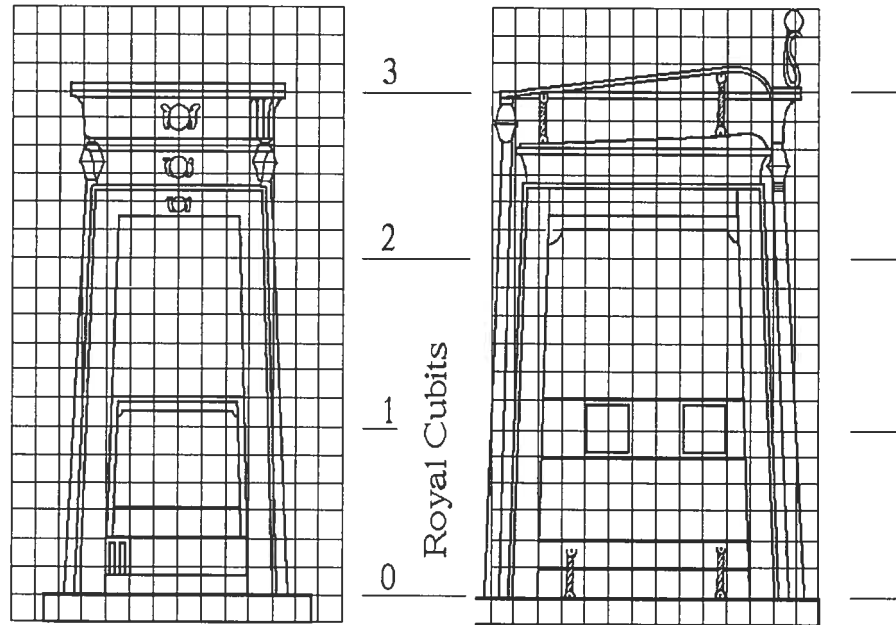


Fig.39: Introduction de la grille système dans l'architecture pour le respect des proportions.  
 Photo: CHR. ZIEGLER, J.-L. BOVOT, Art et archéologie. L'Égypte ancienne, Paris, 2001.

### 3.3 CONCLUSION

Les artistes égyptiens exécutaient leurs dessins selon des modèles de représentation dans le respect de règles définies. Leur connaissance des propriétés de ses règles était un élément important dans le processus de création. Ceci leur permettait d'exécuter des formes de dessin dans un style relativement identique. La connaissance de ces règles pourra aider à identifier les représentations partielles sur la surface des blocs lorsque ceux-ci sont dans un état dégradé. Si par exemple dans un bloc on décèle une couleur brune, on pourra déduire qu'il ne s'agit que d'un homme. Si on doit définir le contenu d'un bloc on est en mesure nécessairement d'identifier ce qui est visible et traduire ce qui ne l'est pas en nous référant au répertoire iconographique.



## CHAPITRE 4 : SYSTEME CONSTRUCTIF

Nous allons voir au cours de ce chapitre les éléments pertinents du système constructif à Karnak. Nous nous appuyerons sur les résultats des différents travaux qui se trouvent résumés dans l'ouvrage de R.Vergnieux, (R. Vergnieux, Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats Genève, 1999).

“Le vestige le plus significatif pour aider à la compréhension de la structure des murs en égyptologie, est sans conteste, le mur de clôture de la cour du IX<sup>ème</sup> pylône qui a été construit sous le règne d'Horemheb avec des blocs en provenance du temple d'Amenhotep IV. C'est donc essentiellement sur la base de l'interprétation de ces documents<sup>29</sup> que nous allons définir le système constructif à Karnak”. (R. Vergnieux, Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999, p. 32).

Notre choix de ce mur est dicté par le fait que notre recherche exploite les résultats de deux recherches dont les travaux interviennent sur ce site (chapitre 1 p.28).

### 4.1 PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION

Nous allons maintenant définir certains aspects liés à la construction de murs en égyptologie. Le mur étant le support sur lequel sont représentées les iconographies, matière de notre recherche.

#### 4.1.1 Taille des blocs.

Les blocs utilisés dans la construction de temples, se présentent sous l'aspect de caractéristique essentielle réside dans la régularité de leurs mesures. Ces dernières sont en moyenne de 50 x 25 x 25. Beaucoup de documents le confirment. (Vergnieux R. “ Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques”. Genève 1999. p.31-35)

---

<sup>29</sup> Faisant référence aux travaux de D.Redfort : “ The Akhenaten Temple project”

#### 4.1.2 Types de blocs

On distingue deux formes de pose de blocs :

1- La pose en boutisse : L'assise est placée avec le petit coté des blocs en façade.

2- La pose en carreaux : le grand coté de la bloc est posé en façade (fig.40)

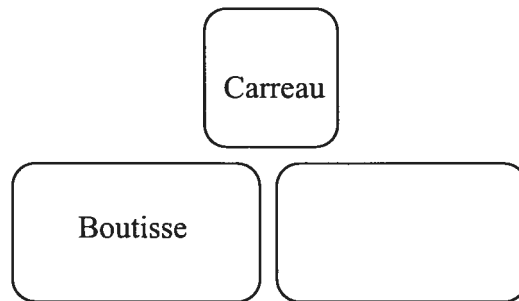


Fig.40 : Les deux types de pierres : Carreau et boutisse.

#### 4.1.3 Disposition des blocs

Les blocs sur un mur sont disposés d'un lit à l'autre de telle sorte que les joints ne soient jamais alignés verticalement. La pose de chaque bloc doit respecter le principe suivant :

Un décalage des joints verticaux entre deux assises en carreaux est systématiquement respecté. Cette mise en œuvre constitue une sorte d'ordre qui est presque immuable sur les parois des constructions (fig.41).

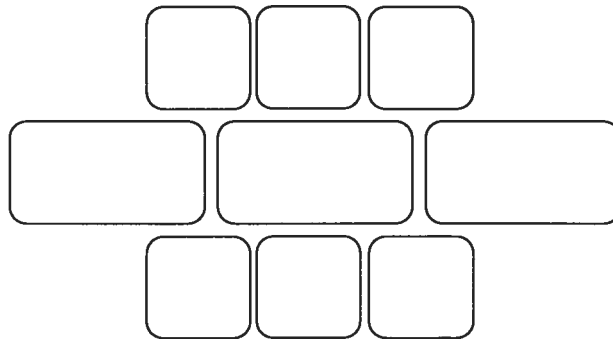


Fig.41 : Disposition des blocs sur la surface d'un mur

#### 4.1.4 Disposition des murs.

Les parois des murs sont strictement verticales. Leur masse est constituée par l'empilement d'assises de blocs (fig.42). Elles sont posées à "plat", leur plus petite dimension est égale à 22 cm, correspondant à la hauteur d'une assise de blocs dans le mur. Elles sont liées entre elles avec du plâtre. Le parement de ces constructions, respecte de façon générale, la structure de l'appareil. (Vergnieux R. : Recherches sur les monuments thébains d'amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques". Genève 1999. p.42)

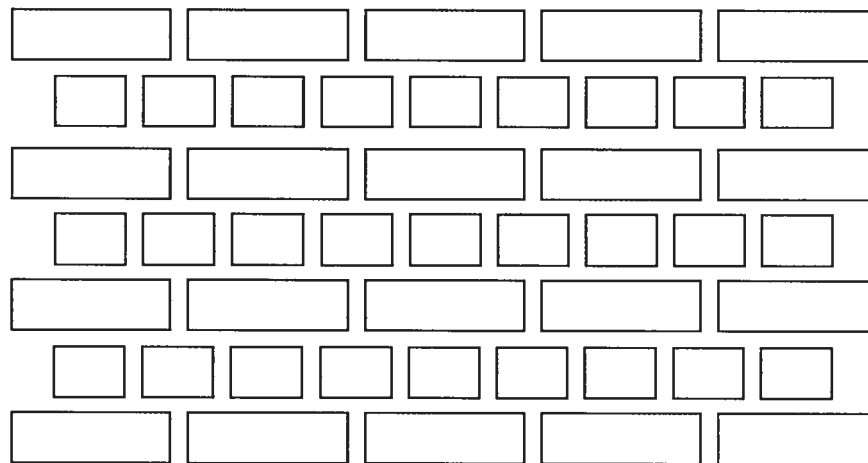


Fig.42: Vue d'ensemble de la position des blocs sur un mur. Dessin inspiré de l'ouvrage de R.Vergnieux : Recherches sur les monuments thébains d'amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques". Genève 1999)

#### 4.2 CONCLUSION.

Les méthodes de construction utilisées à Karnak sont parmi les techniques les plus connues à ce jour. De récents travaux ont confirmé la rigueur et la précision de ses méthodes qui ont donné l'aspect régulier à l'appareillage des murs<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> La reconstitution de la Chapelle Rouge par le CF, laisse apparaître certaines techniques de construction qui confirment les connaissances déjà établies.

On remarque deux types d'informations significatives dans le système constructif à Karnak :

- Le premier concerne les différents types de bloc utilisé pour la construction des temples.
- Le second concerne la disposition des blocs sur la surface d'un mur qui est le support d'une scène iconographique.

Ces informations sont pertinentes dans le processus d'informatisations de données car ils constituent le premier filtre de sélection qui permettra de réduire le travail de tri.

## CHAPITRE 5 : ELEMENTS DE DEFINITION DU PROCESSUS DE RESTITUTION

Dans le chapitre qui suit, nous allons analyser le processus de restitution qui permet à un égyptologue d'affirmer que deux blocs sont jointifs. Le but est de comprendre, de quelle façon le décor des blocs est modélisé puis la façon dont les groupes de blocs sont formés de manière à compiler des assemblages. Ceci nous permettra de tirer des observations pour asseoir notre méthode informatique.

### 5.1 INTRODUCTION

Chaque monument en Égypte s'inscrit dans un ensemble architectural qui a évolué sur plus de 2000 ans. L'imbrication des édifices, la complexité de datation des éléments d'architecture rend difficile le travail de l'égyptologue. Des milliers de blocs épars appartiennent à des édifices, qu'il doit recenser, identifier et interpréter. Cela suppose tout d'abord une connaissance précise du temple, des relevés architecturaux et également de l'architecture antique et des techniques de travail. Il doit traduire les scènes gravés et dessinés sur les murs pour reconstituer le motif initial. Nous sommes en présence d'une masse considérable de blocs dont il faut non seulement définir le type et le nombre, mais aussi le contenu des dessins qui permettra d'aider à la reconstruction de l'édifice. Le point de départ est la constitution de fichiers photographiques et de fac-similé des blocs ainsi que de la description des décors présents sur leur surface pour la construction de l'inventaire iconographique. Des essais d'assemblages sont ensuite envisagés en tenant compte de certains critères.

### 5.2 LES CRITERES DE CONNECTION

Un des critères les plus importants dont un égyptologue tient compte dans son travail de restitution est d'abord iconographique. Cela consiste à définir la cohérence du dessin dans une scène. Le second critère est d'ordre architectural qui permet de repositionner les blocs selon l'ordre dont ils étaient construits. Une fois les blocs photographiés individuellement, l'épigraphiste et l'architecte interviennent pour analyser et identifier l'ensemble des éléments visibles de chaque bloc. Il s'agit

de répertorier les éléments iconographiques ainsi que les indices de la construction susceptibles d'aider à la reconstruction. Cette situation est analogue à la démarche qui consiste à reconstruire un puzzle. Pour ce faire, il est nécessaire d'identifier :

- Sur quelle partie du bloc le dessin est discontinu.
- Le type de bloc à rechercher.
- Les similitudes ou complémentarités iconographiques que doit contenir le bloc à rechercher.

### 5.2.1 Les Critères de connections iconographiques

Ce travail nécessite la récolte, l'organisation et la manipulation d'informations relatives aux contenus des iconographies fournis par l'épigraphiste, et souvent, ce travail s'effectue de façon manuelle. Une fois la base de données sous forme d'images est disponible, il procède à des regroupements de blocs de la façon suivante :

- En analysant les images, Il identifie la discontinuité d'un dessin sur le bord d'un bloc. Il s'agit pour lui, de savoir quel type de bloc chercher et que doit contenir celui-ci. Ainsi, lorsqu'un dessin est incomplet sur un bord, il se poursuit nécessairement sur le bord d'un bloc voisin (fig.43).
- En essayant de trouver un rapprochement possible entre les éléments iconographiques présents sur chacun des blocs considérés et les relations qui les unissent. La pratique actuelle, ressemble à quelques détails près à l'exemple que nous avons décrit à la page 20. En effet, l'égyptologue étale les images, les analyse et définit les éléments iconographiques les plus probables à se regrouper. Il les organise ainsi par groupes significatifs en consultant manuellement une à une les images des blocs. Il sélectionne ensuite celles qui seraient probablement jointives pour constituer ainsi une disposition particulière.

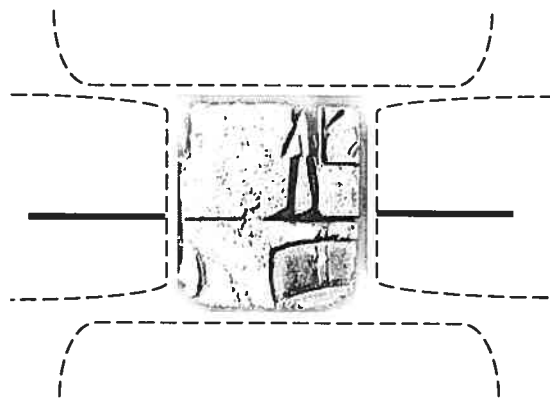


Fig.43 : La recherche du bloc voisin passe par l'identification du bord de la partie manquante.

Cette étape permet non seulement d'identifier la zone du bord de la bloc, par lequel le tracé continuait, mais aussi quel type de bloc chercher en tenant compte de l'aspect architectural de l'appareil.

#### 5.2.2 Les critères de connexions architecturales.

Le second élément dans le processus de restitution en égyptologie est de vérifier l'aspect architectural d'un édifice. En effet, les modes de construction dans l'histoire de l'égyptologie ont évolué et les techniques ont changé. Les procédés de construction sont donc impérativement liés au contexte et c'est pourquoi la période dans laquelle un édifice est construit peut définir le style de l'appareil. Grâce au travail d'anastylose (voir page 18), l'égyptologue analyse les indices de la construction et identifie certains éléments pertinents (type de bloc utilisé, leur grandeur, leur disposition dans une scène, position des queues d'aronde les traces de pince de pose, etc.). Pour notre cas, nous proposons de ne retenir que le "type de bloc" (carreau ou boutisse) comme critères de connexion à cause de la connaissance confirmée par toutes les recherches du système constructif au nouvel empire<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> L'introduction d'autres critères (queue d'aronde, traces de pinces de pose...etc.) serait une aventure complexe qui ne peut être contenue dans le cadre de ce mémoire.

Après avoir vérifié l'ensemble des éléments constructifs d'un appareil et en tenant compte de la logique du dessin sur une scène, il procède à des tentatives de regroupement de blocs pouvant s'associer et former ainsi un premier assemblage.

### 5.3 CONCLUSION

La démarche d'un égyptologue dans son travail de restitution demeure une tâche assez complexe et il est souvent confronté à une masse importante de données. Ses données pour être manipulés doivent être rigoureusement organisés. Les moyens qu'il a sa disposition pour les exploiter restent faibles. Les techniques manuelles ont démontré leur efficacité mais aussi leurs limites et souvent beaucoup de temps est consacré à un projet pour valider ou infirmer une reconstruction. Les restitutions qu'il propose à partir de l'interprétation des textes et des décors sont souvent reconsidérées à cause des nouvelles découvertes et cela rend la tâche encore plus complexe. L'intégration et le développement des outils informatiques au profit de cette discipline pourraient aider à son développement.



## CHAPITRE 6 : METHODE INFORMATIQUE PROPOSÉE

Dans le chapitre qui suit, nous allons aborder la partie informatique de notre travail. Pour ce faire, nous exploiterons le résultat de deux recherches que nous avons cité au chapitre 1 (p. 27-39) en exploitant leur résultats pertinents.

Le première travail concerne les travaux publiés sous la direction de D.Redford, un des plus grands égyptologues canadiens qui a dirigé, en 1972, une mission archéologique intitulée « Akhenaten Temple Project » (Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976).

Le second travail est celui de l'équipe de R.Vergnieux dans son projet de restitution architecturale du temple de Karnak par l'introduction de méthodes informatiques (Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques. Méthodes et résultats, CSEG 4, 1999. (R.Vergnieux, M. Gondran, Aménophis IV et les pierres du soleil. Akhénaton retrouvé, Arthaud, Paris, 1997).

La problématique de ses deux travaux est identique : De quel façon l'outil informatique peut-il aider l'égyptologue dans son travail de restitution. Se basant essentiellement sur le raisonnement d'un égyptologue face aux centaines de blocs qu'il a à repositionner en vue de trouver des amorces d'assemblages, les deux expériences semblent intéressantes car elles peuvent se compléter. Bien qu'ils s'appuient sur des rapprochements entre les éléments iconographiques présentes sur chacun des blocs, ils proposent des voies différentes : Le premier exploite la puissance des outils informatiques et intègre l'intelligence artificielle pour structurer ses données, le second compense la faiblesse des outils informatique en intégrant un type de données géométriques fort intéressant. Nous pensons que l'exploitation du résultat de ses recherches peut nous permettre d'envisager une nouvelle méthode qui pourra améliorer les procédés actuels de restitution en égyptologie.

## 6.1 OBJECTIFS

Notre objectif est de pouvoir trouver une méthode de description des éléments iconographiques égyptiennes qui pourrait nous permettre d'une part, de pointer des critères de connexion entre les blocs, et d'autre part, qui faciliterait les recherches d'assemblage. Rechercher une partie manquante revient d'abord à identifier ce qui ne l'est pas. Si par exemple, sur un bloc, on identifie une ligne discontinue, on peut déduire que la partie manquante serait la continuité de cette ligne sur un bloc voisin. Notre stratégie se présente sous la forme d'un cheminement du général vers le particulier. C'est-à-dire à partir d'une stratégie de description des éléments iconographiques, proposer un concept de base de données qui permettra son exploitation dans le but d'automatiser la recherche de blocs. Pour ce faire, on s'appuiera d'une part, sur les éléments du processus de restitution tel que défini dans le chapitre 5, et d'autre part sur les résultats des travaux mentionnés plus haut.

## 6.2 ELEMENTS D'OBSERVATION DU PROCESSUS DE RESTITUTION

Les premières analyses du processus de restitution nous permettent d'envisager certaines observations nécessaires à une amorce d'informatisation des données en égyptologie.

L'égyptologue pour commencer son travail de restitution s'appuie sur une documentation photographique et un relevé épigraphique de l'ensemble des blocs. Il constitue donc en premier lieu une base de données qui l'aidera à identifier la position de chaque bloc dans une scène par l'introduction de critères de connexion. En règle générale, ses critères sont au nombre de deux :

- 1) Le premier critère est d'ordre iconographique qui consiste à reconstituer la scène d'un mur en s'appuyant sur la continuité des iconographies d'un bloc à un autre.
- 2) Le second critère est d'ordre architectural qui se base sur la connaissance du système constructif de l'édifice à restituer.

### 6.2.1 Le critère iconographique

Le critère de connexion iconographique consiste à observer en premier lieu le contenu du dessin de chacun des blocs à repositionner et tenter de les décrire. Il s'agit de constituer une liste sur laquelle sont décrits non seulement les éléments iconographiques entiers, mais aussi ceux dont leur continuité se poursuivent dans les blocs voisins. Cela permettra de déterminer sur quel partie du bloc le dessin est interrompu, et sur quel coté du bloc voisin celui-ci se poursuit. Nous pourrions ainsi observer que son travail dans un premier temps consiste a :

- 1) Traduire textuellement une identification visuelle, c'est à dire décrire le contenu du décor de chaque bloc, dans le but de :
  - Répertorier l'ensemble des éléments iconographiques contenus dans chacun des blocs.
  - Décrire la présence partielle d'élément iconographique sur une partie de la surface du bloc pour pouvoir ensuite chercher les blocs voisins.
- 2) Identifier la zone du bord du bloc sur lequel le dessin est incomplet (fig.44). Ceci lui permettra de savoir :
  - Sur quelle partie de la surface du bloc le dessin est incomplet.
  - quel type de bloc à chercher.

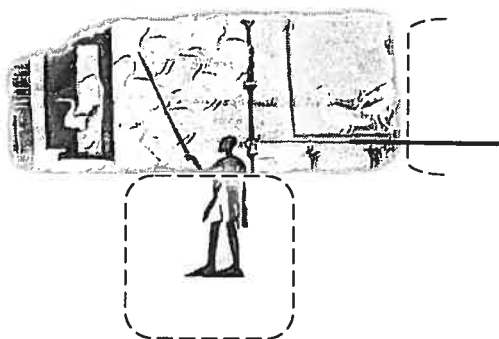


Fig.44 : Bloc contenant une partie d'un élément iconographique. Sa continuité se fait sur chacun des quatre cotés. Photo : R.Vergnieux, M. Gondran, Aménophis IV et les pierres du soleil.

Il y'a des cas où l'identification d'éléments iconographiques n'est pas évidente à cause de l'état dégradé des blocs, cette contrainte est assez courante dans le monde de la restitution en égyptologie. L'égyptologue procède dans ce cas avec un autre raisonnement qui consiste à un recours à des associations iconographiques. L'idée repose sur le fait que plusieurs entités iconographiques identiques sur plusieurs blocs incitent à considérer qu'elles appartiennent à la même scène. Il procède ainsi au regroupement des blocs dont les dessins apparaissent simultanément sur plusieurs blocs<sup>32</sup>.

### 6.2.2 Le critère architectural

Le second élément qu'un égyptologue utilise pour confirmer la position exacte d'un bloc dans une scène est d'ordre architectural. Il doit tenir compte de la structure de l'appareil et respecter la répartition des blocs sur le mur tel que construit initialement. C'est une règle fondamentale dans le processus de restitution. Ceci nous permet d'observer que la seconde étape de l'égyptologue consiste à :

- Introduire des critères de connexion qui tiendront compte de la logique de répartition des blocs sur la surface d'un mur. Ce qui lui permettra de trier les blocs selon les conditions du système constructif.

Le tableau 5 de la page suivante nous donne un aperçu global sur les deux critères et leurs objectifs.

### 6.3 ELEMENTS PERTINENTS DES METHOES ANTERIEURS

Les travaux que nous avons mentionnés plus haut et sur lesquels nous nous appuyons pour notre travail ont des particularités qu'il serait important de mentionner.

---

<sup>32</sup> Ce procédé a été proposé et développé par S.Billet ingénieur en informatique dans sa collaboration avec R.Vergnieux (Sophie Billet, un système expert en archéologie égyptienne : Étude du descriptif des "Talatat", Note HI-21-5715, Direction des études d'électricité de France, Clamart, mars 89)

Tableau 3 : Structure de données

Données		But
Critères iconographiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traduire la notion d'élément visuel textuellement.</li> <li>- Décrire la présence partielle d'éléments iconographiques.</li> <li>- Identifier la zone sur laquelle le dessin est incomplet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construire une liste des éléments iconographique de chaque bloc.</li> <li>- Identifier les éléments iconographiques partiels.</li> <li>- Identifier sur quel partie du bloc le dessin est interrompu.</li> </ul>
Critères architecturaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier le système constructif</li> <li>- identifier la répartition des blocs sur le mur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaître le type de mur.</li> <li>- pointer des critères de connexion en se basant sur certaines règles.</li> </ul>

Tableau 3 : L'ensemble des données relatifs aux éléments iconographiques et architecturaux et leur but.

### 6.3.1 The Akhenaten temple project''.

La méthode de restitution développée par D.Redford et son équipe contient les germes d'une approche que nous pourrions explorer pour améliorer le travail de recherche de blocs. Un de ses aspects des pertinents et qui nous intéresse est la possibilité d'introduire un certain type de données iconographiques pour aider à établir des critères de connexion entre les blocs. L'idée d'intégrer les rayons et mains solaires comme *entité géométrique* en leur associant leur propriétés peut aider a établir ses critères qui peuvent aider a automatiser une partie de la chercher de blocs manquants.

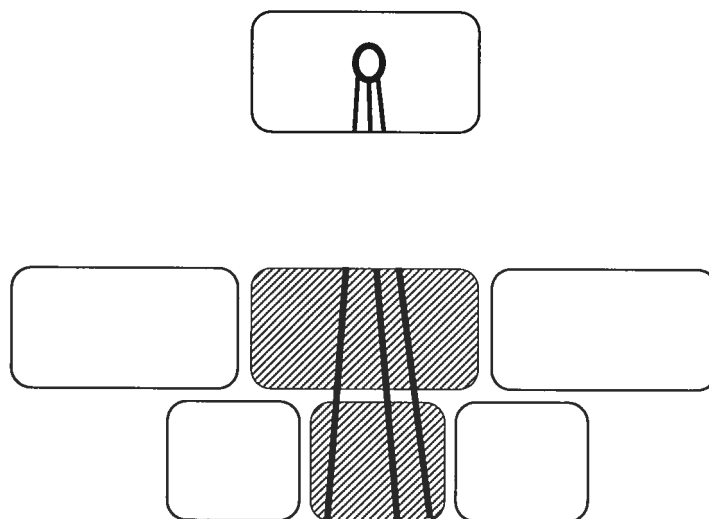


Fig.45. Les zones hachurés représentent les éléments iconographiques susceptibles de définir la suite du dessin.

Les blocs appartenant aux zones hachurés contiennent des éléments iconographiques sous forme d'entités géométriques susceptibles d'aider à trouver les blocs manquants sur la base de la continuité des lignes (fig.45). L'introduction des attributs de ses lignes (angle, largeur, orientation...etc.) privilégie l'idée que la continuité du dessin se fait dans le sens vertical des blocs. Ce type de données permet non seulement de faire des recherches par mot clés sur la base de

rapprochements d'éléments iconographiques susceptibles de constituer un assemblage, mais aussi de trouver des connections géométriques entre chaque bloc.

Tableau 4 : Structure de données utilisée par D.Refdfort

Données			But
Description des éléments visuels iconique			Construire un fichier informatisé (Base de données)
Description des rayons solaires			
Orientation	Angle	Largeur	
Recherche			Mot clé

Le tableau ci-après nous montre l'essentiel des données ensuite le manipuler.

Advenant un outils de gestion de bases de données performant, ces élément d'informations peuvent nous aider a proposer une méthode de recherche de bloc relativement améliorée.

### 6.3.2 Méthode par système expert.

L'approche de R. Vergnieux est fondée sur l'analyse iconographique des blocs et la logique du mode de représentation amarnien<sup>33</sup>. Ceci a nécessité non seulement la modélisation des connaissances *descriptives* de chaque bloc mais aussi des connaissances de type égyptologique, qui soient adaptés à l'écriture de bases de règles simulant le raisonnement de l'égyptologue.

La structure de données dans ce cas, se base sur la relation entre les entités iconographique par l'introduction d'une syntaxe qui repère chaque élément de scène et en définit les particularités, ensuite, une analyse sémantique établit des relations significatives correspondant aux particularités de chaque élément de scène pour rechercher des assemblages potentiels.

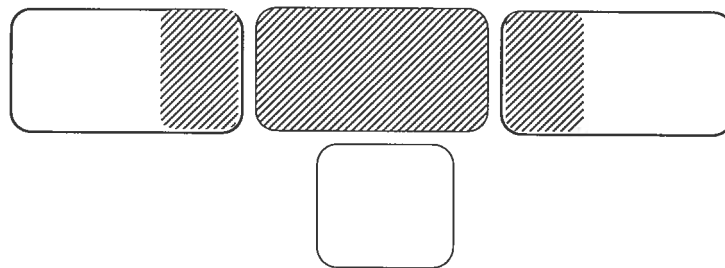


Fig.46. Les zones hachurées représentent les éléments iconographiques visibles. Sur la base d'une syntaxe, le système expert permettait de déduire le reste du dessin.

Les entités iconographiques appartenant aux zones hachurées ne couvrent pas entièrement un bloc sont difficiles à repérer puisque aucune information n'est disponible pour les définir (fig.46). Il fallait donc trouver un moyen qui permettra de positionner les objets et les personnages les uns par rapport aux autres.

L'introduction d'une syntaxe a permis de savoir que tel élément est " devant " ou " derrière " un autre. La stratégie dans ce cas est totalement différente contrairement

<sup>33</sup> Nouvel empire



à la méthode précédente. Son intérêt réside dans la description et l'organisation des données. Le tableau ci-après résume l'essentiel des données et leurs objectifs.

Tableau 5 : structure de données.

Données	But	
Description des éléments visuels iconique	Construire une base de données	
Relations iconiques (syntaxe)	Base de faits	Faire des déductions (Moteur d'interférence)
	Base de règles	
Recherche	Par association	

Dans les deux expériences, la nécessité de décrire les éléments visuels est une étape nécessaire. Dans le premier cas, on ne se limite pas à décrire les objets iconiques, mais aussi d'intégrer certains éléments iconographiques sous forme de données ayant des propriétés géométriques, d'où l'originalité de la méthode. Dans le second travail, la pertinence réside dans la structure et l'organisation des données et ceci est du essentiellement au fait qu'on a utilisé des outils informatiques très puissants et intégré ainsi les dernier développement en matière de traitement de données. Si on

tient compte des éléments potentiels de chacune de ses deux recherches, nous pourrions considérer que leur association pourra générer une méthode qui peut améliorer nettement le processus de restitution en égyptologie.

#### 6.4 PRESENTATION DE LA METHODE

La méthode que nous allons suggérer s'appuie d'une part sur l'observation du processus de restitution, et d'autre part sur l'exploitation de certains éléments pertinents des deux méthodes précédentes. Le but est de proposer une méthode plus performante.

Le point central de notre recherches est définie comme suit :

- Identifier quel le type de donnés.
- concevoir un modèle de données théorique organisé.
- Exploiter la base de données (fig.47).

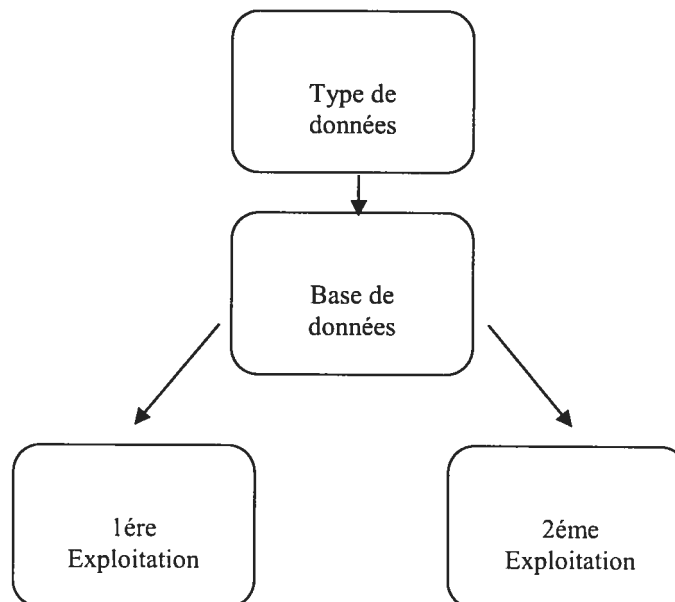


Fig. 47 : Résumé de la méthode proposée.

Pour ce faire, nous devons définir les données suivantes:

- Définir la notion d'élément iconographique.
- Décrire les propriétés des éléments iconographiques
- Repartir la surface d'un bloc en zones.
- Décrire les éléments iconographiques partiels présents sur chaque zone.
- identifier le type de bloc a rechercher.
- Introduire le principe d'une base de données pour contenir l'ensemble des informations relatives a chaque bloc.
- exploitation de la base de données.

#### 6.5 CHOIX DE L'OUTIL.

Connecter deux blocs entre eux à partir de la description de leur contenu iconographique, revient à décrire l'ensemble des contenus iconographiques qu'elles contiennent et observer ainsi les complémentarités possibles. Nous ne souhaitons par "interpréter" les éléments iconographies, mais les organiser de façon a pouvoir les trier selon des critères associés a certains paramètres. Ce travail nécessite de stocker une masse importante d'informations contenues sur chaque bloc et pouvoir ainsi les manipuler.

L'outil recommandé doit avoir les caractéristiques suivantes :

- un outils doté d'un SGBD (Système de Gestion de Base de Données).
- un outil qui permet de programmer des requêtes et préciser les conditions qui permettrons de les paramétrer.

#### 6.6 IDENTIFICATION DES DONNÉES

Nous allons définir les différents types de données nécessaires à l'organisation de l'information iconographique.

#### 6.6.1 Choix du bloc.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'appareil d'un mur est composé de deux types de blocs :

- Les blocs en Carreau
- Les blocs en boutisse

L'ordre dans lequel sont disposées ces blocs, doit respecter les deux principes suivants :

- 1- Tout assemblage de bloc doit respecter le principe que deux joints verticaux ne doivent jamais être alignés.
- 2- Entre deux assises en carreaux, on a une assise en boutisse.

Nous allons introduire un système coordonnées  $x, y$  sur la surface du mur qui va nous permettre d'identifier la position de chaque bloc dans la scène<sup>34</sup>. (fig.48)

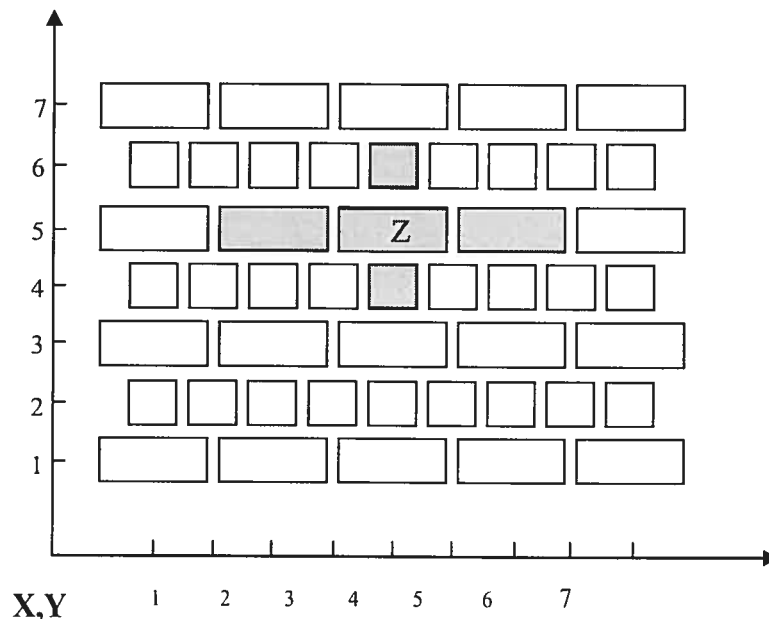


Fig. 48: Disposition des pierres par rapport au système de coordonnées

Ceci nous permet d'écrire que :

Si par exemple, La position d'une rupture de dessin est indiquée sur un bloc en boutisse appelée "Z" située à la position x, y, égale à 5,5. Les blocs à rechercher dans les 4 sens seraient :

- A droite = Boutisse
- A gauche = Boutisse
- En haut = Carreau
- En bas = Carreau

Le bloc étant le support physique de la représentation dans une scène, un ensemble de blocs disposés en "carreaux" et en "boutisse" constituent la surface de la scène. Ce sont la combinaison des éléments iconographiques rassemblés entre eux, qui vont donner une cohérence à l'ensemble d'une scène. Il y a lieu donc de commencer par définir la notion d'élément iconographique.

#### 6.6.2 L'entité visuelle.

Les dessinateurs égyptiens se sont inspirés d'objets qui les entourent pour illustrer leur quotidien dans les scènes iconographiques. Leurs sujets étaient variés et ils utilisaient les figures humaines, animales ou des objets pour exprimaient leur vision du monde. Amorcer une informatisation des données en égyptologie, nécessite de reconstruire la cohésion d'une scène en analysant le contenu des éléments iconographiques et en identifiant ensuite chacun d'eux pour trouver ensuite un lien logique entre chaque bloc. La notion d'éléments iconographique peut avoir des significations différentes selon les objectifs que l'on souhaite atteindre et nous trouvons dans le travail de R.Vergnieux une amorce de définition : "Une UNICO est *l'unité iconographique* qui correspond a un signe visuel iconique indépendant"(fig 49). (R.Vergnieux, : Recherches sur les monuments thébains

---

<sup>34</sup> Ce système a été mis au point dès 1986 par R.Vergnieux en collaboration avec M.M.Gondran.

d'Amenhotep IV a l'aide d'outils informatiques; Méthodes et résultats . 2 vols. Cahiers de la Société d'Égyptologie, Genève vol. 4, Genève 1999, p.96).



Fig.49 : Entités visuelles présentes sur le bloc. Photo: Aménophis IV et les pierres du soleil, Akhénaton retrouvé,

La notion de “signe visuel iconique” tel que définie dans le contexte de ce projet est associée aux objets “communs” ou “identifiables”. Charles W. Morris définit comme suit la notion d’iconique : “As iconic sign, it will be recalled, is any sign which is similar in some aspects to what it denotes”. (Charles W. Morris, *Signs, Language, and Behavior.*, New York: Prentice Hall Inc., 1946, p.62).

Un signe est donc iconique dès qu’il possède « quelques propriétés de l’objet *représenté* », et dans ce contexte, l’identification de toute représentation sur un bloc se limite à la présence d’éléments qui correspondent à une COLONNE, un HOMME, une OIE...etc., et si on doit s’intéresser à autre chose que ses représentations comme par exemple les formes géométriques comme ça a été le cas dans le travail de D.Redford, nous considérons que cette définition est partiellement valable. Cette description avait été établie dans une stratégie qui devait tenir compte d’une logique de restitution basée sur un raisonnement itératif dans le but de reconstruire la “cohérence” d’un décor initial *en se basant non pas sur des critères de connexion entre les blocs, mais sur la “relation” entre les signes visuels iconiques.*

“ L’objectif à atteindre est seulement de s’assurer de l’identification des éléments visuels présents sur chacune des blocs et des relations qui les unissent” (R.Vergnieux, : *Recherches sur les monuments thébains d’Amenhotep IV à l’aide*

d'outils informatiques; Méthodes et résultats . 2 vols. Cahiers de la Société d'Égyptologie, Genève vol. 4, Genève 1999, p.95).

Bien que limité aux éléments iconique présents sur la surface d'une bloc, nous pourrions considérer cette définition comme une amorce a notre travail car elle peut nous permettre de renouer avec une méthode longtemps abandonnée. Lorsque D.Redford constata sur une bonne partie des blocs la présence de lignes obliques qui convergeaient vers un même sommet, celui-ci a eu l'idée de décrire non seulement les éléments iconiques visibles, mais aussi les *rayons et mains solaires* présents sur chacun des blocs sous forme de segments de droite. Cela lui a permis d'améliorer substantiellement ses recherches en compensant ainsi la faiblesse des outils informatiques par des solutions géométriques. Aussi, et tout récemment, nous pourrions citer la méthode utilisée par le GRCAO dont le principe consiste a faire un relevé épigraphique des inscriptions gravées sur la surface des blocs a l'aide de courbes de bezier. L'idée est de délimiter la forme des objets iconographiques par un tracé géométriques à partir d'un ensemble de points de contrôle. Dans les deux cas, nous remarquons l'intérêt de traduire les données iconographiques par des entités géométriques. L'avantage de ce type d'approche permet de construire un modèle dont les avantages sont énormes :

- Permet une représentation assez conforme des entités géométriques.
- Permet une meilleure précision au niveau de la localisation des entités géométriques.
- permet d'individualiser les entités géométriques.

Notre objectif de recherche consiste à compléter les méthodes déjà existantes et qui s'appuient sur les éléments iconographiques en introduisant de nouvelles données. Notre stratégie consiste à trouver des critères de connexion bord a bord entre les blocs en nous basant sur le principe que leur connexion dépendait de la présence de lignes qui chevaucheraient deux blocs. Nous pensons que l'idée de tenir compte de la présence d'éléments géométriques sur un bloc serait une voie prometteuse. Ainsi,

toute ligne observée sur l'image de chaque bloc peut être répertoriée. Les lignes pourraient être des lignes horizontales d'un rayon solaire, l'axe d'une colonne, le bord d'une table, une flèche, une partie d'un linteau.

L'exploration de cette piste nous permettra de redéfinir la notion d'élément visuel de la façon suivante : "c'est l'unité *iconographique* qui correspond a une entité géométrique indépendante". Cela nous permettra alors non seulement de décrire les éléments géométriques significatifs des objets comme par exemple les colonnes (lignes), les rayons solaires, flèche (segments ou vecteurs), mais aussi d'introduire leurs paramètres : " For these blocks, the coding schedules gave the computer the angles of both right-hand and left-hand rays and the distance between them, as well as much more data. In any case, this provided two angles and one side of a triangles, whose apex was at the sun-disc" ((Redford, D. B. et Smith, R. W, The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976. p.8).

Cela revient à dire que pour un bloc de type z, les éléments significatifs à retenir sont un ensemble d'entités géométriques que l'on peut appeler vecteurs <sup>35</sup> (fig 50). Une fois définie la notion du "contenu iconographique", nous pourrions passer a l'étape qui consiste a analyser ce qui peut nous permettre de considérer que deux blocs sont jointifs. L'observation du processus de restitution par la recherche de la continuité d'un vecteur sur un bloc manquant s'effectue en deux temps :

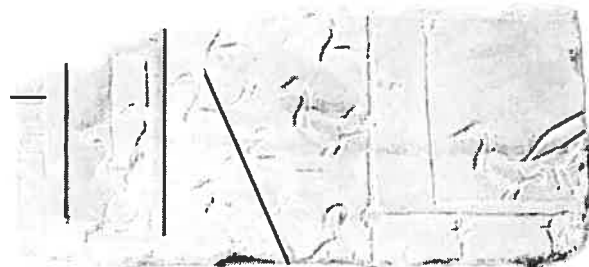


Fig.50 : Éléments géométriques visibles sur la surface d'un bloc.

<sup>35</sup> Nous pourrions aussi retenir les entités géométriques formant des arcs de courbes de différents types mais leur complexité ne peut se contenir dans le cadre de ce travail.



- On procède à une analyse détaillée qui prend en compte la localisation des vecteurs sur un bloc. A l'aide de connaissances des propriétés de chacun, on en détermine le complément ou la continuité. Et grâce aux relations éventuelles entre les vecteurs on peut établir des critères de connexion pour déduire la suite probable de la composition.
- On procède à une analyse plus globale basée sur la répartition des vecteurs qui permet de mieux comprendre le développement de la scène et de compléter les résultats obtenus précédemment.

Pour ce faire, nous devons définir les propriétés des vecteurs.

#### 6.6.3 Propriétés des vecteurs.

Chaque bloc peut contenir un ou plusieurs vecteurs susceptibles de nous aider à construire une logique de restitution. La connexion entre ses blocs traduit un ensemble d'entités géométriques aux dimensions limitées par la scène. Dans cet espace à deux dimensions, le seul inventaire des vecteurs identifiable ne nous permettra pas de traduire l'ensemble de ce qui est visible. Il nous est donc indispensable d'introduire les propriétés de chaque vecteur et la manière dont ils sont distribués les uns par rapport aux autres sur la surface d'un bloc.

#### 6.6.4 Les relations descriptives.

Les relations descriptives qui caractérisent nos données géométriques sont celles qui nous permettent de définir tous les éléments pouvant entrer en considération dans la définition des propriétés des vecteurs. Ainsi, Pour pouvoir donner plus de précision à leur identification, on doit nécessairement décrire leur forme, c'est-à-dire, énumérer certaines de leur propriétés. Parmi celles qui peuvent nous aider dans notre travail, nous retiendrons 6 :

- 1) Échelle
- 2) Angle
- 3) Type
- 4) Orientation
- 5) Largeur
- 6) Zone de rupture

1) Échelle des vecteurs.

Une des propriétés que l'on peut considérer importantes serait l'échelle des vecteurs. L'observation des éléments géométriques présents sur un bloc nous permet d'associer aux vecteurs une grandeur qui pourrait distinguer les objets par catégorie. Ainsi la présence d'une colonne ou du linteau d'une porte peut être associée à un vecteur épais, celle d'une flèche par un vecteur fin...etc. (fig.49) Nous pourrions ainsi identifier leur épaisseur en leur associant une lettre. Cela nous conduit au principe suivant :

Identifier la présence d'un vecteur  $V1$  sur la surface d'un bloc revient à décrire son épaisseur en considérant trois cas possibles :

- Vecteurs échelle1 que nous désignerons par E1 qui correspond a une ligne fine.
- Vecteurs échelle2 que nous désignerons par E2 qui corresponds a une ligne moyenne.
- Vecteurs échelle3 que nous désignerons par E3 qui corresponds a une ligne épaisse.(fig.51)



Fig.51 : Bloc représentant un ensemble de vecteurs de différentes épaisseurs.

Exemple : La bloc "z" est décrite par un ensemble de vecteurs sur les abords de la bloc : Bloc "z" = [ $\langle V1 \rangle$ ;  $\langle V2 \rangle$   $\langle V3 \rangle$ ]

Vecteur "V1" = [ $\langle E1 \rangle$ ]

Vecteur "V1" = [ $\langle E2 \rangle$ ]

## 2) Angle des vecteurs

Un autre élément aussi important serait d'identifier l'angle des vecteurs. Celui-ci est déterminée par rapport a une ligne horizontale tracée le long du coté bas du bloc dont le centre est égal a zéro. Cette information permet de déterminer l'orientation des vecteurs et constitue une des données qui permettent d'appliquer les méthodes trigonométriques pour connaître le sommet du triangle ainsi constitué (fig.52)<sup>36</sup>.

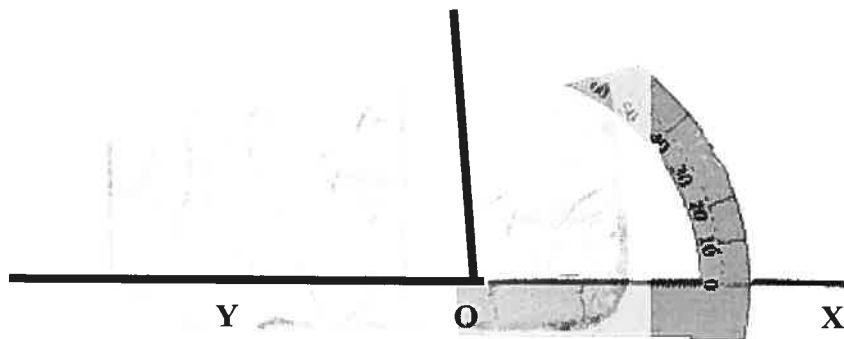


Fig.52 : Bloc représentant un vecteur avec un angle d'inclinaison.

Ceci nous permet d'écrire que la présence d'un vecteur "V1" sur la surface du bloc "z" revient à définir non seulement son épaisseur, mais aussi son angle (fig.55).

<sup>36</sup> En introduisant la largeur qui sépare les deux angles de chaque coté, et la valeur de chaque angle, on pourra définir le sommet du triangle.

Exemple : Le vecteur V1 sur la bloc ‘z’ est décrit comme suit :

Bloc ‘z’ = [ $\langle V1 \rangle$ ;  $\langle V2 \rangle$ ]

Vecteur ‘V1’ = [ $\langle 98^\circ \rangle$ ]

Vecteur ‘V2’ = [ $\langle 146^\circ \rangle$ ]

3) Type et orientation des vecteurs.

L’information relative à l’angle du vecteur peut nous aider à déduire le type et l’orientation des vecteurs. Ainsi, en se basant sur le fait que celui-ci se trouve à l’intérieur de 180 degrés, sa valeur nous renseignera s’il est horizontal ou vertical et si son orientation est droite ou gauche (fig.53).

La présence d’un vecteur ‘V1’ sur la surface du bloc ‘z’ revient à définir s’il est horizontal ou vertical et si le sens d’orientation est droit ou gauche. Cela se fait de la façon suivante :

\* Type de vecteur :

Si l’angle du vecteur V1 est compris entre  $1^\circ$  et  $179^\circ$ , V1 est vertical

Si l’angle du vecteur V1 est égal à 0 ou  $180^\circ$  V1 est horizontal.

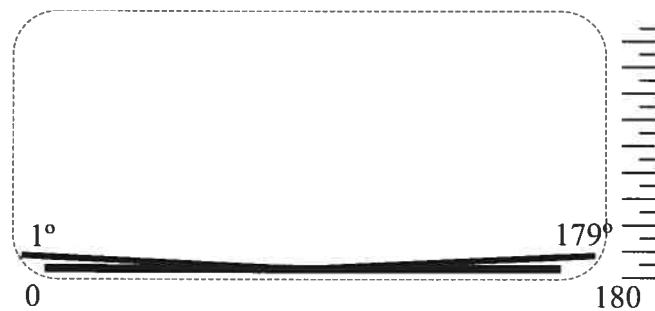


Fig.53 : Bloc représentant un vecteur dont le type et l’orientation sont définis par l’angle d’inclinaison

\* Orientation du vecteur :

Si l'angle du vecteur V1 est compris entre 91° et 180, V1 est orienté gauche

Si l'angle du vecteur V1 est égal a 0 ou 90°, V1 est orienté droit. (fig.54)

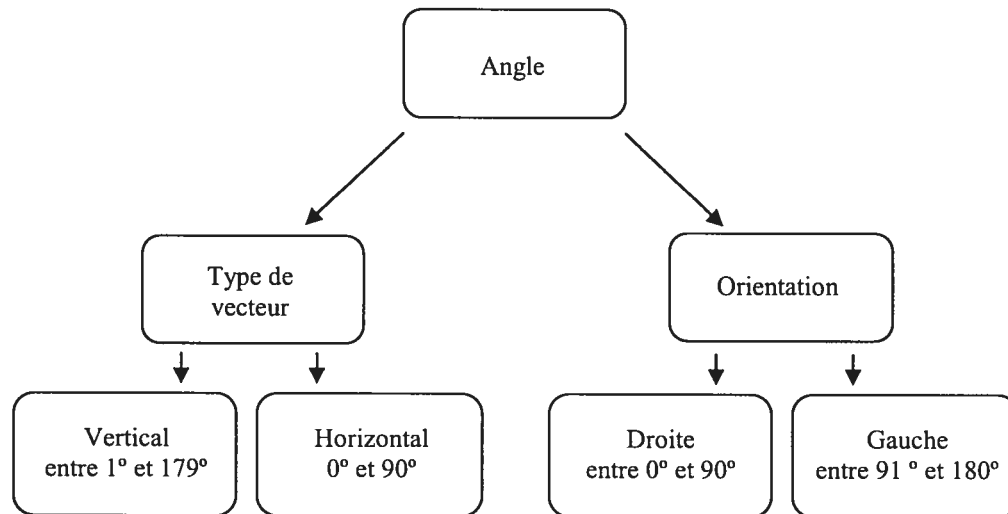


Fig.54 : La aussi, l'orientation du vecteur dépend de l'angle d'inclinaison.

#### 4) Largeur entre les vecteurs :

Cette information ne peut être considérée que dans le cas où on constate la présence de rayons solaires sur un bloc. En s'appuyant sur les propriétés géométriques des vecteurs présents sur sa surface, on pourra identifier les coordonnées x,y d'un bloc qui lui est associé (le bloc contenant le disque solaire).

La présence d'un vecteur "V1" sur la surface du bloc "z" revient ainsi à définir la distance qui sépare les coordonnées de deux points entre chaque angle (fig.55).

Exemple : La largeur entre les deux vecteur V1 et V2 sur la bloc "z" est décrit comme suit :

$$\text{Bloc "z"} = [ \langle V1 \rangle ; \langle V2 \rangle \langle V3 \rangle ]$$

$$\text{Largeur entre "V1" et "V2"} = [ \langle 10 \rangle ]$$

$$\text{Largeur entre "V2" et "V3"} = [ \langle 8 \rangle ]$$

On commence de droite a gauche et on défini l'unité de mesure.

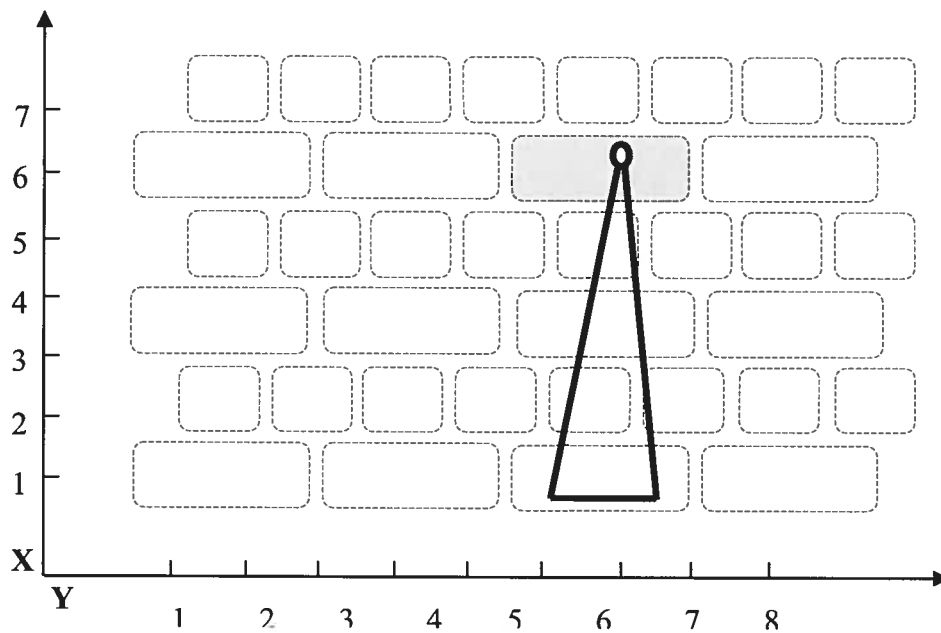


Fig. 55 : Disposition des blocs par rapport au système de coordonnées

### 5) Zone de rupture.

Identifier la présence partielle d'un vecteur "V1" sur la surface du bloc "z" revient à accepter que la continuité de celle-ci existe quelque part dans la scène (fig.56). La présence partielle d'un vecteur nous conduit à définir, quelle est la partie du vecteur qui est visible et quelle serait la partie à chercher.

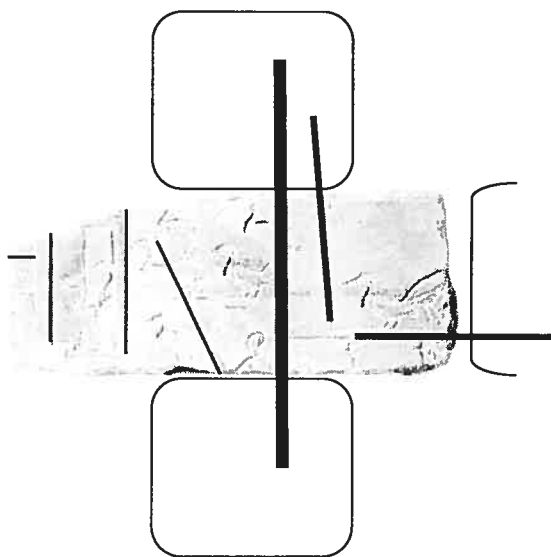


Fig.56 : Bloc représentant des zones de rupture des vecteurs sur les 3 cotés.

Le tableau de la page suivante nous résume l'essentiel de chaque description. En premier lieu, notre méthode descriptive consistera donc à établir pour chaque bloc de la scène, l'inventaire des vecteurs qui y sont présentes afin d'établir la forme de leurs relations.

Tableau 6 : Récapitulatif des propriétés des vecteurs.

<b>Description</b>	<b>But</b>
Description du vecteur	Le but étant de construire une base de données ou seront identifiés les vecteurs présents sur chaque bloc.
Description de l'échelle de chaque vecteur	Cette description nous permet d'identifier une échelle de vecteurs dans la base de données
Description de l'angle d'un vecteur	Cette description nous permet d'identifier un angle particulier de vecteurs dans la base donnée
Description du type et de l'orientation d'un vecteur	Cette description nous permet d'identifier le type et l'orientation du vecteur dans la base de données
Description de la largeur d'un vecteur	Cette description nous permet d'identifier la position d'un bloc dans une scène
Description de la zone de rupture d'un vecteur	Cette description nous permet d'identifier le type de bloc à rechercher dans la base de données

Tableau 6 : Récapitulatif des donnée relatifs aux propriétés des vecteurs.

### 6.6.5 Répartition des vecteurs.

Nous allons maintenant aborder l'une des parties les plus importantes dans l'amorce d'assemblage : Il s'agit de référencer la surface d'un bloc en tenant compte du bord sur lequel un vecteur est discontinu. En effet, la présence partielle d'un vecteur sur un bloc signifie que celui-ci se poursuit sur le bloc voisin. Il est donc important de connaître à quel endroit de sa surface il faut chercher la continuité.

## 6.7 LA GRILLE SYSTEME

Contrairement à la méthode proposée par R. Vergnieux<sup>37</sup> dont nous avons défini les contraintes (voir chapitre, p102), nous allons nous inspirer de la grille système utilisée par les artistes égyptiens (chapitre 2 p, 102) dans le but d'organiser la surface d'un bloc et répartir ainsi sa surface. C'est un découpage symétrique qui permet l'intégration d'un système de coordonnées bidimensionnel. Cette forme d'organisation de la surface du bloc tient compte d'une stratégie qui permet de pointer le maximum de positions sur la surface du bloc et de mieux structurer l'information.

### 6.7.1 Méthode par subdivision

La méthode consiste en un découpage du bloc en lignes horizontales et verticales qui indique sa séparation en cellules que nous appellerons "zones". Nous distinguons deux types de blocs : Les blocs en carreau et les blocs en boutisse.

Le principe de la subdivision est identique pour les deux cas. On trace une ligne horizontale qui divise la surface du bloc en deux puis on trace d'autres lignes verticales égales à  $N$ , puis  $N/2$ . On peut aller aussi jusqu'à  $N/4$  selon le niveau de pertinence que l'on souhaite avoir. Les fig. 57 et 58 illustrent la division.

---

<sup>37</sup> On remarque dans la répartition des zones proposée par R. Vergnieux (p.36) à un niveau de précision moins évident : Pour un bloc en boutisse par exemple, celui-ci identifie (sur la longueur) 3 zones. Il attribue ainsi pour un bloc de 50 cm, une valeur de 16 cm par zone, ce qui largement insuffisant.



Blocs en boutisse :

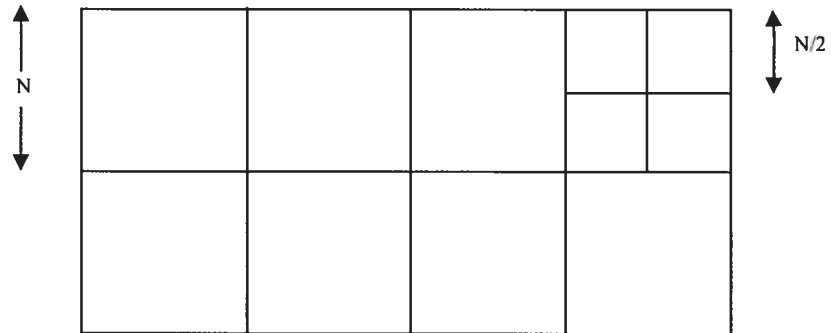


Fig.57 : bloc en boutisse. Subdivision de la Pierre en  $N/2$

- Blocs en carreau.

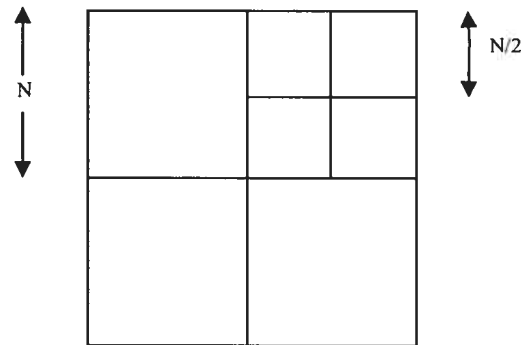


Fig. 58 : bloc en carreau. Subdivision de la Pierre en  $N/2$

Après avoir subdivisé la surface de notre bloc, nous allons procéder à la création de zones par l'introduction du système de coordonnées  $x, y$  (fig.59 et 60).

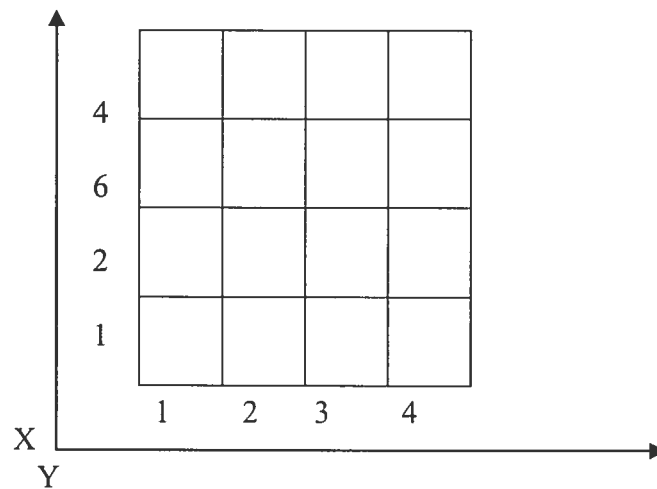


Fig.59 : Pierre en carreau : Introduction du système de coordonnées.

L'identification de chaque zone se fait selon les coordonnées  $x, y$  et nous permet de noter exactement la position de rupture d'un vecteur sur la surface d'un bloc. Par l'introduction de règles, on peut savoir la zone et le type de bloc a rechercher.

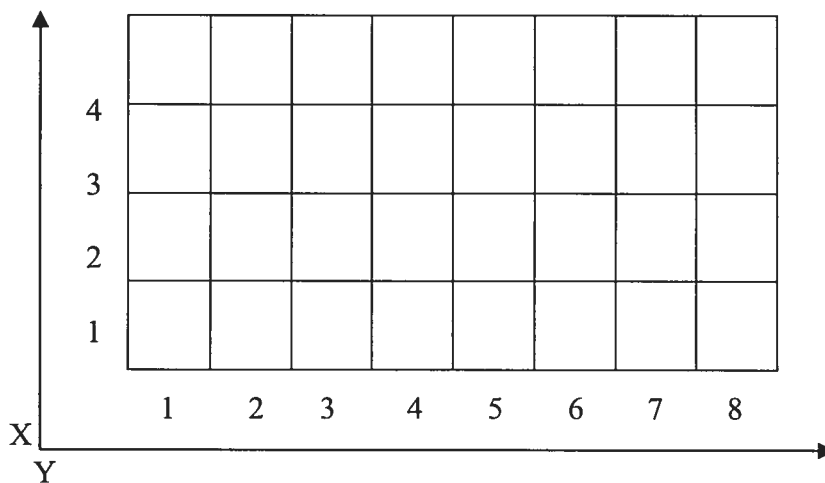


Fig.60 : Pierre z en carreau : Introduction du système de coordonnées.

L'introduction de cette information se fera dans la forme suivante :

Bloc " z",

Vecteur " V1 "

Zone de rupture  $(x, y)$ ,

ou  $(x, y)$  représente la position de la zone de rupture considérée.

Dans le cas ou le même vecteur traverse plus d'une zone, nous écrivons :

(fig.61 et 62) nous écrivons :

Bloc " z", Vecteur  $\langle V1 \rangle$ , Zone1  $\langle x, y \rangle$ , Zone2  $\langle x, y \rangle$

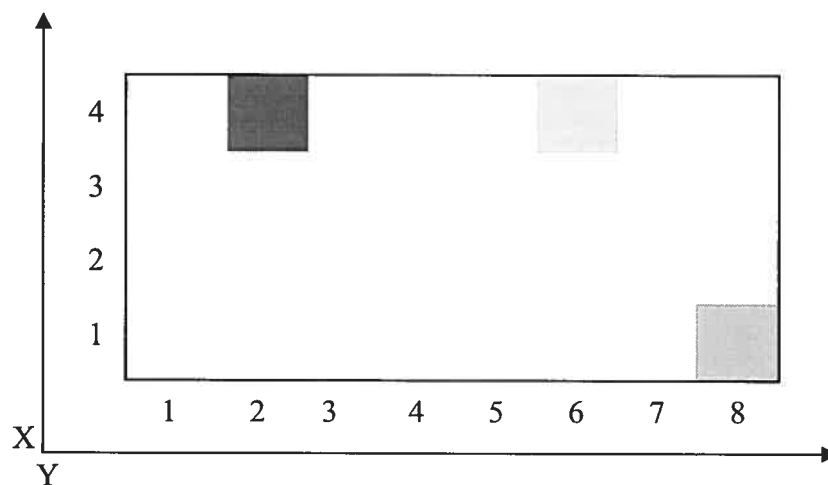


Fig.61 : Pierre en boutisse. Position des entités visuelles par rapport au système de coordonnées.

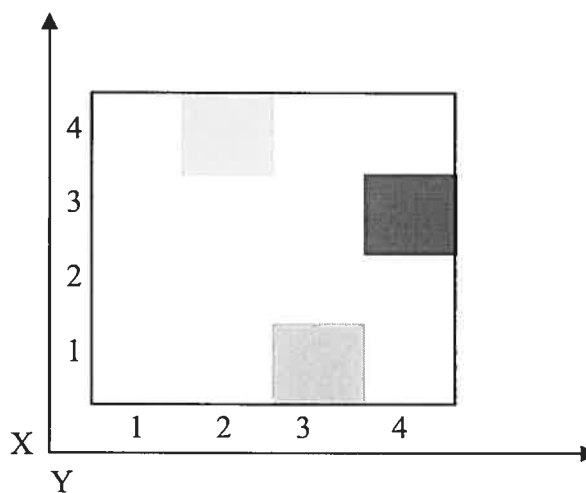


Fig.62 : Pierre en carreau. Position des entités visuelles par rapport au système de coordonnées.

Décrire une zone revient, dans un premier temps à énumérer le vecteur et ensuite sa partie visible sur la surface d'un bloc.

Chaque description est systématiquement suivie de la zone où sera identifiée la partie incomplète du vecteur. L'inventaire ainsi constitué sera la matière informatique qu'il faudra stocker dans une base de données que nous pourrions interroger pour automatiser une partie de la recherche.

## 6.8 LES BASES DE DONNÉES

Nous allons amorcer une réflexion sommaire sur la notion de base de données pour définir les contours du système que nous proposons. La complexité du domaine nécessite une expertise qui ne rentre pas dans le cadre de ce travail et nous nous en tiendrons aux seuls principes qui définissent nos données pour pouvoir comprendre l'aspect général de la base de données. Nous allons donc établir un schéma de modèle conceptuel de données, pré requis indispensable à la création de la base de données a proprement dite.

Définition :

*'' une base de données est un ensemble structuré de données, gérés à l'aide d'un ordinateur de manière homogène tout en étant partagée par plusieurs applications. La conception et la mise en œuvre d'une base de données ne peut être effectuée sans le recours à une méthodologie appropriée. Elle est, en général créée pour être consultée. Elle peut être également mise à jour dépendamment des objectifs.''*  
(Guimier-Sorbets A.-M., *Les bases de données en archéologie. Conception et mise en oeuvre*, Paris, 1990, p.75).

La conception d'une base de données se fait en deux étapes :

- Model conceptuel : C'est un ensemble d'informations organisées.

Le modèle conceptuel constitue le point essentiel avant de construire la base de données, car il convient de séparer les données de leur organisation. Le modèle conceptuel de données s'attache à définir le type (et le format) des données qu'on veut pouvoir stocker et manipuler dans la base de données.

- Modèle conceptuel relationnel : ce sont les liens logiques entre ces informations.

Chaque information est composée d'un ensemble de données qui comporte un ou plusieurs renseignements sur un élément de la base de données. Chacun de ces renseignements est une information indivisible. Il est nécessaire en premier lieu de

construire un modèle de représentation des données conceptuel et un modèle relationnel.

#### 6.8.1 Forme de la base de données.

Nous allons proposer de créer un index général dans lequel sera structurée l'information relative aux vecteurs. Le type d'information nécessaire à l'identification d'un bloc nous dicte de créer des rubriques que l'on mettra en relation. Plus le nombre de rubriques est élevé, plus nous introduisons des détails susceptibles de raffiner la recherche, la liste peut donc être améliorée. Dans notre cas, au moins trois rubriques seront nécessaires :

1) Rubrique : Bloc

2) Rubrique : Description (nombre, échelle, angle, type et orientation du vecteur, largeur)

3) Rubrique : Zone

1) Rubrique bloc :

Cette rubrique consiste à déterminer les éléments suivants :

\* identifiant : Chaque bloc est identifiée par un identifiant numérique qui serait la clé de recherche. Il est unique. Celui-ci est associé à l'image même du bloc.

\* image : Le bloc est définie par une image.

\* type : Nous distinguons deux types de blocs :

- Boutisse : Partie gravée du dessin sur la boutisse

- Carreau : partie gravée du dessin sur le carreau.

2) Rubrique Description :

C'est l'ensemble des vecteurs ainsi que leur propriétés : C'est la description des différents éléments associés à chaque vecteur dont :

\* Nombre : Défini le nombre de vecteurs existants pour le même bloc

\* Échelle : C'est l'épaisseur de chaque vecteur. Nous distinguons 3 catégories : E1, E2 et E3. Là aussi, la liste peut être raffinée pour donner plus de détails susceptibles de rendre la recherche pertinente.

\* l'angle : Défini la valeur angulaire du vecteur : elle est égale entre 0 et 180°. Sa valeur nous permet de déterminer deux types d'informations :

\* Type de vecteur : Horizontal ou vertical : Si la valeur de l'angle est comprise entre 1 et 179°, le type de vecteur est vertical, si sa valeur est 0 ou 180, son type est horizontal.

\* Orientation du vecteur : Concerne l'orientation du vecteur par rapport à la surface du bloc. Il est orienté à droite s'il est compris entre 0 et 90°, si par contre il est orienté à gauche, sa valeur est comprise entre 91 et 180°

\* Largeur : C'est la distance qui sépare les coordonnées de deux points entre chaque angle.

3) zone. C'est l'information relative aux coordonnées (x, y) de la zone de rupture du vecteur

Afin de structurer et de mettre en évidence les relations qui existent entre les vecteurs, on propose de créer un schéma relationnel de données.

### 6.7.2 Modèle conceptuel relationnel de la base de données.

Le modèle conceptuel relationnel de la base de données regroupe l'ensemble des vecteurs et leurs liens. Il doit respecter le principe que chaque vecteur appartient à

une classe et possède les attributs de cette classe. Un vecteur peut être en relation avec un ou des vecteurs d'une ou plusieurs classes:

Les classes : Regroupe les vecteurs selon les attributs qui leur sont associés.

Attributs : C'est la liste de valeurs possibles : Angles, Échelle, largeur..etc.

### Schéma général de la base de données

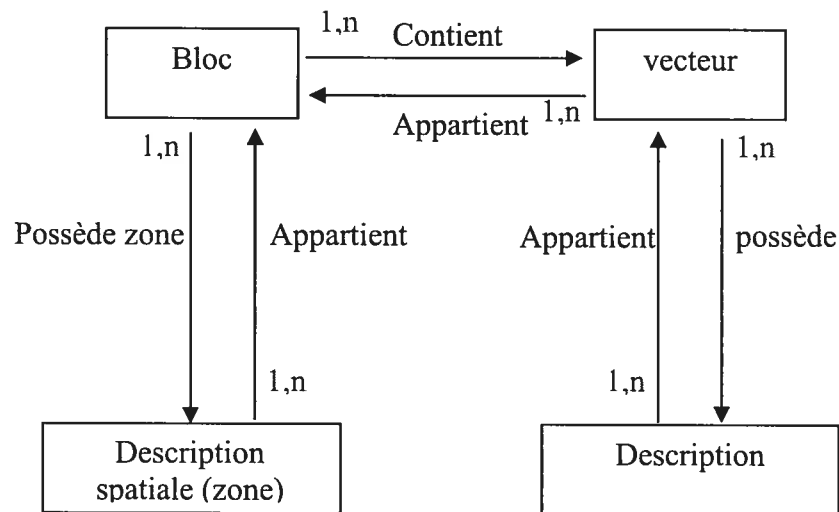


Fig. 63 : Schéma général du système de gestion de la base de données.

Les relations et leur cardinalités :

Une relation associe des vecteurs d'une même classe ou de classes distinctes. Elle est orientée et elle possède une cardinalité (0,1 ou n) :

- chaque vecteur doit être relié à, au moins, un autre par une association (base d'un système relationnel),
- chaque association est définie par une cardinalité. Une cardinalité est le nombre de relations qui existent entre deux ou plusieurs vecteurs.

Les figures 63 et 64 résument de façon général et détaillée le système de gestion de la base de données.

### Schéma détaillé du système de gestion de la base de données

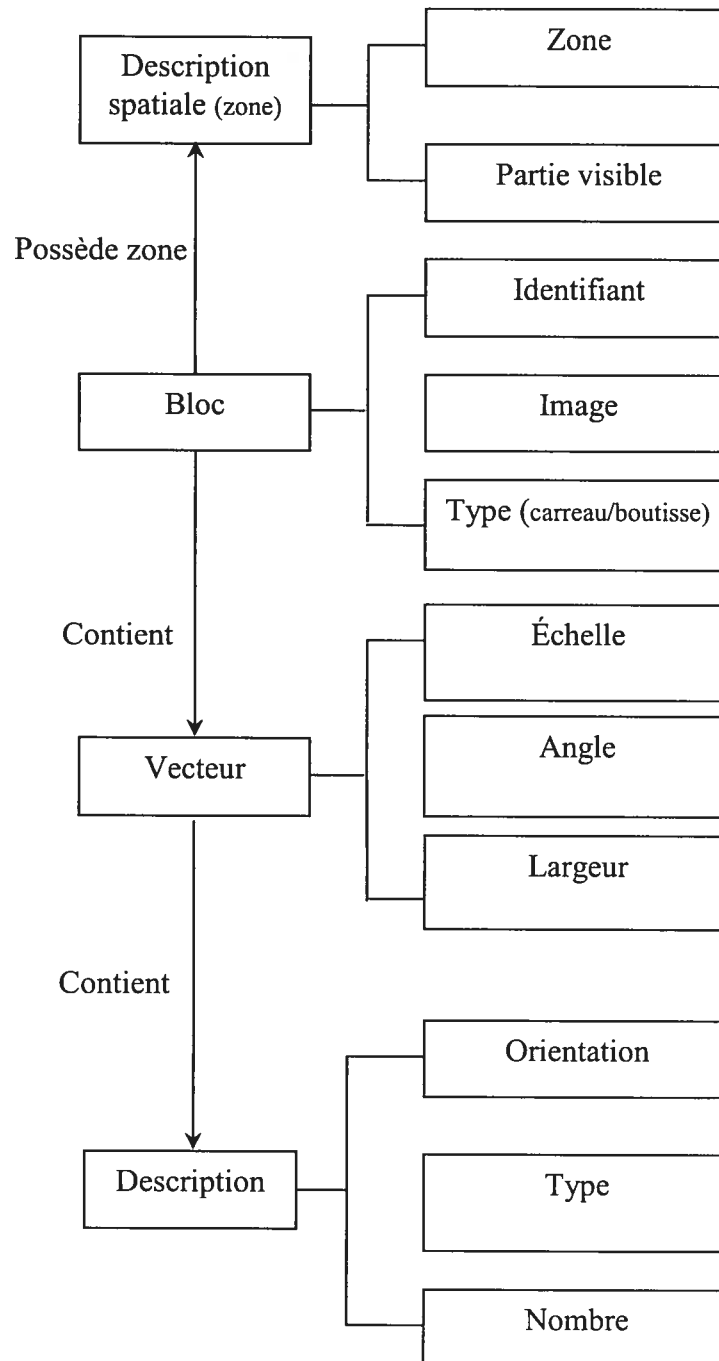


Fig. 64 : Schéma détaillé du système de gestion de la base de données.

La méthode de recherche doit respecter étapes suivantes :

1) le type de bloc : ceci détermine le type de bloc de départ : carreaux ou boutisse.



2) le nombre de vecteurs : nous renseigne sur le nombre de vecteurs existant dans le bloc.

3) La description de chaque vecteur :

a) Échelle : nous indique la catégorie du vecteur (E1, E2 ou E3 )

b) Angle : on a 3 types d'informations :

\*Valeur de l'angle

\* Type du vecteur (horizontal ou vertical)

\*Orientation du vecteur (droite ou gauche)

4) la recherche par zone : nous détermine la zone ( $x'$ ,  $y'$ ) de chaque vecteur trouvé (zone de rupture du vecteur).

#### 6.9 LA RECHERCHE PAR ZONE.

La recherche par zone nous permet d'interroger la base de données sur le principe de la localisation de la zone de rupture d'un vecteur. Elle se fera d'une manière sélective sur cinq règles fondamentales. Ces règles ont été choisies selon le niveau de pertinence que l'on veut accorder à la recherche.

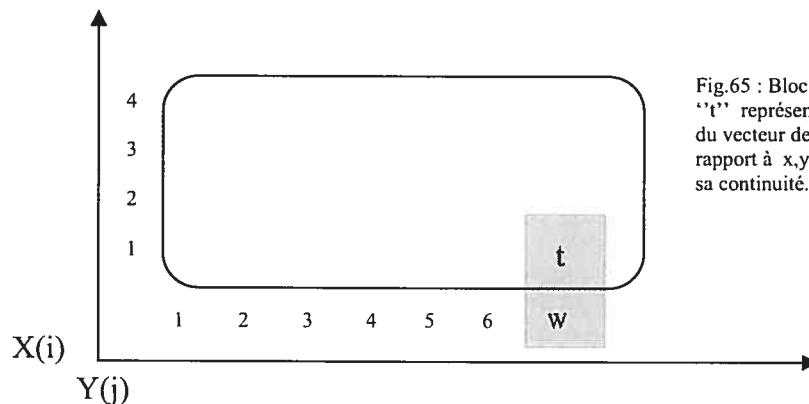


Fig.65 : Bloc de type z.  
"t" représente la position  
du vecteur de départ par  
rapport à  $x, y$ . "w" étant  
sa continuité.

Les cinq règles sont : type de bloc, nombre de vecteurs, description des vecteurs, zone du vecteur et la partie visible.

La fig.65 nous permet d'illustrer les explications qui suivent :

X (i) "i" étant l'indice des abscisses.

Y (j) "j" étant l'indice des ordonnées.

En partant d'un bloc de type Z, nous allons définir les règles qui nous permettraient d'identifier la continuité du vecteur "t". Ces règles sont :

1) Type de bloc :

Deux cas sont possibles :

- Si le type de bloc est carreau

\* et si le sens de la recherche est à droite ou à gauche : La sélection se fait sur les blocs de type carreau.

\* Si le sens de la recherche est par le bas ou par le haut : La sélection se fait sur les blocs de type boutisse.

- Si le type de bloc est en boutisse

\* et si le sens de la recherche est à droite ou à gauche : La sélection se fait sur les blocs de type boutisse.

\* Si le sens de la recherche est par le bas ou par le haut : La sélection se fait sur les blocs de type carreau.

2) Nombre de vecteurs :

Si le nombre est supérieur à 1, On définit alors une règle de traitement qui consiste à commencer par le vecteur qui possède l'angle le plus grand. Par exemple, sur le bloc z, si on distingue trois vecteurs V1, V2 et V3 ayant des angles respectivement égales à 36°, 80° et 150°, le traitement commence par le vecteur V3.

### 3) Description :

Il s'agit de sélectionner les blocs ayant des vecteurs remplissant quatre conditions :

\* Échelle : L'échelle du vecteur V1 du bloc z doit être égale à l'échelle du vecteur V2 du bloc w.

\* Angle : L'angle du vecteur V1 du bloc z doit être égal à l'angle du vecteur V2 du bloc w.

\* Type : Le vecteur V1 du bloc z doit être de même type que le vecteur V2 du bloc w

\* orientation : Le vecteur V1 du bloc z doit avoir la même orientation que le vecteur V2 du bloc w.

### 4) Recherche par zone.

C'est la sélection des blocs se trouvant dans des zones bien déterminées (localiser ou s'effectuera la recherche ; dans quel sens, à droite, à gauche, en bas ou en haut ?). Cette règle se repose sur quatre types de recherche :

- Si l'angle du vecteur est compris entre 0 et 45, la zone de rupture est située sur le côté droit du bloc.

- Si l'angle du vecteur est compris entre 45 et 135, la zone de rupture est située sur le côté haut du bloc.

- Si l'angle du vecteur est compris entre 135 et 180, la zone de rupture est située sur le côté gauche du bloc.

- Si l'angle du vecteur est supérieur à 180, la zone de rupture est située sur le côté bas du bloc.

#### a) Recherche à droite :

Pour la recherche d'une bloc appelée W, qui complète la bloc Z (dont l'entité à compléter se trouve dans une zone X, Y), la requête sera basée sur des blocs ayant des entités situées dans l'axe :

$$\langle X', Y \rangle \quad (X' = X_i, \text{ et } Y \text{ reste le même}).$$

b) Recherche à gauche :

Pour la recherche d'une bloc W, qui complète la bloc Z (dont l'entité à compléter se trouve dans une zone X, Y), la requête sera basée sur des blocs ayant des entités situées dans l'axe :

$$\langle X'', Y \rangle \quad (X'' = X_i \text{ et } Y \text{ est toujours le même})$$

c) Recherche par le haut :

Pour la recherche d'une bloc W, qui complète la bloc Z (dont l'entité à compléter se trouve dans une zone X, Y), la requête sera basée sur des blocs ayant des entités situées dans l'axe  $\langle X_i, Y_j \rangle$ .

d) Recherche par le bas :

Pour la recherche d'une bloc W qui complète la bloc Z (dont l'entité à compléter se trouve dans une zone X, Y), la requête sera basée sur des blocs ayant des entités situées dans l'axe est  $\langle X_i, Y_j \rangle$ .

Étant donné que la disposition du système de coordonnées des blocs en carreaux est différent de celui des blocs en boutisse, nous devons énumérer les attributs de "i" et "j" selon la position de la bloc (fig.61).

Dans le cas de la recherche par le haut ou par le bas de la bloc, les données concernant les coordonnées changent selon la position de la bloc. Ceci se traduit par des indices "i" et "j" : à chaque indice "i" correspond l'indice "j" (Tab.7).

**Tableau 7 : Attributs de i et j  
selon la position du bloc**

i (Bloc Z)	j (Bloc W)
1	3
2	4
3	1
4	2
5	3
6	4
7	1
8	2

Tableau 7: Attributs de i et j selon la position des blocs

### 5) Partie Visible :

Cette étape n'est possible que dans le cas où on peut établir que le vecteur en question ne chevauche pas le bloc en entier de façon à ce qu'on ne puisse pas déterminer la partie visible. Ainsi, lorsqu'il s'agit de rayons solaires, souvent, ceux-ci traversent le bloc de haut en bas et ne permettent pas d'introduire l'information relative à la partie visible.

Cette étape consiste à ne sélectionner que les blocs qui ont des vecteurs en rapport avec les vecteurs du bloc Z. Quatre cas sont possibles :

Si la recherche est effectuée par le haut, la partie visible à chercher est :

*1<sup>er</sup> cas : si partie visible = bas,*

Alors chercher bloc dont la partie du vecteur visible = milieu

*2<sup>er</sup> cas : Si partie visible = milieu,*

Alors chercher bloc dont la partie du vecteur visible = haut

*3<sup>er</sup> cas : Si partie visible = haut, ça indique que le vecteur n'a pas de suite.*

Si la recherche est effectuée par le bas, la partie visible à chercher est :

*1<sup>er</sup> cas : Si partie visible = haut,*

Alors chercher bloc dont la partie du vecteur visible = milieu

*2<sup>er</sup> cas : Si partie visible = milieu,*

Alors chercher bloc dont la partie du vecteur visible = bas

*3<sup>er</sup> cas : Si partie visible = bas, ça indique que le dessin n'a pas de suite.*

Si la recherche est effectuée par le coté droit de la bloc, alors chercher la bloc dont la partie visible = gauche

Si la recherche est effectuée par le coté gauche du bloc, alors chercher le bloc dont la partie du vecteur visible = droite

La deuxième exploitation de la base de données permet de rechercher un bloc en tenant compte d'associations relatives de vecteurs ayant des propriétés qui peuvent s'associer.

#### 6.10 LA RECHERCHE PAR ASSOCIATION

La recherche de blocs manquants par association est une seconde exploitation de la base de données. Souvent, la recherche par zone est infructueuse a cause de l'état dégradé des blocs qui ne permet pas d'identifier les éléments iconographiques présents sur ses abords. On tente alors une recherche selon une autre logique qui

tient compte de la présence simultanée de vecteurs ayant relativement les mêmes propriétés.

Le regroupement de blocs dont les décors appartiennent à une logique d'association est un procédé qui a été développé par Sophie Billet (Sophi Billet, un système expert en archéologie égyptienne : Etude du descriptif des ''Talatat'', Note HI-21-5715, Direction des Etudes d'Électricité de France, Clamart, mars 89) et utilisé pour la première fois par R.Vergnieux pour tenter de trouver les pierres manquantes dans son travail de restitution de Karnak. Il se base essentiellement sur l'iconographie des blocs sans tenir compte des liaisons entre eux. Nous allons exploiter cette méthode informatique pour intégrer les données géométriques relatifs aux vecteurs tel que définis par D.Redford. C'est un élément nouveau qui nous permettra d'exploiter ainsi autrement notre base de données. En effet, si on arrive à déterminer quelles sont les vecteurs qui apparaissent simultanément sur plusieurs blocs on pourra créer des associations de vecteurs significatifs qui peuvent nous aider dans notre processus d'assemblage.

Le principe est le suivant :

- plusieurs vecteurs identiques sur plusieurs blocs incitent à considérer qu'elles appartiennent à la même scène. Autrement dit, si on prends une bloc ''z'' et qu'on cherche à déterminer la bloc voisin par l'interrogation de notre base de données en établissant des critères d'association sous forme de règles, on pourra avoir un tri qui tiendra compte d'une logique d'association comme le ferait un égyptologue dans son travail de restitution.

Nous pourrions de ce fait mettre en œuvre une recherche sur deux niveaux de connaissance :

- 1) Le premier est d'ordre archéologique, car lié à la réalité de la présence simultanée de plusieurs vecteurs sur un même bloc.

- 2) Le second est d'ordre iconographique, lié à un ensemble de vecteurs sur la scène.

Nous pouvons, à partir de ces tris, apprécier la répartition statistique des motifs sur un lot significatif de blocs. Manipuler cette documentation par consultation directe à l'écran est également possible et permet un accès instantané.

#### 6.9.1 Méthode de recherche par association.

Une association iconographique est un couple de vecteurs présent sur un même bloc. On rassemble les blocs qui possèdent une même association iconographique.

On obtient autant de "germes" de groupe que de combinaisons de deux vecteurs existants. Les blocs comprenant souvent plus de deux vecteurs, un même bloc pourra être présente dans plusieurs groupes. Il s'agit d'étoffer chacun de ces "germes" de groupe de la manière suivante ;

Première étape :

Sur tous les blocs d'un groupe nous avons bien les deux vecteurs de départ (X) et (Y), formant l'association iconographique, mais également d'autres vecteurs (Z1), (Z2) ... (Zn). Les bloc possédant l'association (X)-(Zi) ou (Y)-(Zi) sont ajoutées au groupe. Le nombre de groupes étant très élevé et pour éliminer les redondances, nous ne considérons que les groupes (X-Y) dont le nombre de pierres possédant l'association de départ (X)-(Y) est supérieur au nombre de pierres du groupe possédant toute autre association (X)-(Zi) ou (Y)-(Zi).

Seconde étape :

Il s'agit de rassembler certains "germes" de groupe de la méthode précédente qui possèdent des vecteurs en commun (Tab.8). On forme les groupes comme dans la méthode 1 :



Tableau 8 : combinaisons de  
groupe de blocs.

vecteur de départ	Groupe (X-Y)		
(X)-(Y)-(Zi)	Vecteurs		
	(X)-(Zi)	(Y)-(Zi)	(X)-(Y)

Tableau 8 : Groupe de blocs regroupés selon des combinaisons tenant compte des résultats précédents.

A chaque combinaison de deux vecteurs présents sur les blocs du groupe, correspond le nombre de blocs du groupe sur lesquelles elle est représentée. On dit qu'un couple de vecteurs  $(V_i)-(Y_i)$  est significatif dans un groupe  $(X_i-Y_i)$ , si le nombre de blocs de ce groupe sur lesquelles il apparaît est supérieur à la moyenne entre le maximum est le minimum de ces nombres. On pourra remarquer que des groupes,  $(X_1-Y_1)$ ,  $(X_2-Y_2)$ ....., construits à partir d'associations différentes, possèdent un (ou plusieurs) couples significatif (s) identique(s)  $(V_i, Y_i)$ .

En toute logique, ces groupes  $(X_i-Y_i)$  peuvent être rapprochés et l'on peut considérer que  $(V_1, Y_1)$  est le centre de la scène formée par l'assemblage des blocs de ces groupes. En réalité, on ne va pas exactement rassembler ces groupes, car nous aurions trop de blocs par groupe, mais en constituer un nouveau, composé :

- des blocs possédant l'association  $(V_1)-(Y_1)$ , considérée comme le centre de la scène formée par le nouveau groupe.
- des blocs possédant l'association  $(X_i)-(Y_i)$  considérée comme étant proche de  $(V_1, Y_1)$ , puisque  $(V_1, Y_1)$  est apparue dans le groupe initial formé à partir de  $(X_i-Y_i)$ .

Troisième étape :

On part d'un vecteur (X) dont la fréquence d'apparition sur les deux premières sélections de bloc est comprise entre 5 et 100<sup>38</sup>. Les vecteurs trop rares ou trop fréquents ne sont pas pris en compte. Un groupe est formé à partir de chacun de ces vecteurs. De la manière suivante :

Pour chaque vecteur (X), on établit une liste de vecteurs (Yi) telle que (X)-(Yi) soit une association Iconographique, et on choisit le vecteur (Ymax) dont la fréquence d'apparition avec (X) est la plus élevée, On forme ensuite des groupes au moyen de la méthode 1 avec l'association (X - Ymax) mais sans condition de fréquence sur les (Z1).

Application d'un exemple.

Nous allons prendre un exemple pour illustrer de quelle façon peut se faire une recherche de connections sur la base d'un ensemble de blocs.

On a un bloc de type "z" sur lequel un ensemble de vecteurs sont présentes sur la surface (fig.68). Le but est de rechercher le bloc se trouvant sur le coté bas en se basant sur la présence partielle du vecteur V1 (fig.66) :

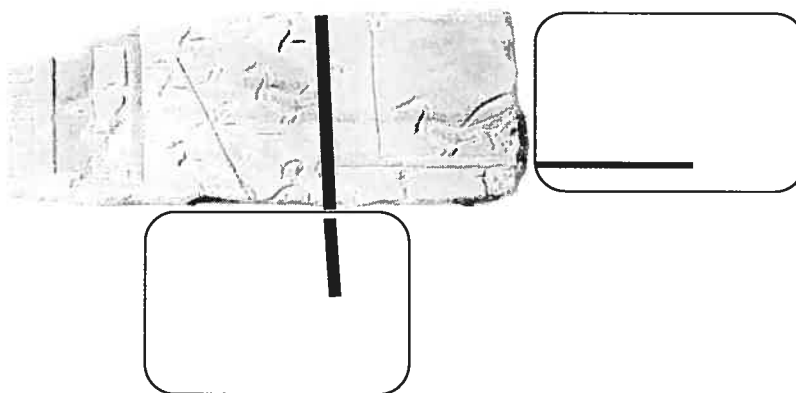


Fig.66: Bloc représentant une discontinuité du vecteur sur les deux cotés.

On peut observer que dans la zone  $\langle X = 6, Y = 1 \rangle$ , se trouve l'entité géométrique suivante : Partie haute d'un vecteur (car il s'agit d'une colonne dont la

<sup>38</sup> C'est une moyenne que l'on peut définir en fonction de la quantité de blocs.

partie manquante est a hauteur du personnage) orienté vers la gauche. La recherche du bloc du bas se fait sur la base de cette information et la requête sera formulée par la sélection des blocs dont les valeurs des zones sont les suivantes :  $X = 5$  et  $Y = 4$ .

Le bloc est de type boutisse, et la recherche se fait par le "bas", donc le type de blocs à rechercher est de type carreau et la partie a identifier serait le "haut".

Le système effectue maintenant une autre sélection, dont le principe consiste à "tamiser" l'information dans un ordre donné. La requête se base sur une sélection de blocs qui ont comme propriétés ceux définis au tableau 9.

**Tableau 9 : Propriétés du bloc a rechercher**

Classe	Propriétés
Type de bloc	Boutisse
Échelle	E3
Angle	98°
Type	Vertical
Orientation	Gauche
Nombre	1
Zone	6,1 (X,Y)
Partie visible(x,y)	Haut

Tableau 9 : Le tableau résume l'ensemble des informations relatives à la description du bloc a rechercher.

Cette sélection étant terminée, on raffine encore plus la recherche sur les blocs sélectionnés, cette fois-ci en se basant sur la partie visible<sup>39</sup>. La partie visible du vecteur étant le milieu et le haut, la sélection est faite juste sur les blocs qui contiennent comme partie visible le bas du vecteur.

On continue la recherche sur la même base. On veut identifier le bloc de droite, la requête se basera sur la ligne horizontale "sol" de la zone x, y (4,2). Le bloc est de type carreau. La recherche peut se faire à partir du bloc en boutisse dont on arrive à identifier une partie du vecteur. Le système procède de la même façon que les précédentes étapes. Dans certains cas, il arrive souvent que les entités visuelles ne soient pas facilement identifiables aux abords du bloc à cause de l'état dégradé des blocs, cela nous conduit à questionner autrement la base de données par une recherche par association en se basant sur un autre vecteur visible (ou partiellement visible) sur le même bloc en tenant compte de ses paramètres.

Et ainsi de suite, on peut continuer notre recherche de bloc voisin par la méthode qui identifie la zone de rupture et dès qu'un vecteur sur les abords du bloc est difficilement identifiable ou n'existe pas, on passe à l'autre méthode de recherche par association.

#### 5.11 CONCLUSION

La méthode de recherche que nous proposons se veut une approche sur la question de l'informatisation des données en égyptologie. En circonscrivant une partie de notre analyse à l'exploitation d'éléments pertinents de travaux antérieurs, nous montrons que des pas ont déjà été franchis et qu'il s'agit aujourd'hui, dans certains cas, de reconsidérer des méthodes longtemps abandonnées et qui peuvent fournir les solutions nécessaires à l'expansion de ce domaine. Aussi, l'avènement des SGBD et la performance des requêtes permettent de jeter un nouveau regard sur les

---

<sup>39</sup> Nous remarquons qu'il s'agit d'une colonne et cela nous permet de savoir que la partie manquante se trouve en bas à cause de l'échelle du personnage.

procédés de restitution en égyptologie en associant l'expérience égyptologique aux techniques informatiques.

En nous appuyant sur des éléments géométriques comme entités de base et en intégrant la puissance d'un SGBD comme outils de gestion et de tri, on a pu démontrer qu'on peut chercher les blocs manquants sans laisser de place à l'interprétation et à la déduction. C'est-à-dire, construire un système qui permettra à l'utilisateur de décrire précisément *ce qu'il veut obtenir et non comment l'obtenir* contrairement aux systèmes experts, en formulant un argument<sup>40</sup> et non décrire une procédure déductive<sup>41</sup>.

Chercher un bloc manquant consiste d'abord à comparer deux images et, selon des critères mis en place, le système procède à un tri qui tient compte d'une part, des conditions logiques de tri selon plusieurs critères et selon la façon de laquelle les données sont représentées, et d'autre part, des critères de pertinence des requêtes, pour nous proposer les blocs manquants.

Notre démarche se justifie aussi par le principe de favoriser la mise à jour de données et d'en faciliter l'accès car souvent, les restitutions sont remises en cause par de nouvelles données qu'il faut intégrer au système sans pour autant le démanteler, et de ce point de vue, les SGBD permettent des performances maximales au niveau des mises à jour et d'insertion.

---

<sup>40</sup> Par exemple : Si V1 = orienté droit → Vrai ou faux

<sup>41</sup> Par exemple : Si V1 = orienté droit → Alors....

## CONCLUSION GENERALE

---

Au terme de ce travail, nous sommes parvenus à améliorer le processus de restitution en proposant une approche qui permet de générer, à partir d'une description d'entités géométriques, la position relative des blocs dans une scène.

Ce travail s'appuie sur les éléments pertinents de deux travaux antérieurs dans le domaine de la restitution en égyptologie et sur la puissance des SGBD. Nous avons montré qu'avec la méthode de traitement proposée on peut :

- Identifier la position initiale de chaque blocs dans une scène a partir de deux critères de connections :

- Critère iconographique.

- Critère architectural.

Cette méthode nous a permis de proposer deux exploitations possibles de notre base de données :

- La première permet une recherche de connexions par zones.

- La seconde nous permet une recherche de connexion par association iconographique.

Les limites de la méthode proposée sont les suivantes :

L'état fragmentaire de certains blocs ne permet souvent pas d'identifier des éléments iconographiques présents sur sa surface à cause de leurs conditions d'extraction et cela réduit considérablement la pertinence de la recherche. Rares sont les raccords entre les blocs jointifs et leur connexion dans ce cas, ne peut se baser sur la présence d'un dessin ni même sur les aspects relatifs à l'architecture qui sont minces à cause de l'état dégradés de ses blocs. Il y'a aussi des cas où les blocs

ne contiennent à l'origine aucun dessin sur lequel s'appuyer pour définir sa position dans une scène.

Améliorations possibles.

Avec la puissance des SGBD d'aujourd'hui, on peut enrichir et mettre à jour la description des blocs par le rajout d'autres zones ou par l'enrichissement de l'index ou des thèmes. Par exemple l'introduction d'autres classes d'objets comme par exemple la couleur que l'on peut associer à des vecteurs de type "iconique" (identifiables comme une colonne, une porte) ou "non iconique" (non identifiables), augmenter le niveau "d'échelle". Nous pourrions de ce fait considérer que nos objectifs sont atteints en partie car d'un côté, on a pu réduire considérablement le temps d'exploitation des données et obtenu un résultat appréciable, mais d'un autre côté, nous pensons qu'une amélioration de la structure de la base de données ainsi que le raffinement des requêtes sont nécessaires pour exploiter au maximum la puissance des SGBD.

Cette recherche nous a permis de comprendre qu'il est possible avec la performance des outils et programmes informatiques actuels de conduire à l'automatisation d'un bon nombre de tâches fastidieuses de la recherche de blocs en évitant à l'égyptologue la phase répétitive et même délicate de son travail tout en assurant une meilleure exhaustivité. Notre démarche vise d'une part à approfondir la réflexion sur la méthodologie liée à la restitution égyptologique et d'autre part à formaliser l'aide que peuvent représenter les outils informatiques dans le travail de restitution.

La piste de recherche que nous proposons permet de questionner sur l'idée de s'appuyer sur un autre type d'informations autres que les éléments iconographiques pour une recherche de blocs. Nous considérons que d'autres données pertinentes peuvent être rajoutés aux méthodes déjà utilisées et nous avons démontré dans le cadre de ce travail que la traduction de certaines informations iconographiques en entités géométriques peut améliorer le travail de l'égyptologue. La combinaison de

données que nous suggérons trouve son intérêt dans la manière dont ceux-ci sont exploités et il est tout a fait utile de jeter un nouveau regard sur les méthodes de restitution de certains travaux qui sont aujourd'hui dans les oubliettes et qui peuvent contenir les germes de nouvelles améliorations.

Nous sommes persuadés qu'une voie est donc possible, prometteuse entre l'archéologie et l'informatique.



## BIBLIOGRAPHIE

---

Albouy M., Boccon-Gibod H., Golvin J.-C., Goyon J.-C., Martinez P. ‘‘ Karnak, le temple d’Amon restitué par l’ordinateur, M. A. Éditions, 1989, p.5-35.

Billet S: Un système expert en archéologie égyptienne: Etude du descriptif des ‘‘Talatat’’, Note HI-21-5715, Direction des Etudes d’ Électricité de France, Clamart, mars 89

Brocard Y. , Xème table ronde "Informatique et Égyptologie" 1994.

Bustarret C. : Les albums photographiques de voyage en Orient (1850-1880), thèse de doctorat, université Paris-VII, 1989, dactyl.

Clercq Louis, *Voyage en Orient. Monuments et sites pittoresques de l’Égypte 1859-1860*, J. Blondeau et Antonin, Paris, p. 36-42.

Donadoni S.: *L’art égyptien*. Traduction française, le Livre de poche Paris, 1993.

Donovan L., Corquodale K: *Egyptian art, principles and themes in wall scenes*. edition prism archaeological, Macquarie University, Australia.1986, p.28-52.

Doresse Jean, Des "Talatates" de Karnak à l’identification et à la reconstitution du GEM-PA-ATON d’Aménophis IV, *Aegyptus*, Milano 1998, p. 19-20.

Doresse, Marianne, Observations sur la publication des blocs des temples atoniens, ‘‘Gttinger Miszellen’’ 46, 1981, p. 45-79

Duquette F. *Informatique et Égyptologie*, n° 1, 1985, p.36).

Epigraphic survey: The battle reliefs of king Sety I, the reliefs and inscriptions at Karnak’’, N°4, The university of Chicago oriental institute, Chicago, 1986.

Guimier-Sorbets A.-M., Les bases de données en archéologie. Conception et mise en oeuvre, Paris, 1990, p.28-48.

Gay R.: Proportion and Style in Ancient Egyptian Art, edition Austin-University of Texas press. 1994, p. 62-85.

Golvin, J-C., Goyon J-C, Albouy M., Boccon-Gibod H., Martinez P. : Karnak, le temple d'Amon restitué par l'ordinateur. L'Oeil de la Science, Paris, 1989. p.12-19

Gondran M. et Vergnieux R : Aménophis IV et les blocs du soleil, Akhénaton retrouvé, Paris, 1997, p.22-45.

Guimier A., Sorbet M. : Les Bases de Données en Archéologie, Conception et mise en oeuvre. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris 1990.

Hallof, et Dirk Van Der Plas : Inventaire des signes hiéroglyphiques en vue de leur saisie informatique. Mémoires de l' Académie des Inscriptions et Belles Lettres. Institut de France, Paris, 1988.

Laissus Y. : L'Égypte, une aventure savante avec Bonaparte, Kléber, Menou, 1798-1801. Fayard, Paris, 1998, p.58-67.

Laurens H. : L'expédition d'Égypte, 1798-1801. , Edition A. Colin, Paris, 1989, p.89.

Le Guern N. : L'Égypte et ses premiers photographes : Etude des différentes techniques et du matériel utilisés de 1839 à 1869. Memoire de DEA, Ecole des hautes études en sciences sociales. Paris, 2001

Morris Charles W., Signs, Language, and Behavior., New York: Prentice Hall Inc., 1946, p.62.

Pérouse J. : Histoire de l'architecture française, de la Renaissance à la Révolution, Monge, Paris, 1989, p.85

Redford, D. B. et Smith, R. W.: The Akhenaten temple project, 1, initial discoveries, Aris & Phillips, Warminster, 1976, p.7-42.

Schimmel P.: The composing of Hieroglyphic texts by means of a computer, revue GÖTTINGER MISZELLEN 1976.

Stevenson S.W.: The Art and Architecture of Ancient Egypt. 3ème édition. Révisée par William Kelly Simpson, 1998, p.28-32.

Tooley M., Angela M.J.: Egyptian Models and Scenes, Buckinghamshire, UK, Shire Publications, LTD., 1995, p.36-42.

Vergnieux R. : Recherches sur les monuments thébains d'Amenhotep IV à l'aide d'outils informatiques, Méthodes et résultats. Genève, 1999, p-12-125.

Vergnieux R et Gondran M.: Aménophis IV et les pierres du soleil, Akhénaton retrouvé, Arthaud, Paris 1997, p.78.

Vergnieux R. : Les talatat d'Akhénaton : un cas d'école pour l'analyse de restitutions iconographique. Informatique et Égyptologie N. 10, p.25-32.

Vergnieux R. : "Informatique et Égyptologie" n.10, 1994, p.36

Winand J. : Constitution de fichiers textes en néo-égyptien : lemmatisation et levée d'ambigüités automatique. Revue. Informatique et statistiques dans les sciences humaines, 1986, p.179-190.

Zadora-Rio E. : Archéologie et toponymie : le divorce, Les petits cahiers d'Anatole, n° 8. 1980, p. 17-26.

E.Zadora-Rio : Systèmes experts et sciences humaines, Éditions Eyrolles, 1986, p.24-46.

Ziegler Chr., Bovot J.L : Art et archéologie, L'Égypte ancienne, Paris, 2001, p.37.