# SCIENCES ET TECHNIQUES EN PERSPECTIVE



# PRÉHISTOIRE DE LA GÉOMÉTRIE

## PREMIERS ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE, PREMIÈRES CONCLUSIONS

Olivier KELLER

**Volume 33**
**ANNÉE 1995**

UNIVERSITÉ DE NANTES
CENTRE FRANÇOIS VIÈTE
D'HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

# SCIENCES ET TECHNIQUES EN PERSPECTIVE



# PRÉHISTOIRE DE LA GÉOMÉTRIE

## PREMIERS ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE, PREMIÈRES CONCLUSIONS

Olivier KELLER

Volume 33
ANNÉE 1995

## FIGURES

UNIVERSITÉ DE NANTES
CENTRE FRANÇOIS VIÈTE
D'HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

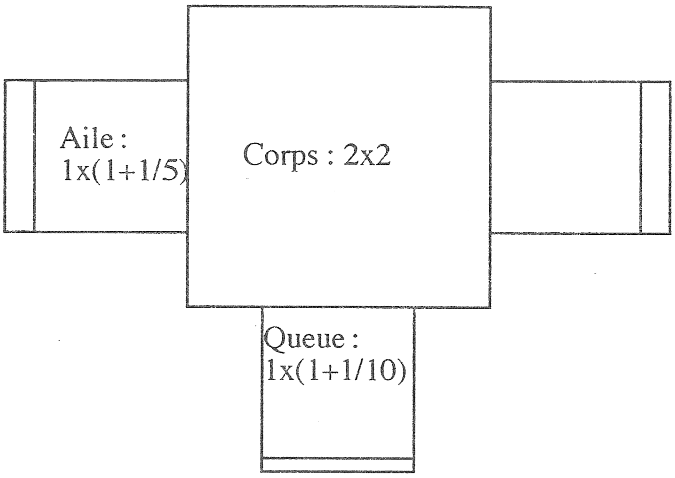



Fig. I-1 : Autel védique en forme d'oiseau.

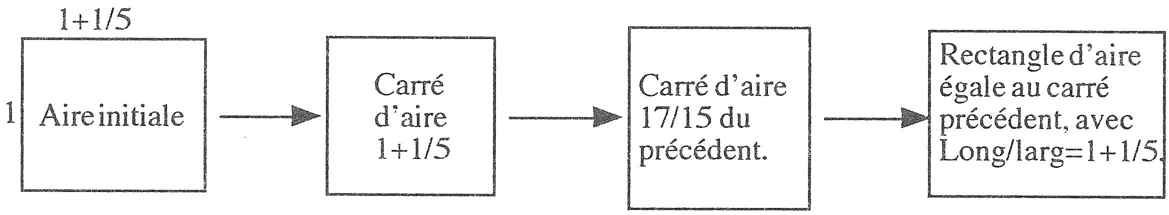



Fig. I-2 : Etapes de l'agrandissement de l'aile

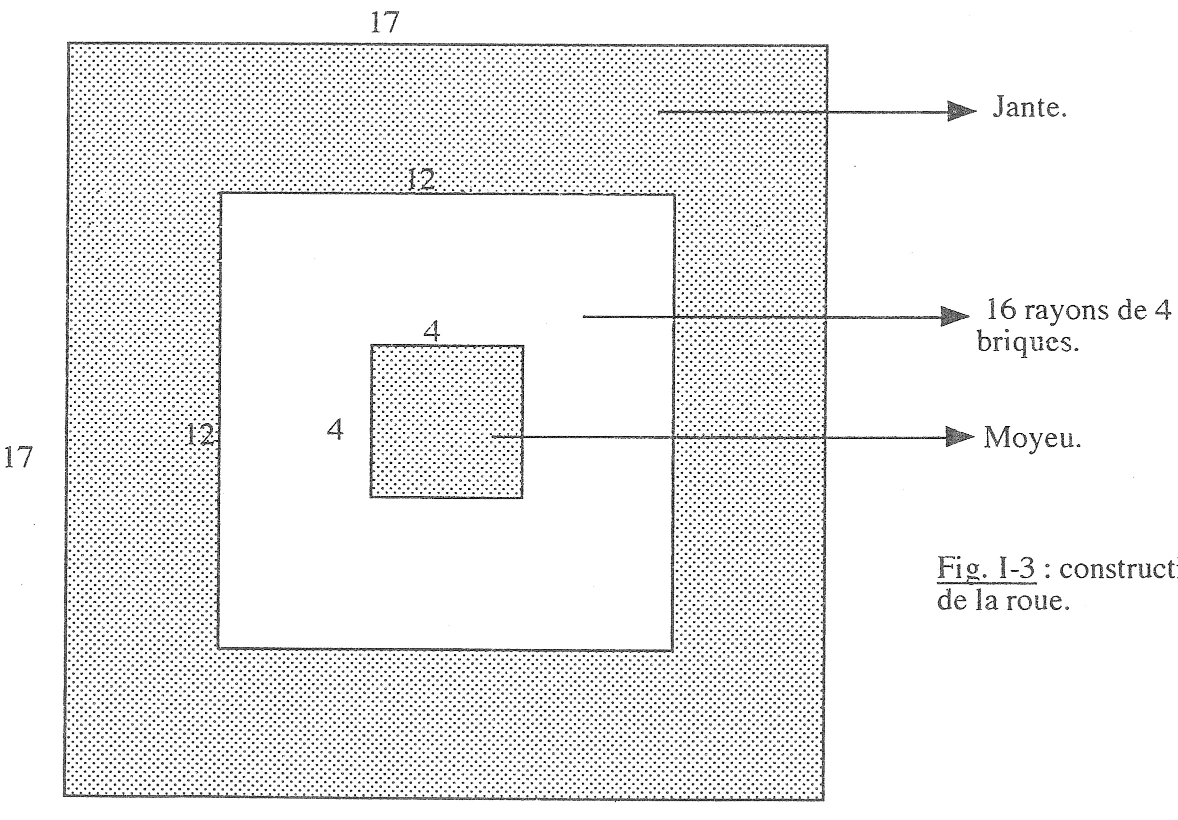



Fig. I-3 : construction de la roue.

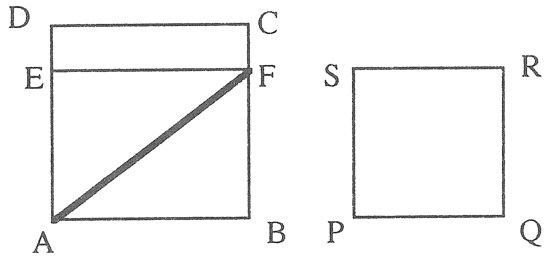



Fig. I-4 : addition des carrés ABCD et PQRS.

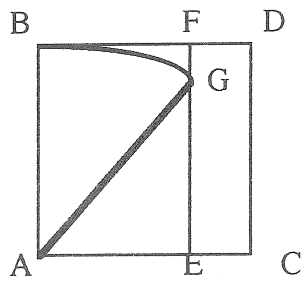



Fig. I-5 : Soustraction des carrés de côtés AC et AE.

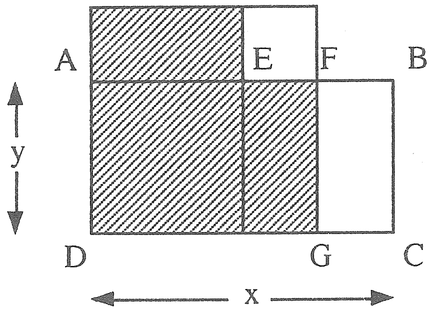



Fig. I-6 : Transformation du rectangle ABCD en un carré d'aire égale.

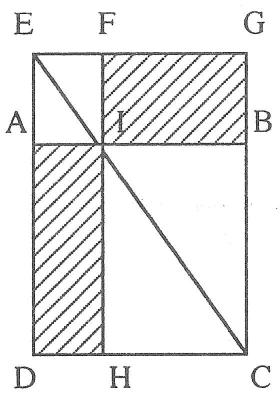



Fig. I-7 : Transformation d'un carré ABCD en un rectangle CHFG de même aire.

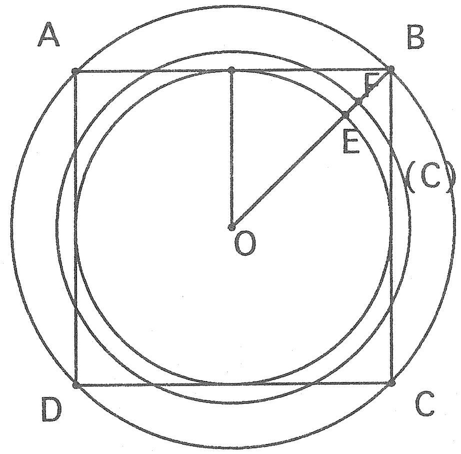



Fig. I-8 : Transformation du carré ABCD en un cercle (C) de même aire et de rayon OF=OE+EB/3

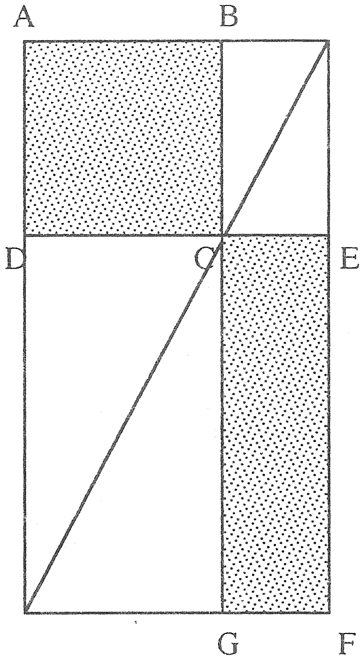



Fig. I-9 : Transformation du carré ABCD en un rectangle de même aire "appliqué" sur le côté CE.

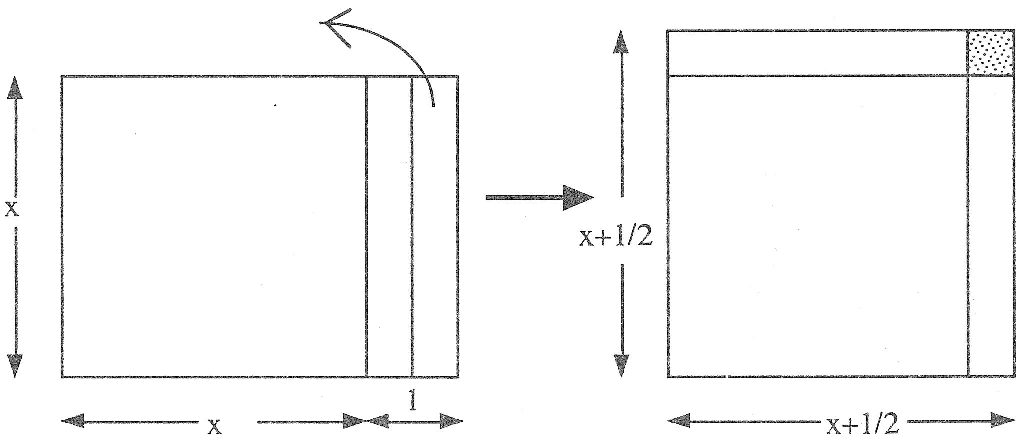
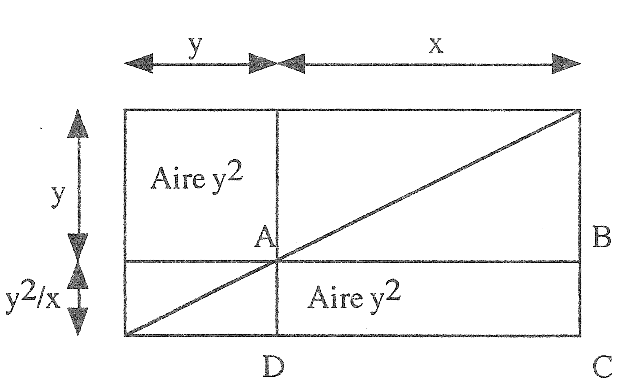



Fig. I-10 : Transformation géométrique de $x^2+x$ en $(x+1/2)^2-1/4$.



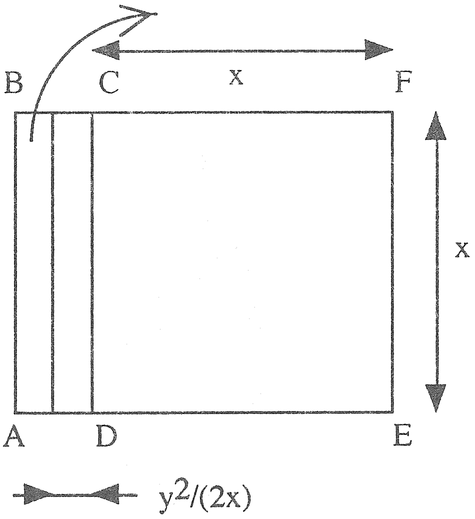




Fig I-11 : Déduction géométrique de la formule babylonienne : $\sqrt{(x^2+y^2)}=x+y^2/(2x)$

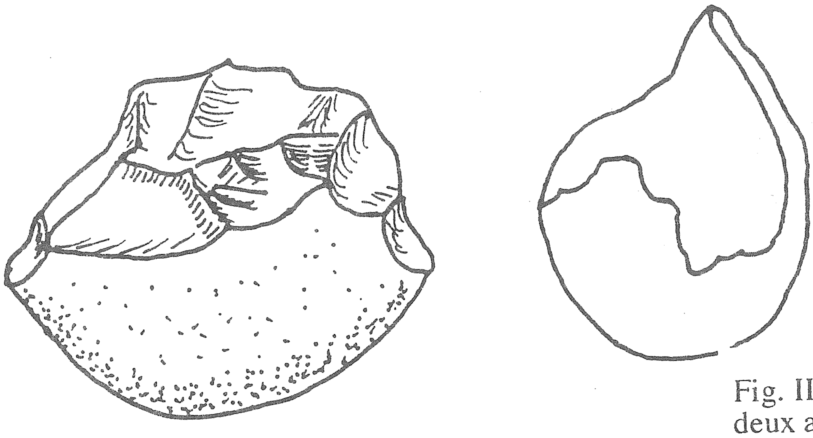


Fig. II-1 : Chopper, vu sous deux angles différents.

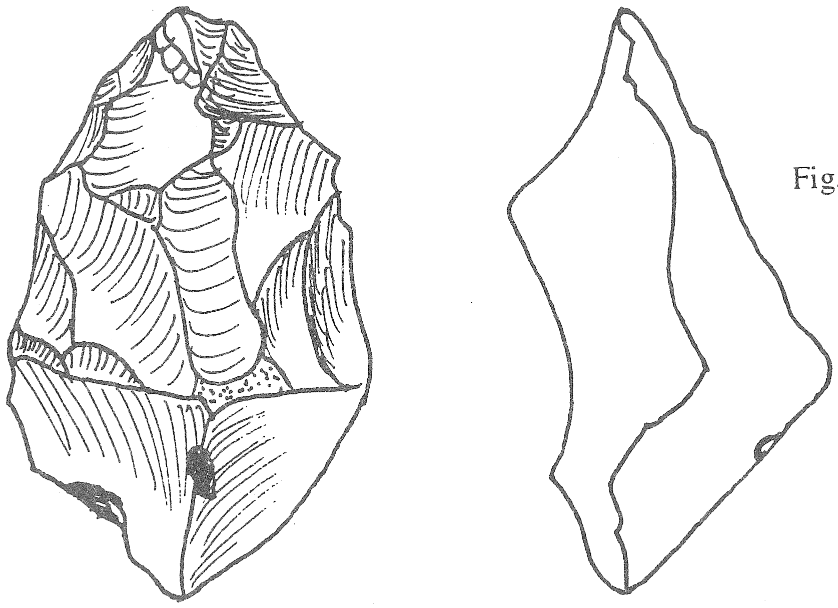


Fig. II-2 : Biface abbevillien.

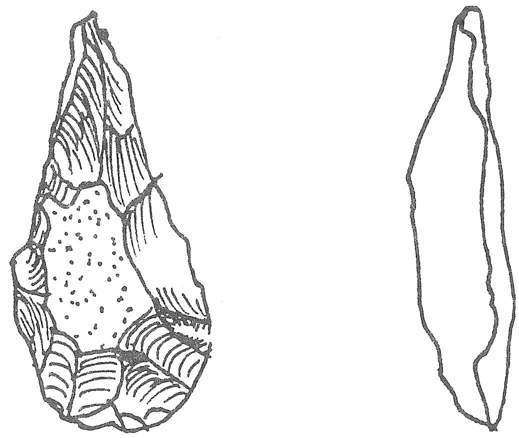


Fig. II-3 : Ficron.

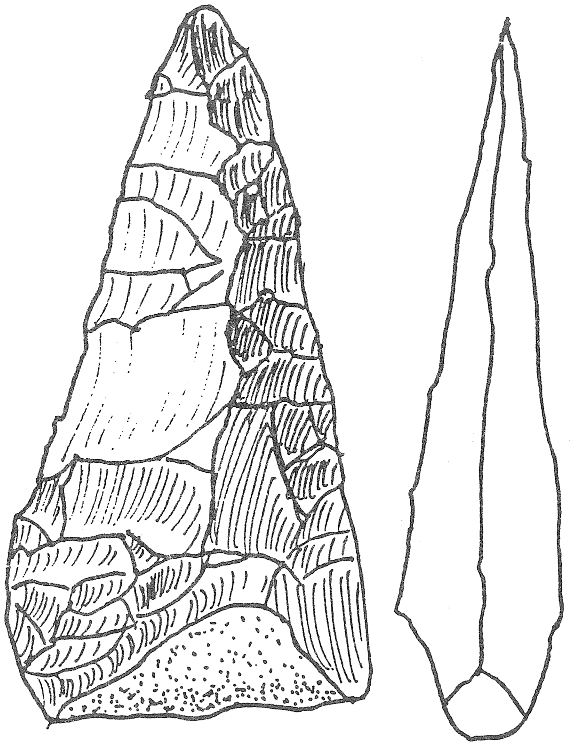


Fig. II-4 : Biface lancéolé.

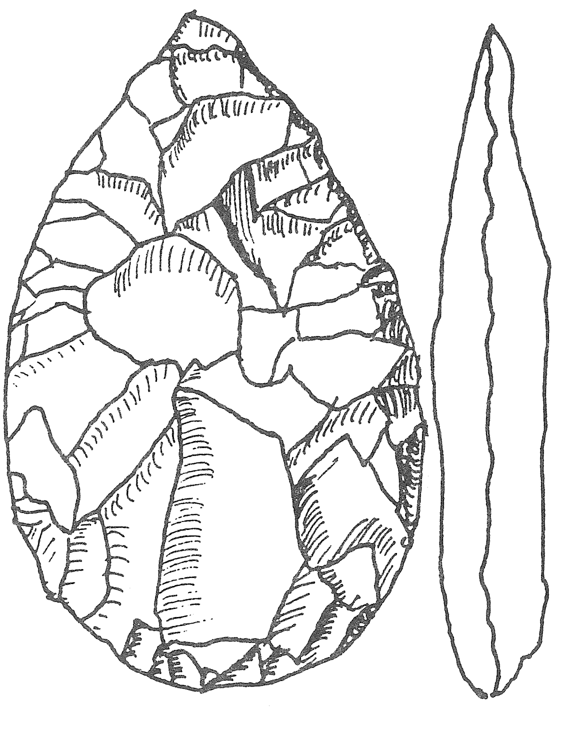


Fig. II-5 : Biface ovalaire.

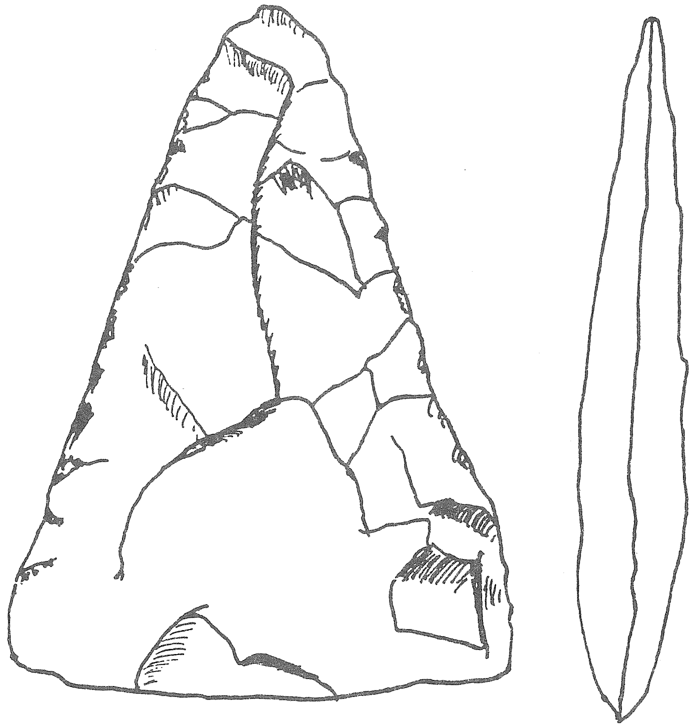


Fig. II-6 : "Très beau biface triangulaire typique" d'après Bordes (pl.59).

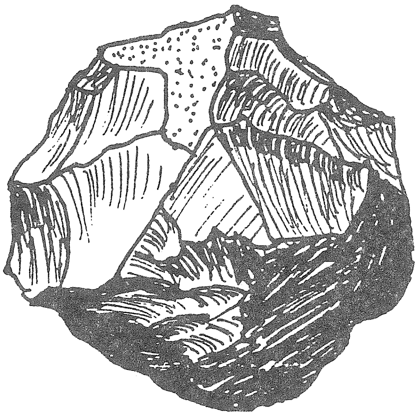


Fig. II-7 : Boule polyédrique.

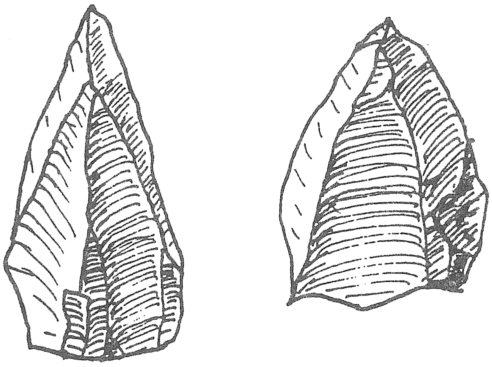


Fig. II-8 : Pointes Levallois.

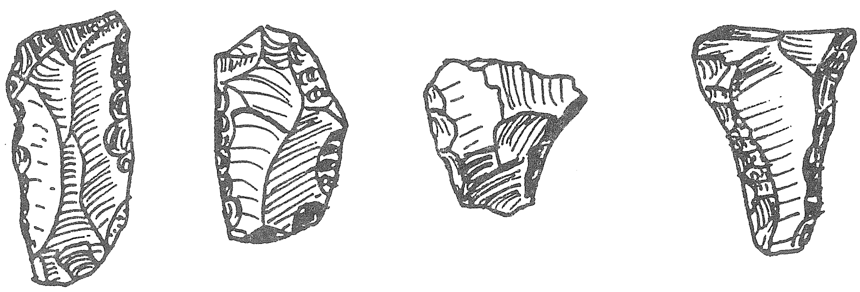


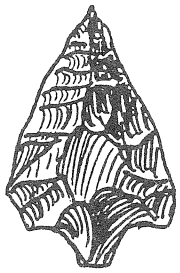
Fig. II-9 : Racloirs.

Double droit.

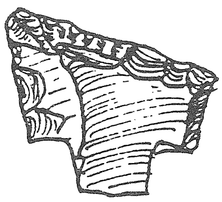
Double droit-convexe.

Double droit-concave.

Double bi-concave.



Pointe
pédonculée.



Grattoir
pédonculé.

Fig. II-10 : Outils moustériens.

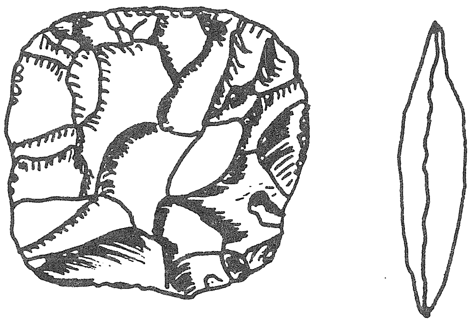


Fig. II-11 : Biface carré.

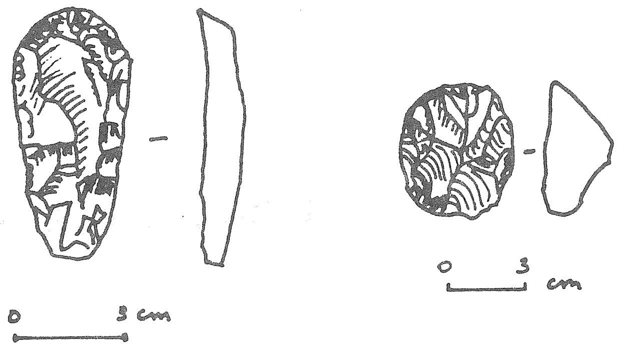



Fig. III-1 : Grattoirs.
(Piel-Desruisseaux)

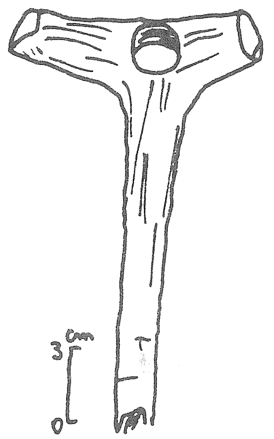



Fig. III-2 :
Bâton percé. (id.)

Fig. III-3 :
Fragment de bâton percé ébauché, montrant l'orifice et son mode de percement.

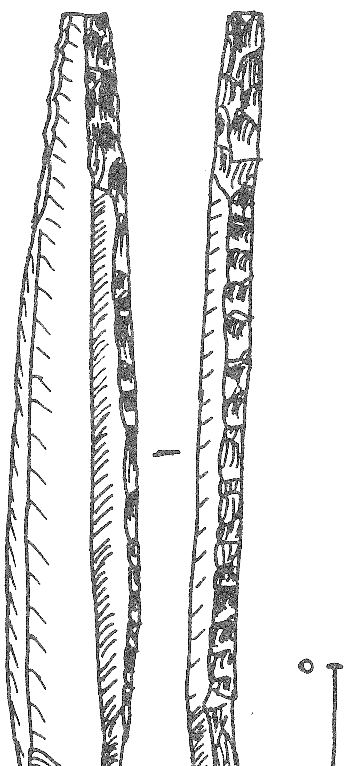



Fig. III-4 : Pointe gravetienne.
(Demars-Laurent)

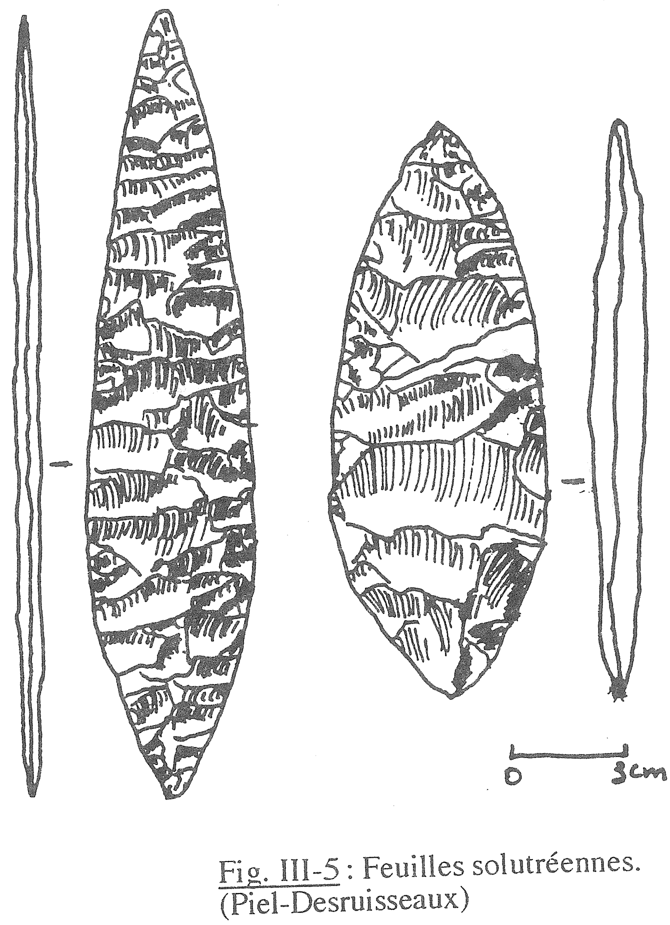



Fig. III-5 : Feuilles solutréennes.
(Piel-Desruisseaux)

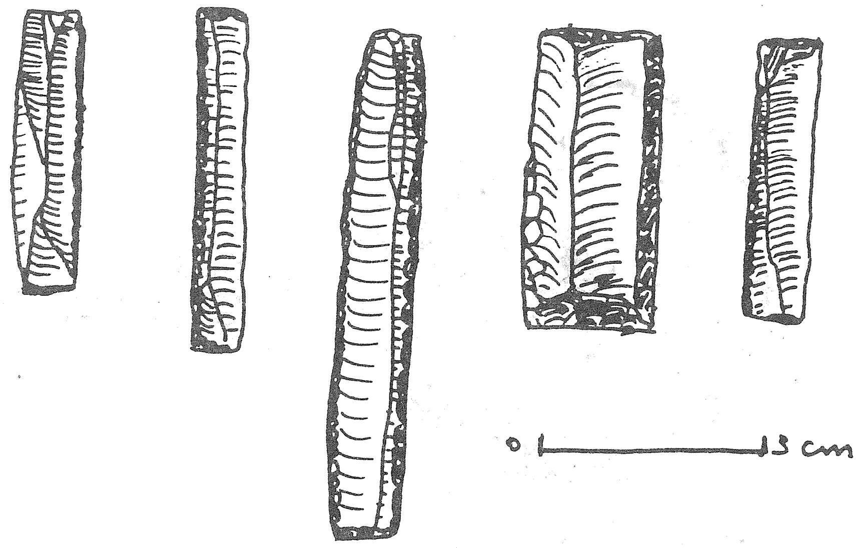



Fig. III-6 :
Rectangles.
(Demars-Laurent)

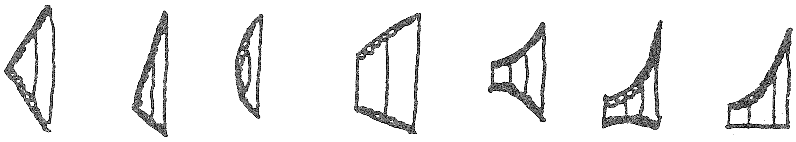


Fig. III-7 :
Microlithes géométriques.
(Piel-Desruisseaux)

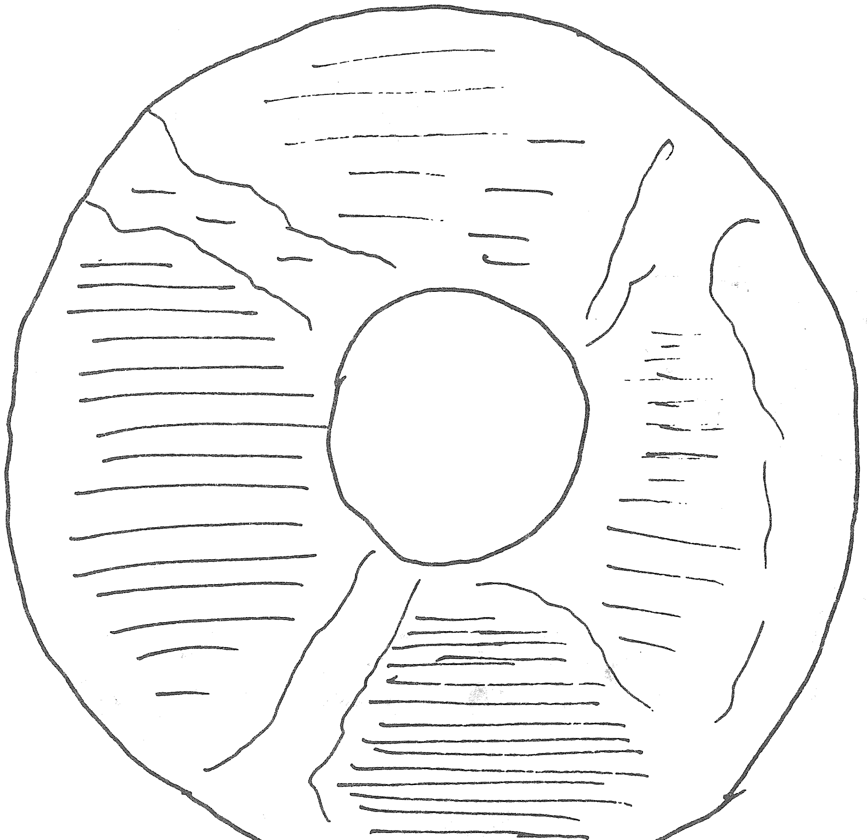
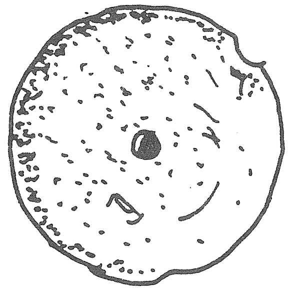
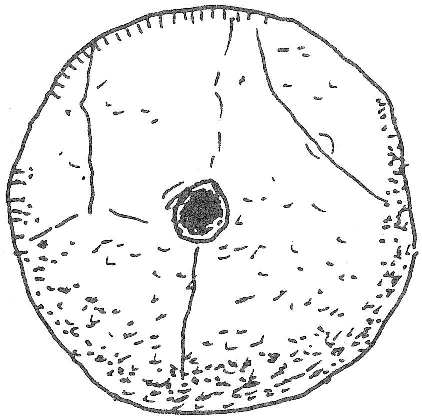


Fig. III-8 :
Rondelle plate
pavlovienne.
(Jelinek, 1978)



Disque en pierre.



Disque en os, percé au milieu.

Fig. III-9 :
Disques pavloviens.
(Jelinek, 1978)

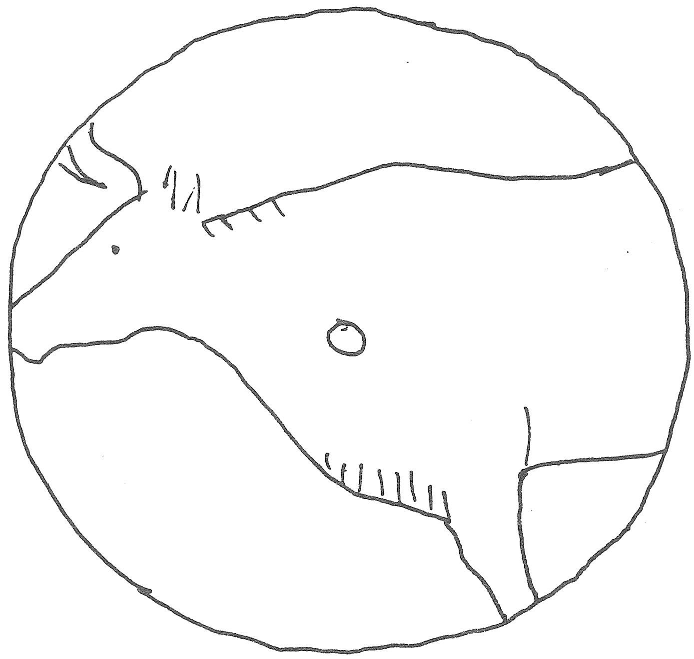
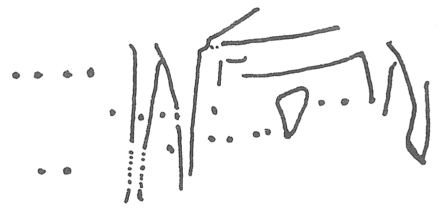


Fig. III-10 :
Rondelle magdalénienne.
(id.)



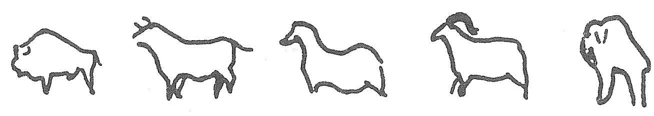


Fig. III-11 :
Gravure du style I, avec animal "symbole féminin" (le triangle), et ponctuations.
(Leroi-Gourhan, 1964)

Fig. III-12 : Style II.
(Leroi-Gourhan, 1988)

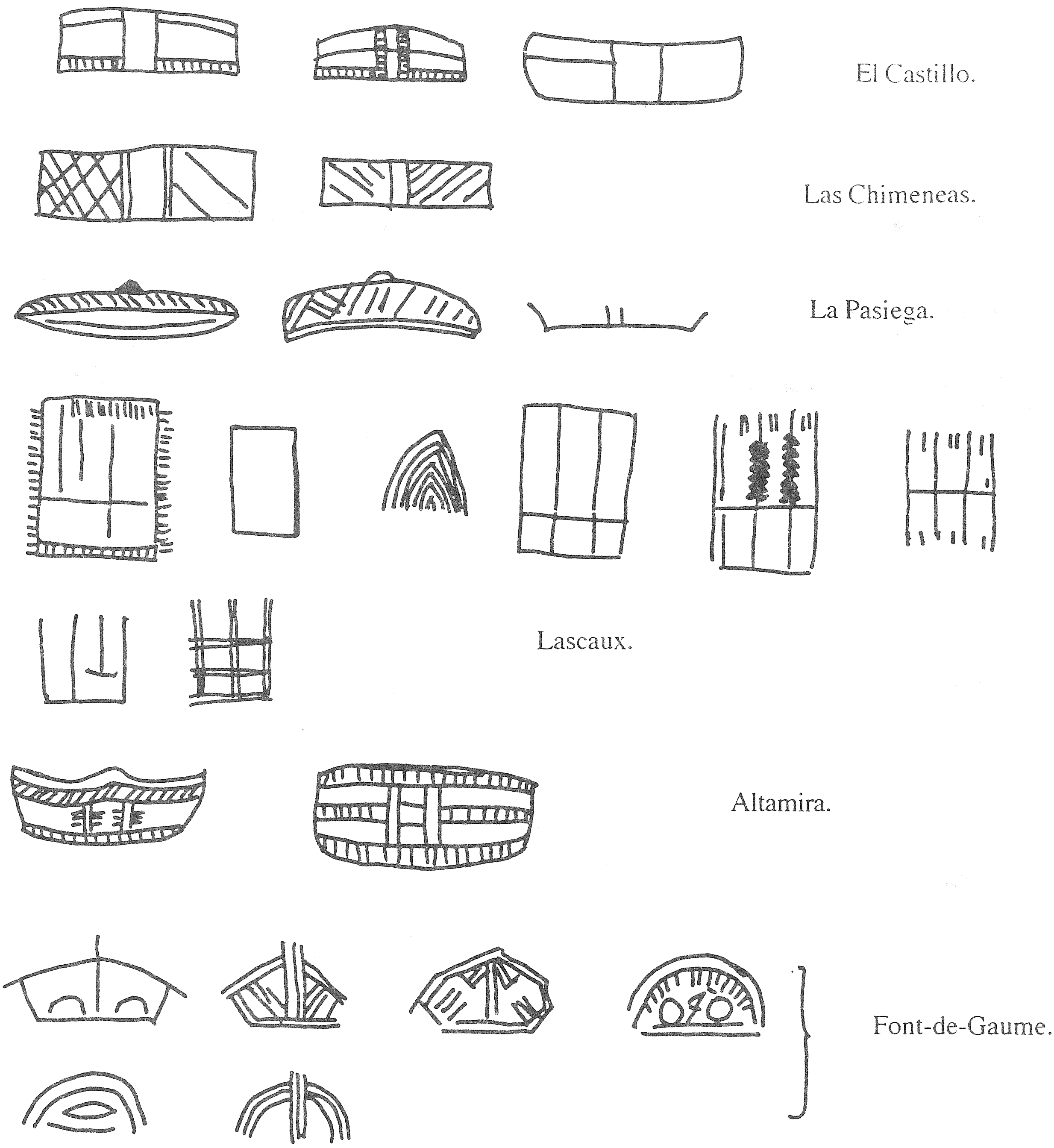



Fig. III-13 :
Figures géométriques pariétales.
(Leroi-Gourhan, 1992)

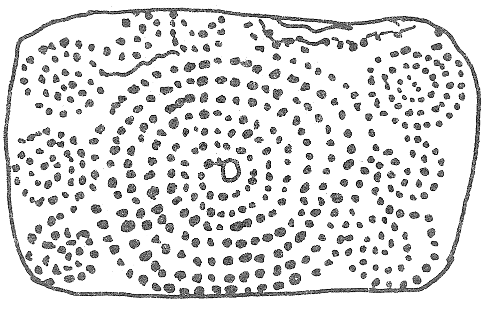


Fig. III-14 :
Plaquette d'ivoire avec
spirales ponctuées.
(Anati)

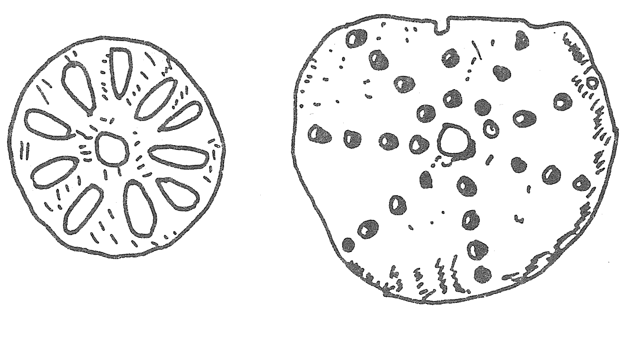


Fig. III-15 : Rondelles de Soungir.
(Koslowski et Jelinek, 1978)

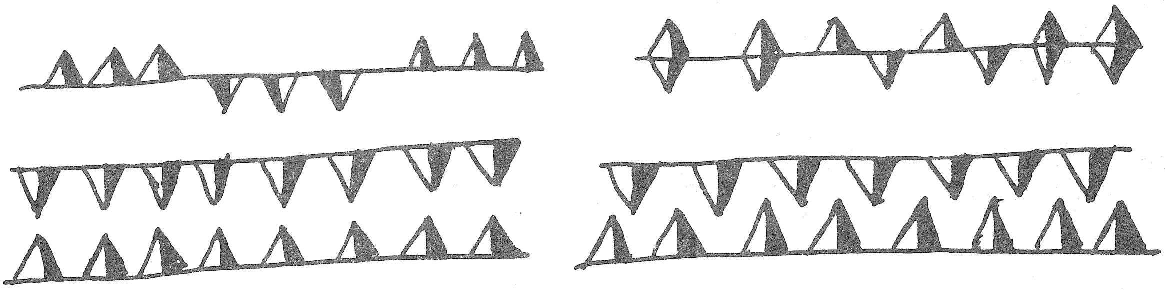


Fig. III-16 : Exemples de motifs kostienkiens.
(Koslowski)

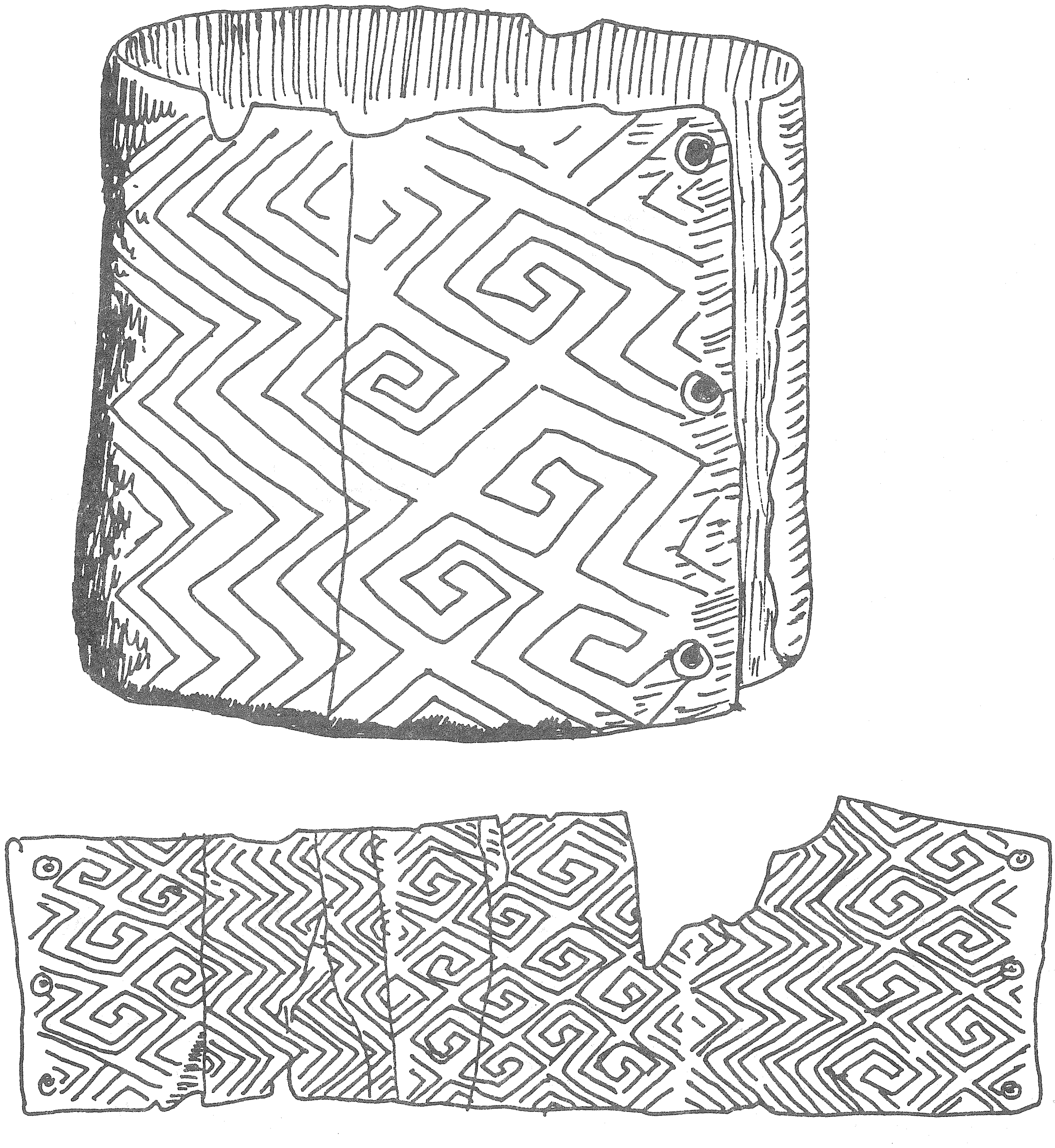


Fig. III-17 : Le bracelet de Mezine.
(Koslowski)

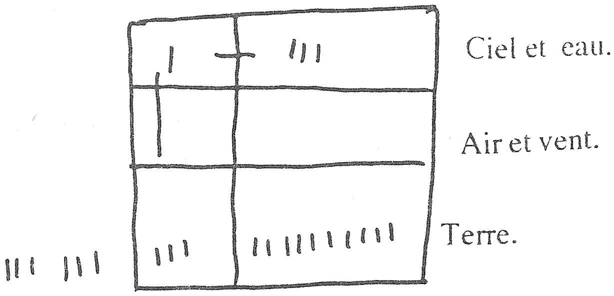
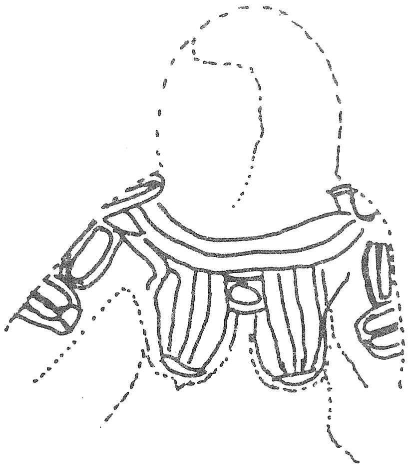
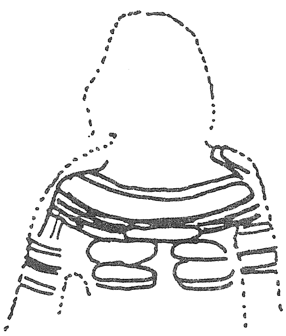



Fig. III-18 :
Rectangle mythique Bambara.
(Dieterlen)





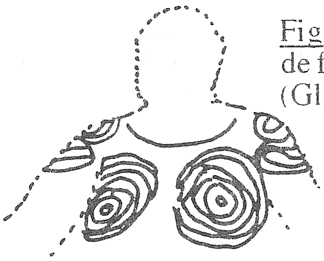


Fig. III-19 : Peintures corporelles de femmes Warlpiri.
(Glowczewski, 1989)

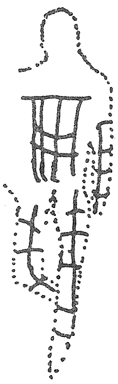


Fig. III-20 :
Peinture corporelle d'un homme warlpiri.
(Elkin)

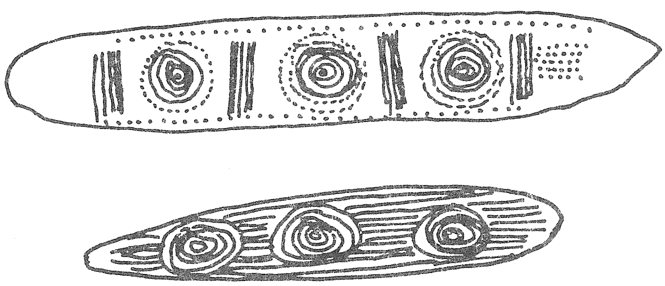


Fig III-21 : Churinga.
(Leroi-Gourhan, 1964)

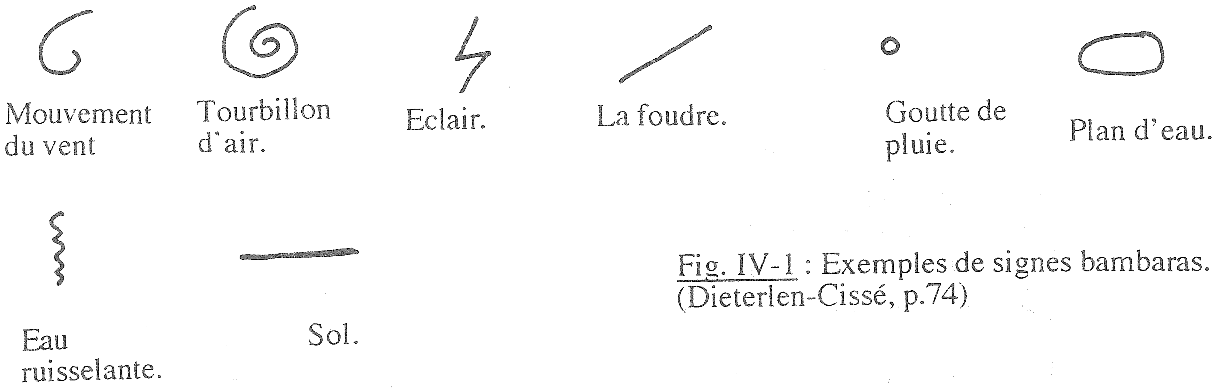



Fig. IV-1 : Exemples de signes bambaras.
(Dieterlen-Cissé, p.74)

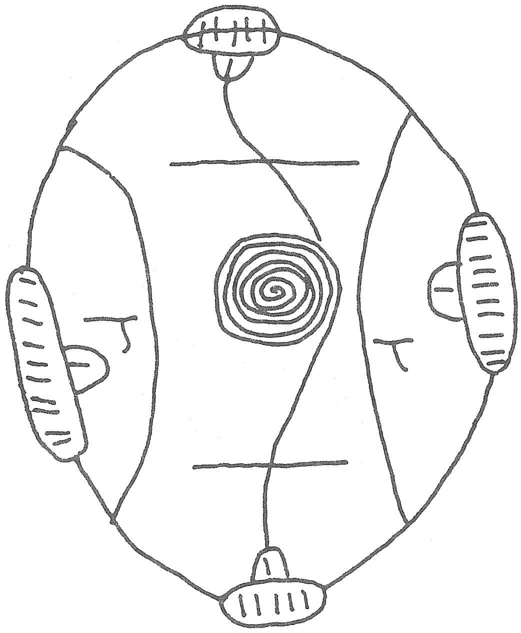


Fig. IV-2 : Tableau bambara de l'univers seul.
(Id., p.181)

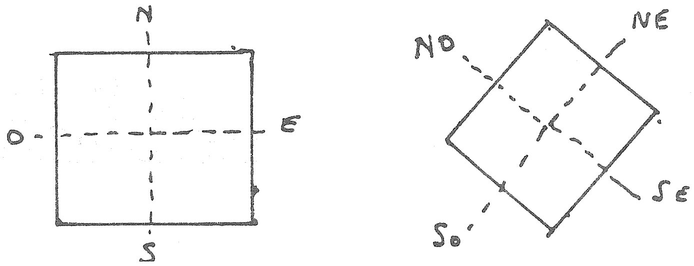



Fig. IV-3

Figure dite "côtés quatre". Figure dite "angles quatre".

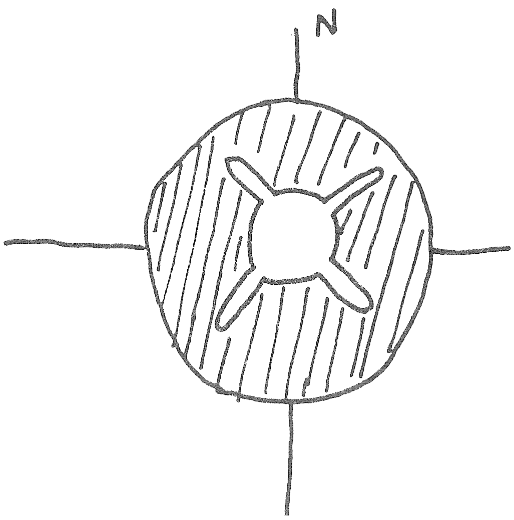
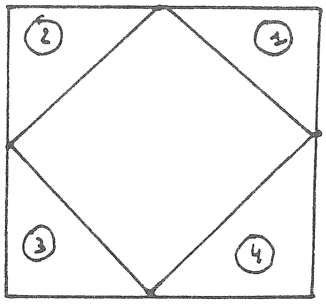
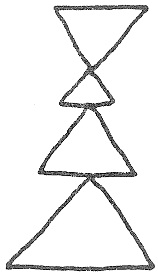



Fig. IV-4 : Disque extérieur : espace céleste et ses quatre directions ou "angles quatre".
Disque intérieur : le soleil et les quatre directions de l'espace terrestre.
(Griaule-Dieterlen, p.326)




1 : Triangle de la tortue.
2 : Triangle du soleil couchant.
3 : Soleil de midi        4 : Soleil levant.



La tortue.

Fig. IV-5 : Création de la tortue.

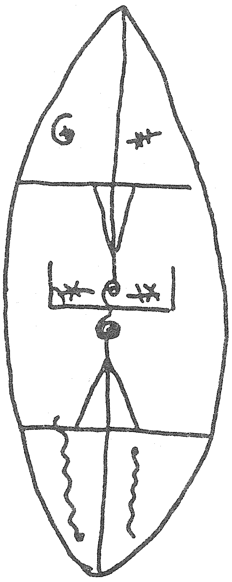


Fig. IV-6 : Deuxième tableau de signes bambaras. (Dieterlen-Cissé, p.182)

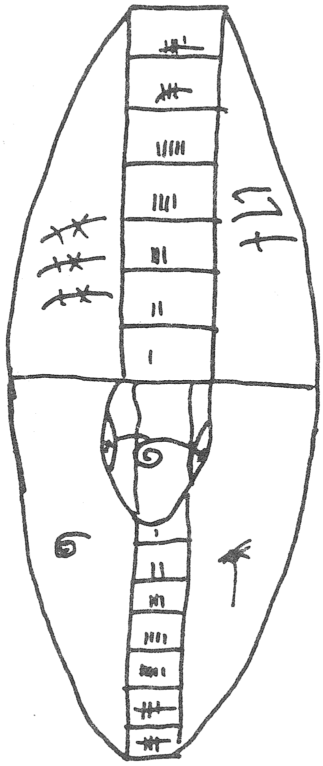


Fig. IV-7 : Troisième tableau de signes bambaras. (Id.)

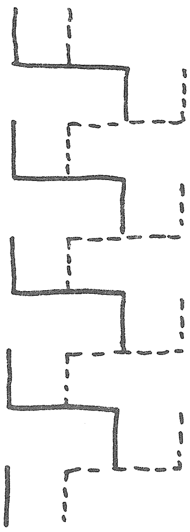


Fig. IV-8 : Le bana ngolo. Traits pleins : avec l'index. Traits pointillés : avec le médius. On commence en bas et les traits verticaux doivent être tracés simultanément. (Id., p.201)

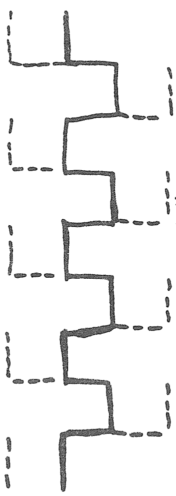
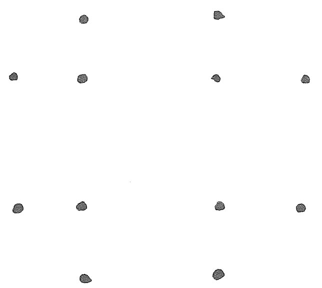
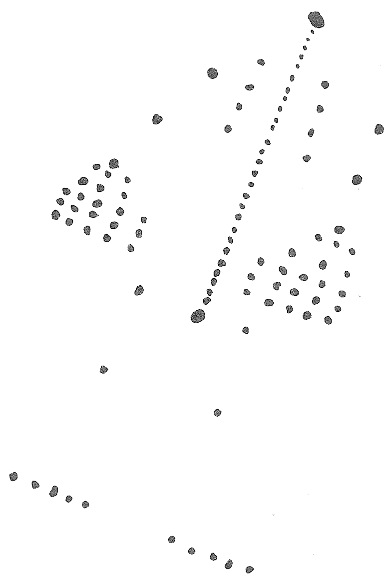


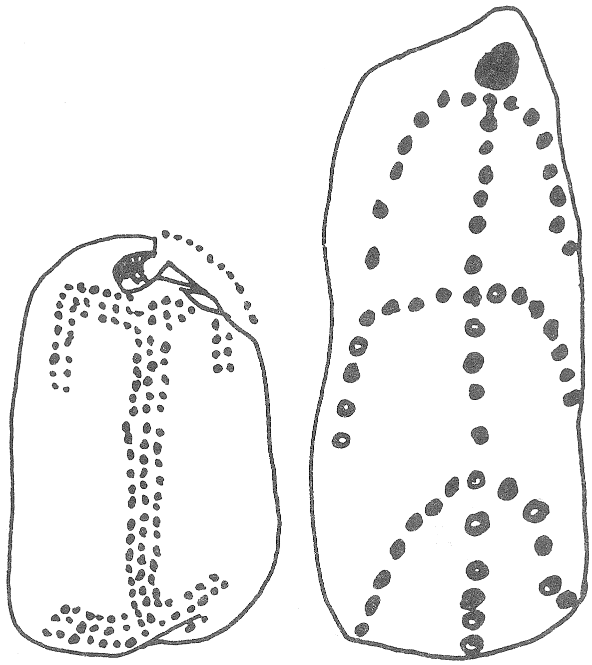
Fig. IV-9 : La chaîne de la descente. (Id., p.203



<u>Fig. IV-10</u> : Le "yala" de la maison.



Yala des 104 articulations
du Nommo.



Motifs sur os ou sur bois.
Mésolithique danois.
(Koslowski, pl.78)

<u>Fig. IV-11</u> : Figures nombrées.

# PRÉHISTOIRE DE LA GÉOMÉTRIE

## PREMIERS ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE, PREMIÈRES CONCLUSIONS

N° I. S. B. N. 2-86939-090-4

**Olivier KELLER**

# PRÉHISTOIRE DE LA GÉOMÉTRIE

## PREMIERS ÉLÉMENTS D'ENQUÊTE, PREMIÈRES CONCLUSIONS



+ 1 fascicule FIGURES

UNIVERSITÉ DE NANTES
CENTRE FRANÇOIS VIÈTE
D'HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

*Préhistoire de la géométrie* est le texte d'un mémoire de DEA présenté à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (Paris), sous la direction de Jean Dhombres, que je remercie ici pour sa lecture attentive et critique qui a permis d'améliorer considérablement la version originale.
Toutes les critiques et suggestions seront extrêmement bienvenues — c'est même dans l'espoir de les attirer que ce texte est publié — et pourront être adressées à l'auteur par l'intermédiaire de l'IREM de Lyon.

## SOMMAIRE

-oOo-

# INTRODUCTION.

1- Un des problèmes de l'histoire des mathématiques est celui de son point de départ. On a mis longtemps à se rendre compte que des mathématiques dignes d'intérêt avaient existé avant Euclide ou ses prédécesseurs immédiats. En 1758, Montucla passe en revue ce que l'on sait des sciences égyptiennes et "chaldéennes", c'est à dire à peu près rien. En 1906, Rouse Ball n'a à sa disposition que la première traduction du papyrus Rhind, découvert à Thèbes en 1857. La situation s'améliore à partir des années 30 de ce siècle, avec la publication par Struve du papyrus de Moscou et celle des premières traductions de tablettes babyloniennes par Thureau-Dangin et Neugebauer. Il faut attendre 1968 pour qu'apparaisse une traduction en langue occidentale du Jiuzhang suanshu ("Neuf chapitres sur l'art du calcul", traduits en allemand par Vogel), classique chinois d'esprit pré-euclidien daté de la période des Han. J'ignore depuis quand l'histoire des mathématiques a découvert les Sulbasutras de l'Inde védique, mais ils n'ont pas provoqué beaucoup d'intérêt, à voir le petit nombre de traductions et de commentaires suscités par ces textes, en tout cas en Occident, comparé à la quantité de ceux consacrés à l'Egypte, à la Mésopotamie et à la Chine antiques (Bibliographie dans Joseph). Les grands empires primitifs seraient-ils donc le lieu de naissance des mathématiques? Cela semble être l'opinion de Neugebauer pour qui la pensée mathématique abstraite apparut d'abord en Mésopotamie au début du deuxième millénaire avant notre ère avant de se répandre dans les civilisations voisines. Pourtant, un point de départ n'est jamais que relatif, il est un "bond en avant" qui fait suite à un long cheminement antérieur très progressif. Neugebauer lui-même est de cet avis en affirmant que le seul intérêt des mathématiques égyptiennes est de nous révéler un stade relativement primitif de développement, antérieur donc au point de départ mésopotamien (Neugebauer 1969, p.72). Il n'est pas possible non plus de croire que les connaissances révélées par le papyrus Rhind, à savoir l'arithmétique des quatre opérations, le calcul fractionnaire, les figures géométriques de base et leurs mesures linéaires et superficielles soient *premières* . L'existence de peuples primitifs qui n'ont aucun nom de nombre, ou des noms de nombres mais qui n'ont pas de système de numération, qui n'ont aucune idée de la mesure linéaire et encore moins superficielle, le prouve : le niveau égyptien, pour reprendre l'expression de Neugebauer, n'est pas le niveau zéro des mathématiques. L'histoire exige donc de regarder plus loin en arrière, à la recherche d'autres "points de départ", vers la préhistoire et le monde des peuples primitifs.

2- Nous ne disposons d'aucune étude d'ensemble de la préhistoire de la *numération et du calcul*, mais d'une quantité de monographies ou d'ouvrages spécialisés sur tel ou tel peuple primitif. A la fin du siècle dernier et au début de celui-ci, les sociologues Tylor et Levy-Bruhl consacrent des chapitres à la numération chez les primitifs, fournissant une documentation ethnographique largement reprise par les auteurs ultérieurs; en 1934, Menninger dans son remarquable *Zahlwort und Ziffer* traduit en anglais sous le titre *Number Words and Number Symbols-A Cultural History of Numbers*, donne des éléments sur la numération primitive et ses traces actuelles, mais sans renouveler la documentation rassemblée par Lévy-Bruhl. Le courant actuel des "ethnomathématiciens" apporte une contribution importante et nouvelle avec les monographies sur les aborigènes américains, rassemblées par Closs, le livre de Zaslavsky sur l'Afrique et celui d'Ascher. On trouvera une liste de quelques monographies et ouvrages spécialisés récents dans les bibliographies de Crump (assez générale) et de Mimica (davantage spécialisée sur la Papouasie Nouvelle-Guinée).

Les documents archéologiques suggérant une activité arithmétique, comme les os à encoches, n'ont inspiré que très peu de travaux sérieux, j'en dirai un mot au chapitre III. Leroi-Gourhan (1992, p.327) signale un article de Frolov, "Les nombres dans la graphique paléolithique", qui défend la thèse de la prééminence du nombre 7 et de ses multiples.

Des chercheurs allemands se sont attaqués, au cours du premier tiers de ce siècle, à la préhistoire de la *géométrie*. Le *Reallexicon der Vorgeschichte*, publié de 1924 à 1932 par Max Ebert, a des entrées prometteuses comme "Kreis", "Mass", "Mathematik", "Geometrie", "Zirkel" (compas) et d'autres; je n'ai pas encore pu les consulter, pas plus que les articles aux titres alléchants de E.Fettweiss et W.Lietzmann, publiés dans les années 30 dans *Isis, Scientia, Archeion* et recensés dans *Isis* : "Über die Entstehung der Messkunst" (Sur la naissance de l'art de la mesure), "Geometrie und Prähistorie", "Über die erste Entstehung der einfachen geometrischen Formen" (Sur la genèse des formes géométriques simples) et quelques autres. J'ignore la portée de ces travaux, mais le fait est qu'ils sont tombés dans l'oubli et je crois bien être le premier à les exhumer! Il faut avancer de 30 ans, jusqu'aux années 60, pour constater un regain d'intérêt pour la question dans les travaux de Seidenberg dont je parlerai aux chapitres I et III. *Isis* mentionne également *The History of Cartography* Vol.I (University of Chicago Press, 1987), qui contient trois chapitres consacrés à la préhistoire dans lesquels C.D.Smith affirme avoir recensé plus de 50 cartes préhistoriques montrant que le "concept de représentation plane existait". Comme pour la numération enfin, les ethnomathématiciens commencent à publier quelques monographies (Ascher, Gerdes, Closs). C'est maigre!

La préhistoire des mathématiques, et particulièrement celle de la géométrie, n'a pas beaucoup intéressé les chercheurs, c'est le moins que l'on puisse dire; le tout nouvel *Eléments d'histoire* *des sciences*, publié par Michel Serres, n'y fait même pas allusion. Attitude générale qui fait que l'on peut voir coexister dans un même texte l'idée que l'homme n'a rien ou pratiquement rien fait en matière de géométrie pendant des centaines de milliers d'années jusqu'à la décoration néolithique, mais qu'en revanche certains animaux ont de brillantes capacités dans ce domaine! (voir Chap.II).

3- La difficulté du sujet explique en partie la marginalisation de l'étude de la préhistoire des mathématiques. C'est en vain en effet que l'on espérerait trouver un ensemble de pétroglyphes, de peintures pariétales ou de gravures sur os que nous pourrions traduire et qualifier de document mathématique, à l'image des papyri égyptiens et des tablettes babyloniennes; les tentatives en sens contraire ont donné des résultats ridicules (voir Chap.III). La géométrie primitive, pas plus que l'arithmétique, n'existe bien nette, bien visible et bien matérialisée comme dans les cellules hexagonales de la ruche, les spirales de la toile d'araignée ou les polyèdres cristallins. Les formes et leurs combinaisons, comme nous le verrons, sont au contraire péniblement créées, imposées à la matière avant de se mêler inextricablement à toute la conception du monde caractéristique de la sagesse primitive dont elles sont les symboles privilégiés. Il faut donc rassembler une énorme documentation archéologique et ethnologique, puis la passer au tamis pour espérer en extraire quelques pépites mathématiques; c'est la première étape, dont la forme d'expression est la monographie. Il faut ensuite, dans un deuxième temps, chercher à reconnaître une histoire, c'est-à-dire un processus de développement. Autant de travaux rebutants et incompréhensibles aux yeux de ceux pour qui l'histoire des mathématiques n'est au fond qu'un moyen amusant de *faire des maths* , motif en lui-même tout à fait respectable.

4- Si je parle de géométrie enfouie dans la sagesse primitive, ce n'est pas avec l'idée de m'enrôler dans l'armée des "Indiana Jones" de l'histoire des sciences partis à la recherche d'un prétendu savoir secret des anciens et aujourd'hui perdu; ce ne serait d'ailleurs qu'une façon de plus de chercher un *corpus* de mathématiques primitives.
Par "sagesse primitive", j'entends une attitude générale qui imprègne toute activité et que l'on peut, en première approximation, définir ainsi :
"Cette propriété absolument générale (la faculté de symbolisation) veut que le symbole commande l'objet, qu'une chose n'existe que lorsqu'elle est nommée, que la possession du symbole de l'objet ait faculté d'agir sur lui...La vie (dans l'univers) est entretenue par l'assimilation des symboles du mouvement des astres au mouvement des astres eux-mêmes ou par le symbole de la renaissance végétale qui déclenche la croissance effective des plantes...La clef de l'univers est entre les mains de l'homme et, sous des formes variées mais finalement convergentes, naissent d'extraordinaires corps de doctrines, tout entiers fondés sur le jeu des

identités et des contraires, qui englobent tout le connu, des nombres à la médecine, de l'architecture à la musique...De tels systèmes ont existé aussi bien chez les Aztèques que chez les Grecs ou chez les Egyptiens;...quelques sociétés africaines ont conservé une philosophie fondée sur ces principes. Il serait aussi erroné d'y voir le fruit d'une pensée incomplètement formée que d'y voir les vestiges d'une connaissance mystérieuse et parfaite qui ne nous serait parvenue que mutilée..." (Leroi-Gourhan 1965, p.163 et 166).
Impossible par conséquent, comme nous le verrons, d'imaginer pire point de départ que le suivant : "Nous sommes très exactement à l'aube de la recherche scientifique, à une époque où l'homme pensait surtout à satisfaire ses besoins matériels. Il n'était pas du tout entraîné à la recherche 'pure', il débutait par le commencement vrai, par l'application (application *de quoi?* ). L'usage, l'application sont nés bien avant la recherche scientifique, qui tend à expliquer,classer artificiellement, les faits, les objets ou les phénomènes déjà étudiés sous d'autres aspects." (Furon, dans Taton, p.1).

5- J'ai choisi le sujet le plus négligé, la géométrie. Je l'ai dit plus haut, le domaine à explorer est immense et il est impossible d'être exhaustif; plutôt que de faire une monographie détaillée sur un thème particulier, par exemple sur la géométrie dans l'art pariétal, j'ai préféré rechercher les grandes lignes d'un développement "historique", en m'appuyant sur quelques exemples typiques. Nous chercherons au chapitre I des traces de sagesse primitive dans les premiers écrits mathématiques connus, allant à rebours de l'attitude classique qui ne s'y intéresse qu'en leur qualité de *prédécesseurs* de la géométrie euclidienne; attitude classique que l'on retrouve dans le tout récent (trop récent pour avoir été utilisé ici) *Essai sur le savoir mathématique dans la Mésopotamie et l'Egypte ancienne* (Maurice Caveing), qui est la première partie d'une recherche sur *La constitution du type mathématique de l'idéalité dans la pensée grecque.*
Ayant ainsi montré l'intérêt, y compris d'ailleurs pour les mathématiques euclidiennes, de regarder vers l'amont, nous reprendrons l'ordre chronologique à partir du chapitre II.

-oOo-

# CHAPITRE 1

## SAGESSE PRIMITIVE ET PREMIERS TEXTES MATHEMATIQUES.

Je commencerai par les textes indiens de l'époque védique (-1500-200), les Sulbasutras, extrêmement importants pour au moins trois raisons: ce sont des textes presque exclusivement consacrés à des constructions géométriques qui résolvent des problèmes étrangement similaires à certains proposés dans des livres I et II des "Eléments" d'Euclide, et leur but est exclusivement rituel, puisqu'il s'agit de construire des autels obéissant à des normes strictes. On dispose d'extraits des Sulbasutras, rédigés peut-être au 4° ou 5° siècle avant JC mais faisant de nombreuses allusions à des autorités antérieures, grâce à trois auteurs Indiens contemporains (Bag, Sarasvati et Kulkarni). Ces extraits sont présentés avec des commentaires malheureusement axés sur le savoir-faire mathématique que ces textes représentent, et pas sur leur signification rituelle ou sociale. C'est dommage pour des textes qui sont les seuls, avec il est vrai un court texte chinois de l'époque des Han, à s'enraciner explicitement dans la vieille sagesse primitive. On peut les comparer à une hauteur du sommet de laquelle on peut découvrir le paysage de la préhistoire et, se tournant dans la direction opposée, s'apercevoir que l'on est déjà sur les marches de la période euclidienne. Nous allons donner deux exemples védiques caractéristiques; après l'exposé des procédures données dans les textes, nous reprendrons les détails techniques, puis nous ironsla découverte du "paysage".

### 1-Constructions géométriques dans les Sulbasutras.

Le problème essentiel des Sulbasutras est de construire des autels de forme et d'aire données avec une corde flexible, des piquets et éventuellement une tige de bambou, et quelquefois d'agrandir ces autels tout en gardant leur forme, l'aire supplémentaire étant fixée:

*Premier exemple*: Agrandissement de l'autel en forme d'oiseau (Kulkarni, p.82)

La figure initiale ( fig.I-1) est composée d'un carré central, le corps, de 2x2 purusas carrés; de chaque côté, deux ailes rectangulaires de 1x(1+1/5) purusas carrés. Sous le corps, la queue est un rectangle de 1x(1+1/10), soit une aire totale de l'oiseau de 7,5 purusas carrés. Le problème est d'augmenter l'aire d'une unité, donc de 2/15 de l'aire initiale, c'est à dire que l'aire nouvelle est les 17/15 de la surface de départ. Voici la méthode, expliquée dans le Baudhayana Sulbasutra (5° siècle ?), mais on peut penser qu'elle est très antérieure, puisqu'elle est mentionnée dans un texte ancien de littérature védique, daté de 1000 à 800 BC (Sarasvati, p.51) :

a- On divise le corps en 15 bandes rectangulaires d'aires égales, deux de ces bandes sont transformées en carré et ajoutées au carré initial, pour former un nouveau carré de 4+4x2/15 purusas carrés.

b- Chaque aile est d'abord transformée en un carré de même aire; puis, en appliquant la procédure du a-, on le transforme en un carré d'aire 17/15 fois plus grande (fig I-2). Reste à transformer ce nouveau carré en rectangle semblable à l'aire initiale. Kulkarni dit : "Ce carré est transformé en rectangle, dont la longueur dépasse la largeur d'un aratni (= 1/5 purusa)." Pris au pied de la lettre, cela signifierait que le nouveau rectangle (la nouvelle aile) ne serait pas semblable au premier, ce qui est inconcevable dans le rituel védique.
Il faut à mon avis comprendre ceci: la moitié du côté du nouveau corps, fabriqué en a-, est en quelque sorte la nouvelle unité, le nouveau "purusa". La dernière étape sera donc de construire un rectangle d'aire égale à celle du carré précédent, mais dont un côté est la nouvelle unité; on obtient ainsi une aile semblable à la première, et dont la longueur dépasse la largeur de 1/5 du *nouveau* purusa. Sarasvati (p.50) suggère une construction de ce genre : "La forme et les proportions de l'autel original doivent être religieusement respectées. La méthode adoptée pour ce faire est de laisser intact le nombre d'unités de longueur dans chaque côté, mais de changer la taille de l'unité de longueur dans un rapport égal à la racine carrée du rapport des aires."

c- Une procédure identique à celle qui précède est employée pour agrandir la queue de l'autel-oiseau.

*Deuxième exemple*: : <u>Construction d'un autel en forme de roue, et d'aire 7,5 purusas carrés</u>.

(Kulkarni, p.67)
Il s'agit de construire un autel d'aire 7,5 avec comme matériau de base 225 briques (Carrées?) d'aire 1/30. Procédure (fig.I-3) :

a- Ajouter 64 (8X8) briques aux 225 (15X15) pour former un carré de 17x17 briques. Le moyeu de la roue aura une aire de 16 briques. Le cercle intérieur de la roue aura une aire de 144 briques.

b- Tracer un cercle d'aire égale289 briques : c'est le cercle extérieur de la roue.

c- L'espace entre l'extérieur du moyeu et le cercle intérieur de la roue est de 144 - 16 = 128 briques; cet espace est divisé en 32 parties, et on enlève une partie sur deux, soit la moitié des 128 briques, pour constituer les rayons. L'aire finale de la roue est: 289 - 64 = 225 briques. Il semble que les briques, en fin de compte, ne sont là que comme outil pour la construction a-.

Je ne garantis pas la textualité des exemples que je viens de donner, puisque je ne dispose pas encore des textes des Sulbasutras, mais seulement de quelques extraits suivis des commentaires des auteurs Indiens cités plus haut. Mais ces exemples sont typiques et suffisamment explicites quant au savoir-faire géométrique des prêtres védiques.
L'instrument de base est une corde neuve non graduée et flexible, nous en reparlerons plus loin. Il faut avec elle diviser un segment donné en n parties égales (1er exemple, a-); comme il n'y a aucune trace de la méthode classique utilisant le "théorème de Thalès", il faut supposer que l'opérateur repliait la corde n fois sur elle-même. C'est d'ailleurs ce qu'a fait un adepte contemporain du culte védique, à qui l'on demandait comment il divisait une corde en 5 parties égales (Seidenberg 1978).
Il faut ensuite savoir transformer un rectangle en carré d'aire égale, transformer un carré en rectangle d'aire égale et dont un côté est donné, et enfin construire un cercle d'aire égalecelle d'un carré donné, la "circulature" du carré!
On a besoin pour cela de deux intermédiaires qui reposent sur le "théorème de Pythagore" : pour *additionner deux carrés*, c'est à dire construire un carré d'aire égale à la somme de deux carrés donnés, il faut: "Avec le côté du petit carré, couper le grand. La diagonale combinera les deux" (Sarasvati, p.45), ce qui signifie (fig.I-4) : pour ajouter le carré ABCD au carré PQRS, porter AE=PQ, et prendre AF comme côté du carré cherché.
Pour *soustraire deux carrés*, on porte sur le côté AC du grand le côté AE du petit (fig.I-5); on trace EF parallèle à AB, puis on prend G sur EF tel que AG=AB. On a $GE^2 = AG^2 - AE^2$, donc GE est le côté du carré cherché.
Soit maintenant à *transformer le rectangle ABCD en un carré d'aire égale* (id p.35). On porte AE=AD (fig.I-6) et on divise EB en deux; le rectangle FBCG est placé sur AE. L'aire du rectangle ABCD est donc égale à celle de la partie hachurée, égale à son tour à celle de la différence des carrés construits sur DG et EF, et il suffit pour terminer d'appliquer le résultat précédent. En appelant x et y les côtés du rectangle ABCD, la formule sous-jacente à la construction est $xy = ((x+y)/2)^2 - ((x-y)/2)^2$ .

Pour *transformer un carré en rectangle dont un côté est donné* (id, p.37) : on veut construire un rectangle de côté DE, égal en surface au carré ABCD (fig I-7). EC coupe AB en I; le rectangle FGCH est le rectangle cherché, puisque les parties hachurées ont la même aire.
Pour *transformer un carré en disque de même aire* (id., p.34) : au demi côté du carré, ajouter le tiers de la différence entre la demi-diagonale du carré et son demi-côté. Cette méthode très rudimentaire semble provenir de la recherche d'un cercle intermédiaire entre celui qui a pour rayon le demi-côté, trop petit, et celui de rayon égal à la demi- diagonale, trop grand (fig.I-8). Les auteurs des Sulbasutras savaient parfaitement qu'il ne s'agissait là que d'une approximation (tous calculs faits on trouve $\pi = 36/(2 + \sqrt{2})^2$, soit environ 3,088) puisqu'à peu de distance de là, le même auteur Baudhayana dit que pour carrer un disque, il faut prendre le côté du carré égal aux 13/15 du diamètre; s'il croyait à l'exactitude de sa méthode, il aurait par exemple dit de prendre un diamètre égal aux 15/13 du côté du carré pour le problème inverse. De plus, il donne au même endroit un rapport côté/diamètre beaucoup plus compliqué, sans que l'on sache d'où il provient (id., p.35).

## 2- Sulbasutras et "application des aires".

La ressemblance avec certains problèmes euclidiens est frappante; dans un sens général d'abord, puisque dans les deux cas il s'agit de construire des figures d'aire égale à celle d'une figure donnée, et quelquefois aussi dans la technique même, puisque la transformation védique d'un carré en rectangle d'aire égale est à peu de choses près la méthode dite d'application des aires ("Eléments" I-44). Euclide aurait en effet procédé ainsi (fig I-9) : pour transformer le carré ABCD en rectangle, on *l'applique* sur le segment CE, ce qui veut dire que le rectangle final aura pour côté CE; les pointillés de la figure I-9 indiquent clairement la construction, et le rectangle CEFG a la même aire que ABCD. La différence avec la construction védique réside seulement dans la disposition du carré initial et du rectangle final : ils sont distincts chez Euclide et imbriqués l'un dans l'autre dans les Sulbasutras. En revanche, sans parler de la quadrature du cercle qui ne figure pas dans Euclide, la construction védique d'un carré égal à un rectangle donné diffère de celle des "Eléments" II-14; il est vrai qu'analysées en termes algébriques, ces deux constructions donnent la même formule : $xy = ((x+y)/2)^2 - ((x-y)/2)^2$, où x et y sont les deux côtés du rectangle, mais c'est insuffisant pour affirmer comme le fait Seidenberg (1983) que "le problème et sa solution sont précisément ceux de II-14". Contre-sens historique classique : c'est un anachronisme en effet que de justifier l'identité de deux méthodes au moyen de formules algébriques, qui traduisent un procédé inventé des siècles plus tard!

Euclide résoud des problèmes d'aires équivalentes; les prêtres védiques le font également, et fournissent par là un *motif* religieux pour leur résolution. Et comme l'une des grandes questions que se sont posées les historiens des mathématiques est précisément celle de la motivation des problèmes euclidiens de construction de figures équivalentes (voir par exemple les notices de Vitrac accompagnant sa traduction du Livre II des "Eléments", p.369 et 375) cela vaut la peine de s'y arrêter un moment.

Heath (p.360 et suivantes) a fait le rapprochement entre Euclide et les Sulbasutras, mais le seul problème qui l'intéresse est de savoir si les mathématiciens védiques avaient prouvé le "théorème de Pythagore" dans toute sa généralité. Si Vitrac (Notices sur le livre I, p.314) s'occupe du même problème, il ne fait aucune allusion, ni ici ni dans ses "Notices sur le livre II", aux travaux indiens antiques sur les figures équivalentes.

Un seul auteur, Seidenberg (1962, 1978, 1983), a essayé d'exploiter la similitude des problèmes grecs et indiens. Malheureusement, son propos n'est pas de comprendre la signification réelle des recherches indiennes : pourquoi les réalités cosmiques sont-elles symbolisées par des formes géométriques, que signifie ce besoin d'exactitude géométrique dans le rituel, pourquoi l'équivalence des aires a-t-elle tant d'importance, pourquoi faut-il agrandir tel autel en respectant ses proportions etc...Toutes ces questions ne l'intéressent guère, bien que ses travaux donnent de nombreux éléments pour tenter d'y répondre. Il ne croit pas que les connaissances mathématiques puissent avoir un développement indépendant dans une société donnée pour répondre à des besoins donnés. Lorsqu'il trouve des ressemblances, comme entre les constructions védiques et quelques théorèmes d'Euclide, il en déduit soit que l'Inde est la source des connaissances euclidiennes, soit que les deux ont une source extérieure commune, et c'est le seul problème qui l'intéresse. Il exclut à priori, par préjugé diffusioniste, tout développement parallèle et indépendant; ainsi après avoir tenté de montrer que les Babyloniens de l'ancien empire en savaient moins sur le théorème de Pythagore que les Indiens védiques, Seidenberg conclut aussitôt et sans autre forme de procès :

"La conclusion est que l'ancienne Babylone obtint de l'Inde le théorème de Pythagore, ou que l'Inde et l'ancienne Babylone l'obtinrent d'une troisième source. Comme les érudits ne font pas remonter les rituels géométriques en question aussi loin que -1700 , je postule une source antérieure à l'ancienne Babylone (i.e. avant -1700) pour les rituels géométriques conservés dans les Sulbasutras, ou au moins pour le contenu mathématique de ces rituels." (Seidenberg 1983, p.121)

Cette position est arbitraire, et elle a l'inconvénient majeur d'évacuer le problème principal, lorsqu'on cherche à faire une préhistoire de la géométrie et des mathématiques en général : pourquoi cette importance symbolique des formes et des constructions géométriques, importance que l'on retrouve sous des formes diverses chez de nombreux peuples primitifs?

En admettant même qu'il y ait une source commune (l'hydre indo-européenne?), le même problème : pourquoi ce symbolisme *géométrique* ? se poserait à propos de ce peuple dont nous n'avons, faut-il le rappeler, pas la moindre trace.

3- La fonction rituelle de la géométrie védique.

Dans les lignes qui suivent, je vais expliciter plus en détail le rituel védique, et formuler quelques hypothèses de travail pour des recherches ultérieures. Ce sera pour nous l'occasion d'un premier coup d'oeil sur le "paysage de la préhisitoire".

Comme je l'ai dit plus haut, l'intérêt exceptionnel des documents indiens réside entre autres dans le fait qu'ils sont la seule trace écrite d'importance (dans l'antiquité bien entendu), d'un phénomène extrêmement répandu dans les sociétés primitives et dont nous reparlerons souvent : l'utilisation symbolique des formes géométriques de base et le rôle rituel des constructions. Le Papyrus Rhind commence bien par une phrase assez obscure que Chace traduit par : "Voie de la connaissance de toutes choses et de tous les secrets obscurs", mais la suite est purement mathématique; dans les tablettes babyloniennes traduites, il n'y a aucune allusion de ce genre. Le Zhoubi suanjing datant de la dynastie des Han, qui contient la célèbre figure du triangle rectangle de côtés 3, 4 et 5, a un ton assez "mystique" et énonce le symbolisme classique en Chine, qui associe le carré à la terre et le cercle au ciel, mais c'est à peu près tout (Needham, p.23). L'autre grand classique chinois de la même époque, le Jiushang suanshu, est purement mathématique, de même que le Suanshu shu récemment découvert (Li Yan et Du Shiran).

Le rituel védique consiste en un sacrifice fait sur un autel construit en plein air (il n'y a pas de temple), où les offrandes sont jetées dans un feu allumé sur l'autel. La forme et les dimensions de l'autel sont importantes, parce qu'il est une représentation du monde. On trouve des traces de cet état d'esprit, mais des traces seulement, dans des textes antérieurs; Kulkarni affirme pourtant que le Satapatha Brahmana (généralement daté du 8° siècle avant JC) mentionne explicitement que certains autels doivent être d'aires égales, mais il ne donne que quelques citations...en sanscrit (p.9 et 68). A propos du monde-autel :

"Les vastes espaces servaient de clôture, la terre avait pris forme d'un autel;
c'est là que le Rouge (= le soleil) avait mis les deux feux...
Quand il eut donné à la terre la forme d'un autel,...
le Rouge a animé l'univers...
Ainsi naquit le premier sacrifice
-il est ce qui fut et ce qui doit être-
Est né de lui tout ce qui existe et qui
brille ici bas, apporté par le Rouge Voyant."

(Atharva Veda, entre 14° et 10° siècles avant JC. L.Renou, p.213).

Ce sacrifice primordial, ici réalisé par le "Rouge", mais ailleurs c'est l'homme primordial qui se sacrifie lui même, doit être scrupuleusement reproduit, non pas pour obéir à des ordres arbitraires d'un dieu capricieux, mais pour recréer le monde, sans quoi il s'arrêterait de tourner : "Et lorsque l'on offre l'oblation le matin, avant que le soleil soit levé, on engendre le soleil qui se fait lumière et, resplendissant, se lève. Mais il ne se lèverait jamais si l'on omettait d'offrir cette oblation; c'est pourquoi l'on offre cette oblation." (Sathapata Brahmana cité dans Varenne).

Le soir, on offre aussi une oblation pour faire prospérer l'embryon qu'est redevenu le soleil après son coucher, caché comme l'embryon dans la matrice.

Analogue sur ce point à tous les rituels primitifs, le rituel védique n'est pas une simple commémoration mais une recréation continuelle. Loin d'être un pauvre malheureux écrasé et terrorisé par des forces mystérieuses, et qui marmonne des supplications à la moindre anicroche, l'adepte du culte védique n'a aucun doute sur la puissance de création humaine :

"S'y sont conformés en effet les poètes humains,
nos pères, lorsque le sacrifice originel eut pris naissance.
Il me semble voir, des yeux de la pensée,
ceux qui les premiers ont offert ce sacrifice.
Les manoeuvres sont accordées aux chants, accordées aux mètres;
les sept Voyants divins eux-mèmes sont accordés au modèle.
*Quand les sages se réfèrent au chemin des ancêtres,*
*ils prennent en main les rênes comme des conducteurs de chars."* (souligné par moi)
(Rg-Veda, entre 14° et 10° siècles avant JC, Renou p.128).

Ce que nous appelons *symboles* et *rites* est *réalités* et *actions* sans lesquelles le monde courrait à la catastrophe; parmi ces actions, la récitation des bonnes formules (allusions au "mètre") avec la bonne intonation et au bon moment revêt sans aucun doute une importance primordiale, puisque la parole est source de création. Parmi ces actions, les constructions géométriques ont aussi une place de premier plan : non seulement elles doivent se conformer aux règles exposées plus haut, *mais la construction elle-même est un rituel*, comme nous allons le voir.

L'autel doit en premier lieu être orienté, ce qui implique le tracé de la ligne est-ouest et de la ligne nord-sud. La première est obtenue par l'intersection de l'ombre d'un gnomon et d'un cercle dont le rayon est égal à ce gnomon (Sarasvati p.22); c'est exactement la construction de Vitruve (p.38). Pourtant la ligne nord-sud n'est pas obtenue en traçant la médiatrice avec un compas, comme dans Vitruve, mais comme suit : aux extrémités du segment précédemment tracé, on attache les deux bouts d'une corde de longueur double; la saisissant par le milieu, marqué au préalable par pliage de la corde, on la tend vers le haut puis vers le bas, et l'on joint les sommets des deux triangles obtenus pour avoir la ligne nord-sud (Sarasvati, p.23). Dans les Sulbasutras, on ne parle jamais de "perpendiculaires", mais de lignes nord-sud et est-ouest, et les lignes sont presque toujours indiquées par leur orientation; on dira par exemple une "diagonale nord-est".

On a peut-être là une recréation des orients, donc un acte rituel, comme au temps du sacrifice primordial :

"Le domaine aérien sortit de son nombril,
de sa tête le ciel évolua,
de ses pieds la terre, de son oreille les orients :
ainsi furent réglés les mondes."
(Renou, p.99)

En second lieu la corde, instrument de base, doit obéir à des spécifications précises, il en faut une *neuve* pour chaque nouvelle construction (Kulkarni, p.35), et elle ne doit pas être graduée; sa longueur enfin dépend du type d'autel à fabriquer. De plus, l'unité de base, le purusa, qui signifie homme, n'est pas constante mais dépend de la taille du sacrificateur (id, p.33). Les nombreux angles droits nécessaires ne sont apparemment jamais faits avec une équerre toute prête, mais toujours construits à la corde soit par un procédé purement géométrique, le plus simple étant celui des deux lignes est-ouest et nord-sud, soit par des assemblages de cordes dont les longueurs sont des triplets pythagoriciens (Sarasvati, p.26).

L'idée importante ici, me semble-t-il, c'est que rien ne doit être préparé à l'avance (pas d'équerre, pas de graduations), tout doit être refait, reconstruit comme aux temps primordiaux; *la création géométrique apparaît comme l'archétype de la création du monde*. Le sacrificateur est presque seul face au néant, avec une corde qu'il fabrique et l'unité de longueur dépend de son propre corps; c'est lui en effet qui va déterminer le purusa, unité linéaire de base, et purusa signifie homme, ou personne primordiale. Kulkarni dit que l'unité est "la hauteur d'un homme, mains tendues vers le haut et dressé sur la pointe des pieds" (p.31).

J'imaginerais volontiers, mais c'est pure conjecture, que la corde soit une sorte de double de l'homme-sacrifiant, et que ses divers pliages et contorsions nécessaires aux constructions soient le reflet symbolique du sacrifice du Purusa, qu'il a fallu littéralement tailler en pièces pour donner naissance au monde. Un passage du Rg-Veda (Renou, p.97) dit que "L'homme n'est autre que cet univers, ce qui est passé, ce qui est à venir", puis qu'il faut commencer à le tronçonner car "avec trois quartiers l'homme s'est élevé là haut, le quatrième a repris naissance ici-bas. De là, il s'est répandu en tous sens..."; le démembrement se poursuit, pièce par pièce, et 16 versets expliquent la destination de sa bouche, ses cuisses, ses pieds, sa conscience etc...

En regardant de près la littérature védique, on arrivera peut être à comprendre en détail les raisons des constructions rapportées plus haut; la première, qui agrandit un autel de 7,5 purusas carrés de 1 purusa carré en respectant sa forme, et qui doit se continuer ainsi jusqu'à 101,5 purusas carrés, a-t-elle un rapport avec l'agrandissement de l'homme nécessaire pour "couvrir la terre de part en part" (Renou, p.97)? Reflète-t-elle aussi les paroles du dieu du feu (agni), ivre de soma, la boisson sacrée, paroles un peu plus proches de notre rituel, puisqu'elles font allusion à un dessin d'oiseau et à une extension?

“J'ai tracé au ciel une de mes ailes,
l'autre je l'ai tracée ici bas-
n'ai-je donc pas bu du soma?

Je suis grand, grand,
je me suis propulsé jusqu'aux nuées-
n'ai-je donc pas bu du soma?"
(Renou, p.116).

Il y a bien aussi, dans un poème du Rg-Veda (Renou, p.127), un "sacrifice qui de toutes parts est tendu avec des fils (tendre le sacrifice est l'exécuter, le rite étant assimilél'oeuvre du tisserand. Note de Renou), *qui s'étire sur cent et un actes divins*", mais on voit que ces allusions sont trop vagues pour nous éclairer vraiment.

Malgré les obscurités des textes et l'imperfection de mes sources, le sens général des mathématiques védiques me paraît clair : les constructions géométriques sont une reconstruction du monde sans cesse recommencée dont l'homme est le centre, le maître tout puissant et l'artisan. Cette recréation à partir de rien, ou d'une simple corde, est la clef si l'on veut comprendre la place tout à fait négligeable des procédures numériques dans les Sulbasutras (on n'a même pas droit à des cordes graduées!), procédures pourtant connues et qui auraient pu, comme le remarque Kulkarni, simplifier la vie du constructeur. Si l'on ne cherche pas à percer un peu la signification globale du rituel en question, et si l'on étudie *en technicien* les Sulbasutras en saucissonant leur étude thème par thème : arithmétique, unités de mesures, constructions, aires et volumes, théorème du carré de la diagonale, triangles rectangles à côtés entiers, approximations de la racine carrée de 2 et de $\pi$ (voir la table des matières de Kulkarni), il n'est pas étonnant que l'on arrive à la conclusion...d'une incompréhension :

"Il est assez difficile de comprendre les méthodes approximatives (?) et purement constructives des Sulbasutrakaras pour l'établissement des différents autels alors qu'ils auraient pu profiter de leurs compétences en arithmétique et des instruments de mesure gradués." (Kulkarni, p.37).

4- Nature de la géométrie euclidienne, éclairée par la géométrie védique.

Nous avons déjà souligné la ressemblance des Sulbasutras avec certains problèmes des livres I et II des "Eléments". On ne peut non plus s'empêcher de penser à la fameuse "duplication du cube" qui elle aussi, est un problème d'agrandissement homothétique d'un autel. Tout cela est trop frappant pour ne pas risquer l'hypothèse d'une lointaine origine rituelle des spéculations géométriques euclidiennes. Rituel, j'ai déjà insisté là dessus plus haut, n'est pas synonyme d'application de spéculations "mystiques" au sens péjoratif actuel, mais signifie dans l'esprit des anciens, une authentique action tout ce qu'il y a de plus pratique; la séparation entre mythe et réalité n'a pas cours à ce moment. D'ailleurs, la fameuse lettre d'Eratosthène citée par Eutocius pour raconter l'origine du problème de la duplication du cube, reflète peut-être encore cet état d'esprit où le rite de construction est tout aussi *pratique* qu'autre chose; le passage suivant montre comment le rituel est mis sur le même plan que les calculs pratiques :
"Ce problème résolu nous pourrons d'une façon générale changer en cube toute figure solide donnée limitée par des parallèlogrammes, ou la faire passer d'une forme à une autre et la rendre semblable, et l'amplifier en respectant la similitude, et cela, même quand il s'agit d'autels et de temples; nous pourrons aussi convertir en cube les volumes des corps liquides et secs...et exprimer par l'arête de ce cube la capacité de ces récipients de ces corps. Mais mon invention sera utile aussi à ceux qui voudront augmenter les dimensions de catapultes et de machines balistiques, où tout doit être augmenté en proportion... si nous voulons que la portée du tir soit augmentée en proportion." (Oeuvres d'Archimède, T.IV p.65).
Une autre trace de spéculations mythico-géométriques grecques se trouve bien sûr dans le Timée de Platon. La création du monde est expliquée par un invraisemblable bric à brac de médiétés et de triangles de base, mais le texte montre aussi la rupture conceptuelle consommée avec les Sulbasutras : alors que le mythe védique s'accompagne naturellement d'un rite de re-création, parce que toute séparation entre théorie et pratique est encore, au sens propre du terme, *impensable*, l'explication platonicienne n'est qu'une théorie clairement exposée comme telle et détachée de toute pratique, *désinteressée*: :
"Si donc, Socrate, il se rencontre maint détail en mainte question touchant les dieux et la genèse du monde, où nous soyons incapables de fournir des explications absolument et

parfaitement cohérentes et exactes, n'en sois pas étonné; mais si nous en fournissons qui ne le cèdent à aucune autre en vraisemblance, il faudra nous en contenter, en nous rappelant que moi qui vous parle et vous qui jugez nous ne sommes que des hommes et que *sur un tel sujet il convient d'accepter le mythe vraisemblable, et rien au delà.*" (souligné par moi) (Timée, p.411).

Platon est encore témoin, en quelque sorte, du vieux monde de la sagesse primitive qu'il a pourtant quitté. Chez Euclide, il n'y a plus aucune trace explicite, le cordon ombilical est coupé, les mathématiques pures sont nées. La première différence de fond entre la géométrie pure euclidienne et la géométrie rituelle des Sulbasutras, c'est que la première est un système clos qui trouve en lui-même sa justification parce qu'il se développe à partir de ses propres principes (définitions, demandes, notions communes), alors que la seconde est au contraire une partie d'un vaste système unitaire cosmique. La cohérence de la géométrie védique n'est pas à rechercher en son intérieur, mais dans la totalité du système mythique-rituel dont elle n'est qu'un aspect. La seconde différence essentielle, du moins si l'on accepte l'Euclide platonicien présenté par Proclus, est celle qui existe entre un système dynamique et un système statique. La géométrie védique en effet, par le jeu des transformations des figures les unes dans les autres et des agrandissements, est le reflet et l'acteur du monde réel perpétuellement *regénéré* et *changeant*, elle est une dynamique. La géométrie de type euclidien au contraire conduit, selon Platon, à la vraie connaissance qui est celle des êtres *éternels* et *immuables* seuls dignes de la contemplation du philosophe :

"Si la géométrie oblige à contempler l'essence, elle nous convient; si elle s'arrête au devenir, elle ne nous convient pas...Or, aucun de ceux qui savent un peu de géométrie ne nous contestera que la nature de cette science est directement opposée au langage qu'emploie ceux qui la pratiquent...Ce langage, assurément, est fort ridicule et misérable; car c'est en hommes de pratique, ayant en vue les applications, qu'ils parlent de carrer, de construire sur une ligne, d'ajouter, et qu'ils font sonner d'autres mots semblables, alors que cette science toute entière n'a d'autre objet que la connaissance... (Il faut convenir) qu'elle (cette science) *a pour objet la connaissance de ce qui est et non de ce qui naît et périt.*" (souligné par moi) (La République, p.286).

Tel est,mon avis, l'essentiel de la "révolution euclidienne" en regard de la géométrie (et des mathématiques en général) préhistorique : la création d'un *système* mathématique, clos et statique, ce qui est beaucoup plus profond que la simple invention de la démonstration. Il y a d'ailleurs des démonstrations et des preuves dans les textes pré-euclidiens (ou d'esprit pré-euclidien, comme les textes chinois antiques), mais on n'y verra jamais rien de semblable aux grandioses "Eléments" reposant fièrement sur leurs propres bases. Et cette révolution était indispensable pour créer la science moderne, il fallait briser la confuse unité primitive entre théorie et pratique (mythe et réalité), entre chose réelle et son symbole, il fallait briser ces vastes réseaux d'analogies qui tenaient lieu de pensée, il fallait en un mot que la pensée prenne conscience d'elle-même.

5- Nature des textes babyloniens et chinois.

Nous possédons de bons instruments de travail sur les mathématiques babyloniennes, grâce aux traductions de Thureau-Dangin, Neugebauer et Bruins. Beaucoup plus anciennes que les Sulbasutras, puisqu'elles sont datées du premier empire babylonien (entre -1800 et -1600), leur contenu mathématique est néanmoins beaucoup plus avancé. Elles ne contiennent aucune trace de rituel géométrique (ou de numérologie) ce qui ne signifie pas que celui-ci n'ait joué aucun rôle à ce moment ou à des périodes plus reculées. On sait par exemple que la symbolique du nombre fut très présente en Mésopotamie, et Rutten affirme même que "dans cette symbolique du nombre s'insère la mathématique car il semble bien que, comme pour l'astrologie, on ne puisse dissocier la mystique du nombre et la mathématique, l'une ayant sollicité l'autre" (Rutten, p.106). Voilà une splendide affirmation...qu'il reste à prouver, sans se retrancher derrière la transmission orale aux seuls initiés (id.)! En Chine antique, on a aussi des textes mathématiques datant de la dynastie des Han (voir supra), et totalement indemnes de toute géométrie ou arithmétique "sacrées", alors que celles-ci étaient manifestement florissantes. Ainsi l'empereur Qin Shi Hoang Di, qui accède au pouvoir en -221, fameux pour avoir fait brûler les vieux livres, excepte de cet auto-dafé des livres scientifiques et ceux de "divination par la tortue et l'achillée (Yi-Jing)" ( Mémoires historiques de Qi-Ma Qien, ch 6); nous avons vu plus haut que les deux figures de base, le cercle et le carré, sont des symboles du ciel et de la terre. Granet, dont l'étude embrasse la période qui se termine avec la dynastie des Han, en détaille le mécanisme :

" La vertu propre du temps est de procéder par révolution. Cette nature cyclique l'apparente au rond et l'oppose à l'espace, dont le premier caractère est d'être carré. Les formes intermédiaires, combinaisons du rond et du carré ne sont chacune que le symbole d'une interaction particulière de l'espace et du temps...La terre, qui est carrée, se divise en carrés. Les murs extérieurs des principautés doivent former un carré et de même les murailles des villes qu'ils englobent, les champs et les camps étant carrés eux aussi (p. 90)... Les techniques de la division et de l'aménagement de l'espace et les spéculations géométriques qu'elles supposent se rattachent apparemment aux pratiques du culte public. Les fidèles, en effet, se formaient en carré. L'autel du sol, autour duquel se faisaient les grands rassemblements, était un tertre carré...Ce carré sacré représentait la totalité de l'empire (p.91). (Le Ming Tang) est une maison du calendrier, où l'on voit une concentration de l'univers.

Edifié sur une base carrée, car la terre est carrée, cette maison doit être recouverte d'un toit de chaume, rond à la façon du ciel (p. 102)."

Des recherches doivent être poursuivies pour découvrir des comportements analogues en Mésopotamie antique; l'étude des textes de l'Ancien Testament traitant de la fondation du temple de Jahvé pourrait peut-être donner des indications utiles, en supposant une influence babylonienne. S'il n'y a aucune trace de rituel sur les tablettes babyloniennes, il y a aussi très peu de problèmes pratiques; ce sont essentiellement des textes pédagogiques rédigés à la première personne, celle du maître : j'ai posé ceci et cela, c'est l'énoncé du problème, et maintenant toi, tu fais ceci et cela, c'est la solution. Et comme tout bon pédagogue, le maître invente des problèmes d'apparence pratique, mais probablement d'aucune utilité autre que pédagogique. Par exemple :

"Si un homme me transporte 9 sosses de briquestrois cordes de distance, je lui donne deux sutus de grains. Actuellement l'architecte me fait faire la paye. J'ai appelé 5 hommes: le premier m'a apporté une fois l'inverse, le deuxième deux fois, le troisième trois fois, le quatrième quatre fois et le cinquième cinq fois. Celui qui m'a porté une fois, combien de briques m'a-t-il livré? Combien de grains lui ai-je donné?" (Thureau-Dangin p.69).

Voici encore la substance d'un "problème du second degré", où l'aspect pratique n'est qu'un camouflage du sadisme raffiné du maître : il s'agit d'un trapèze dont on commence à mesurer la hauteur avec un roseau de taille inconnue; en cours de mesure, voilà que notre roseau se casse et perd 1/5 de sa taille mais la mesure de la hauteur continue tout de même. Le roseau perd de nouveau 1/5 de sa hauteur et 6 doigts, et on mesure la grande base et une "transversale" avec ce qui reste; miraculeusement, le roseau fragile retrouve ce qu'il avait perdu la deuxième fois, et sert à mesurer la petite base. La surface du trapèze est donnée, ainsi que les mesures précédentes, et il faut en déduire la taille du roseau (id., p.93). Le problème est résolu avec une grande maîtrise, en se ramenantla forme standard babylonienne d'une équation du second degré avec $x-(1/5)x$ comme inconnue auxiliaire. Il est possible néanmoins que certains problèmes des tablettes, difficilement compréhensibles, soient de vrais problèmes de "mathématiques appliquées", mais ce n'est certainement pas le ton dominant. Il me semble que l'aspect dominant est celui de mathématiques pures, au sens de séparées de toute application malgré un vernis qui pourrait faire croire le contraire, mais pas encore dans le sens euclidien : en premier lieu, il n'y a pas de démonstration, même pas de preuves d'opérations qui fourmillent dans le papyrus Rhind de la même époque, mais il y a une *méthode fondamentale* jamais explicitée comme telle mais *appliquée systématiquement* dans le problème central des tablettes, celui que nous appelons la résolution des équations du second degré : *l'esprit de système est à l'oeuvre*. En second lieu, le *raisonnement par analogie* semble jouer un rôle important dans la résolution de problèmes difficiles. Nous allons illustrer ces deux points par quelques exemples, en proposant du même coup une explication géométrique des calculs babyloniens.

## 6- Le système géométrique des calculs babyloniens.

Les problèmes "du second" degré abondent; en voici un, typique, une des formes standard auxquelles le scribe apprend systématiquement à son élève à se ramener, y compris dans le cas de l'horrible problème du roseau fragile (v.supra) :

" J'ai additionné la surface et le côté de mon carré: 45'. Tu poseras 1, l'unité. Tu fractionneras en deux 1: 30'. Tu croiseras (tu multiplieras) 30' et 30': 15'. Tu ajouteras 15'45': 1. C'est le carré de 1. Tu soustrairas 30', que tu as croisé, de 1: 30', le côté du carré." (Tablette BM 13901, Thureau-Dangin, p.1)

Le système de numération est de base soixante, donc 30' signifie 1/2 et 45' est 3/4. En l'absence de tout formalisme algébrique, la méthode ne peut à mon avis être comprise qu'à partir d'une figure standard extrêmement simple, d'ailleurs utilisée dans les Sulbasutras pour transformer un rectangle en carré, puisque c'est au fond de cela qu'il s'agit. Le scribe transforme $x^2+x$ en $(x+1/2)^2 -1/4$, d'où $x=\sqrt{(3/4+1/4)}-1/2$; une telle écriture n'avait bien entendu aucun sens pour lui, mais il devait *lire* la solution de son problème sur une figure, comme celle que je propose (fig.I-10). Je ne vois pas pourquoi on se priverait d'une explication aussi simple des procédures babyloniennes; ce schéma est bien connu des Indiens (voir plus haut, §1) et il est repris plus tard par Al-Khwarismi. Cela suppose, il est vrai, d'homogénéiser la relation de départ qui au lieu de: "j'ajoute le côté" serait comprise comme une abréviation de: "j'ajoute un rectangle de dimensions 1 et x". C'est d'ailleurs ce que fait Al-Khwarismi, qui exprime notre $ax^2+ bx = c$ par "les carrés et les racines sont égauxun nombre", formulation fort proche de "j'additionne la surface et le côté", et qui résoud explicitement l'équation en complétant le carré (Youshkevitch, p.35 et suivantes). Dans le même ordre d'idées, je proposerai une explication de la fameuse approximation babylonienne : $= x + (y^2 /2x)$ utilisée par exemple pour le calcul de la diagonale d'une "porte" (Thureau-Dangin p.130). Il s'agit de trouver le côté d'un carré égal à la somme de deux carrés; s'il ne s'agissait que de le *construire*, il suffirait d'appliquer la procédure décrite au §1. Mais le scribe veut la *calculer*, ou au moins l'estimer, et il est parfaitement possible de le faire géométriquement comme ceci (fig.I-11) :

a- Transformer $y^2$ en un rectangle ABCD de côté x, par la méthode d'application des aires. ABCD a donc pour côtés x et $y^2/x$.

b- Ajouter au rectangle ABCD le carré de côté CFED de côté x, et transformer le nouveau rectangle AEFB obtenu, d'aire $x^2 + y^2$ en "quasi carré", au moyen d'un déplacement de la moitié du rectangle ABCD.

On *voit* finalement que la somme des carrés de côtés x et y est presque un carré de côté $x+ y^2/2x$ et on voit même l'erreur de $(y^2/2x)^2$.

Les deux procédures que nous venons de suggérer sont extrêmement simples et parfaitement lisibles en l'absence de tout formalisme algébrique; avec ces figures sous les yeux (dessinées par terre ?), le scribe peut rédiger ses tablettes sans gros effort intellectuel.

Pourquoi raconter tout cela? Parce que les autorités en la matière, Thureau-Dangin et Neugebauer, rendent hommage à l'habileté des mathématiciens babyloniens, et se contentent pour toute explication de *traduire* leurs procédures dans le langage algébrique contemporain. Ce formalisme génial a tellement imprégné nos cerveaux, nous croyons son expression si*naturelle* , que les chercheurs les plus éminents s'y laissent prendre et s'imaginent expliquer en algébrisant. Ils rééditent là le contre-sens historique dont j'ai parlé plus haut à propos de Seidenberg. Si mon hypothèse est vraie, il faudra tempérer l'appréciation habituellement portée sur les mathématiques babyloniennes, comme étant de nature purement "algébrique" (voir par exemple Neugebauer 1969, p.42 à 45), et dire que les calculs babyloniens reposent sur quelques méthodes fondamentales, auxquelles l'apprenti scribe est prié de se ramener systématiquement (jusque là tout le monde est d'accord), et que ces méthodes proviennent de la *lecture de quelques figures géométriques très simples* . Vue sous cet angle la géométrie, loin d'être "plutôt insignifiante" ou "seulement l'un des nombreux sujets de la vie courante auxquels peuvent s'appliquer les procédures arithmétiques" (id p.45), est au coeur de toute l'affaire. Il n'existe aucune preuve de ce que j'avance, mais tout de même un parallèle à méditer : certaines méthodes mystérieuses de calcul des textes de la Chine antique sont lumineusement expliquées par Yang-Hui, au 13° siècle, précisément au moyen de diagrammes "d'application des aires" (Lam Lay Yong, p.181 à 185).

Si ce que je viens de dire montre un système implicite, non pas en bonne et due forme, conscient de lui-même comme les "Eléments", le scribe babylonien ne rédige jamais non plus de démonstration : voir est suffisant. Mais en cas de difficultés,*l'analogie* fera l'affaire. Ainsi la "terre" (le volume) d'un tronc de cône (BM 85194, Thureau-Dangin p.29) dont on connaît la circonférence de base et celle du haut, ainsi que la hauteur, est calculée comme suit : 1/2(aire du disque de base+ aire du disque supérieur)xhauteur. Il me paraît clair que puisque la coupe d'un tronc de cône est un trapèze, on a fait l'analogie avec l'aire d'un trapèze : on a en quelque sorte additionné des tranches de trapèzes!

Un autre exemple d'analogie est peut-être le suivant : l'aire d'un segment de cercle d'arc L et de corde h est obtenu ainsi (Thureau-Dangin p.37) : $(L-h)h - 1/2(L-h)^2$ . Or on constate que si l'on applique cette formule au segment de cercle égal au demi cercle, donc avec $L = 3/2d$, suivant le standard babylonien, on obtient une aire de $(3/8)d^2$ , qui est exacte toujours suivant le même standard. On peut donc penser que, par un moyen que je ne vois pas clairement, l'aire du segment de cercle a été déduite par analogie avec celle du demi cercle.

## 7- Conclusion

Un coup d'oeil d'ensemble sur quelques textes mathématiques antiques pré-euclidiens (et j'inclus dans cette catégorie les textes de la Chine des Han) montre partout la connaissance des figures géométriques de base : droite, cercle et polygones, cube, ... mais aucune allusion à des courbes autre que le cercle. L'idée de mesure est parfaitement maîtrisée, et elle signifie au fond qu'il n'y a qu'une seule figure de base dans chaque dimension: le segment en dimension 1, le carré en dimension 2 et le cube en dimension 3. Et on se lance courageusement dans la rectification et la quadrature du cercle. Lorsqu'il s'agit de pures constructions comme chez les Indiens védiques, il y a alors deux figures de base, la droite et le cercle, tous deux obtenus avec un seul instrument, la corde. Après la mesure, le rôle géométrique essentiel des*rapports* de mesures linéaires, comme indicateur de similitude (le terme est évidemment anachronique) est reconnu au moins chez les Egyptiens et les Babyloniens : plusieurs exercices du papyrus Rhind (sous le titre "exemple de calcul d'une pyramide", Chace p.51 et 122) font calculer le "skd", qui est la cotangente de l'angle, exprimée en palme par coudée, connaissant la base et la hauteur, ou bien la hauteur connaissant le "skd" et la base. La même cotangente apparaît à Babylone sous la forme du "fruit" (traduction de Thureau-Dangin) ou de "valeur de la pente" (Böschungswert, traduction de Neugebauer). Des procédures générales de construction ou de résolution existent, même si elles sont rarement explicitées comme telles, et si l'on ajoute cela au fait d'avoir découvert des figures*de base* , à partir desquelles tout se fait ou se mesure, on pourra dire que la systématisation est en bonne voie. On connaît même, en Chine, des tentatives explicites de création d'un corpus avec des définitions, ce qui est tout à fait remarquable et unique : il s'agit du "canon mohiste" du 4° siècle avant JC (Needham p.91) qui donne une définition du point, des lignes d'égale longueur, des parallèles, de l'espace ("l'espace inclut tous les différents lieux"), du rectangle, du cercle et d'autres. Un dialogue de la deuxième partie du Zhoubi suanjing, déjà cité plus haut, montre comment le maître essaie d'inculquer une méthode à son élève :

" La méthode de calcul est très simple à expliquer, mais les applications sont vastes. Cela vient du fait que l'homme *a un sens de l'analogie*, autrement dit après avoir compris un argument particulier on peut en déduire plusieurs sortes de raisonnements similaires...Lorsque d'un exemple on peut faire des déductions sur d'autres cas et que l'on est apte à généraliser, on peut dire que l'on sait réellement calculer. La méthode de calcul est ainsi *une sorte de sagesse* dans l'étude." (Li Yan et Du Shiran, p.28)

Les mathématiques pures commencent à exister, sous la forme de problèmes dont seul le*vocabulaire* est concret, jubilation du maître scribe et torture de l'apprenti. Voilà ce que l'on peut dire avec un regard post-euclidien, purement mathématicien.

Si l'on se tourne maintenant vers l'amont, vers la préhistoire, des conclusions importantes se dégagent : tout d'abord, les connaissances dont nous avons parlé ont toutes un passé lontain attesté, sauf en Egypte. Les auteurs des Sulbasutras ne prétendent jamais être les inventeurs des méthodes, mais font précéder leurs propositions de "telle est la prescription des autorités", ou de "ainsi ont-ils enseigné", ou "ainsi a-t-il été dit" (Bag, p.122).

En Chine " Des essieux de chariots et d'autres objets découverts avec les os divinatoires à Anyang, et datés du 13° ou 12° siècle avant JC, sont décorés de figures géométriques remarquablement complexes, pentagones, heptagones, octogones, polygones de 9 côtés, en combinaisons variées. De nombreux exemples de poteries des Chou et de briques des Han montrent aussi des figures géométriques." (Needham, p.95)

En Mésopotamie aussi, les formes géométriques sont connues bien avant les textes de l'époque de Hammurabi que nous avons évoqués plus haut; plusieurs millénaires avant, on utilisait des jetons (de compte?) de formes diverses et nettement géométriques : sphères, disques, cônes, tétraèdre, rectangles et autres (Denise Schmandt-Besserat). Le contenu des oeuvres est encore lesté de préhistoire, d'esprit primitif dans les aspects suivants: les figures de base, quand ce n'est pas l'oeuvre elle-même, ont une charge mythique prédominante (Inde), ou nettement visible (le Zhoubi suanjing); l'objectif poursuivi n'est pas la cohérence interne d'un système autonome, mais la cohérence globale avec le monde sensible ou rituel, et l'analogie, qui donne des résultats convenables, est une méthode parfaitement admise en mathématiques comme dans la pensée primitive en général.

Il est donc temps de partir à la recherche des "embryons" de mathématiques, enfouis dans la sagesse primitive, et qui se sont transformés en ces "foetus" bien reconnaissables que sont les premiers textes écrits.

-oOo-

## CHAPITRE II

## LE PALEOLITHIQUE INFERIEUR ET MOYEN.

(Jusque vers -35000)

La période est immense en couvrant plus de deux millions d'années; elle voit se succéder trois types d'humains, l'homo habilis, l'homo erectus et l'homme de Néandertal, dit aussi "sapiens neandertalis". Les deux premiers ont vécu au paléolithique inférieur et le troisième au paléolithique moyen que l'on fait généralement débuter cers -100000. L'homme de Neandertal est le prédecesseur immédiat de l'homme actuel, dit "sapiens-sapiens", apparu au paléolithique supérieur. Il ne faut pas trop pourtant se laisser abuser par ces classifications, car si l'on ouvre n'importe quel livre de préhistoire, on sera frappé par les innombrables intermédiaires décelables dans les types humains et dans leurs productions les mieux connues, les outils. Y.Coppens insiste sur le fait que l'homme est arrivé à la forme actuelle sapiens-sapiens par de multiples intermédiaires dont les traits se transforment à des vitesses différentes, ce qui a donné lieu à des débats sans fin dus aux difficultés de classement. Ainsi à Java, a-t-on pu distinguer l'"homo erectus modjokertensis", ascendant de l'"homo erectus-erectus". En Chine, l'"homo erectus pekinensis" a suivi l'"homo erectus lantianensis" (Jelinek 1978, p.80). A Olduvaï, en Afrique orientale, le "protopithecantropus" est l'ancêtre de l'"homo erectus leakeyi" (id, p.85).

Un genre primitif du type sapiens, "homo sapiens steinheimensis", est signalé entre -300000 et moins 250000, et vers -150000 on aurait des "prénéandertaliens" (id, p.89).

Au moyen orient, on a découvert des formes intermédiaires entre néandertaliens et sapiens-sapiens. On vient tout récemment de mettre au jour à Altamura en Italie le plus ancien squelette humain entier d'Europe, estimé à au moins 250000 ans d'âge, intermédiaire entre erectus et néandertal ("Le Monde" du 2 juin 1994).

Les dates sont très controversées, la manie classificatoire évoquée par Coppens peut provoquer des difficultés, on peut aussi soutenir des scénarios d'évolution plus compliqués que la simple ligne droite habilis-erectus-sapiens, mais on ne peut plus mettre en doute, et c'est important pour notre propos, l'évolution d'une *même espèce humaine* jusqu'au type actuel, le nôtre : "L'évolution du genre homo depuis deux millions d'années semble être continue de sorte qu'il est difficile de séparer des espèces de façon catégorique." (Howells, p.52).

Les formes géométriques que nous allons voir apparaître et se développer sont donc le fruit d'un travail conscient, d'une recherche à l'aide d'un cerveau dont les capacités augmentent. Comme le dit Coppens, l'industrie humaine, de simple imitation de ce que font d'autres animaux, va devenir "réfléchie" et "porteuse d'un projet"; l'homme, à partir d'un certain stade, est "le seul primate que caractérise l'association avec un outillage permanent et abondant qu'il a délibérément aménagé pour son propre usage." (Coppens, p.107). Les formes ont donc une *histoire* que nous allons esquisser. Elles n'ont rien à voir avec les créations "instinctives" de certaines espèces animales comme les cellules d'une ruche ou les galeries d'une fourmillière. Si l'archéologie montre que, au cours du temps, l'outil lithique passe de la forme A à la forme C en passant par la forme intermédiaire B, il faut conclure aux progrès et aux découvertes dus aux travaux d'une seule espèce et non à des formes diverses créées spontanément par des espèces animales distinctes, programmées génétiquement pour produire les outils A, B ou C.

Seul l'homme fait de la géométrie à proprement parler, soit qu'il crèe des formes au cours de son travail, après les avoir imaginées, soit qu'il les analyse. Il me semble erroné de dire, comme Coolidge, qu'"en fait, il y aurait eu de la géométrie s'il n'y avait pas eu du tout d'Homines Sapientes" (Coolidge, p.1). Dans le même ordre d'idées, des remarques comme celles de Smith sont pour le moins ambigües :

"L'araignée semble reconnaître à la fois les polygones réguliers et la similitude des figures en tissant sa toile, et l'abeille suit les lois des maxima et minima en construisant les cellules de cire de la ruche. Aucune bête n'est assez stupide pour ne pas savoir que la ligne droite est le chemin le plus court d'un point à un autre, et peu d'oiseaux manquent d'observer le principe de symétrie dans la structure de leur nid." (Smith, vol 1, p.5).

L'araignée ne "reconnaît" rien du tout et l'oiseau n'"observe" aucune loi. Les animaux, comme d'ailleurs l'ensemble de la nature inanimée, *subissent* des lois naturelles dont nous analysons les effets formels en termes de géométrie. L'homme, lui, est à ses commencements beaucoup plus "stupide" que la moindre bête; il lui faudra un temps fou pour arriver à *concevoir* la spirale de l'araignée ou l'hexagone de la cellule de cire. Mais il les concevra, précisément, et ceci au bout d'un long chemin jalonné à l'origine d'outils lithiques presque informes. Aucun historien des mathématiques ne s'est intéressé à cette longue étape de la préhistoire de la géométrie, et les deux auteurs précités sautent des formes extraordinaires rencontrées *dans la nature* aux poteries néolithiques (Smith) ou aux tablettes babyloniennes (Coolidge).

Il est vrai que de ces hommes archaïques du paléolithique inférieur et moyen, et dont nous voulons retracer des éléments d'activité géométrique, nous ne savons rien ou presque. On ne sait pas s'ils avaient un langage articulé et on ignore tout de leur vie sociale. Il serait vain de se tourner vers les primitifs actuels, puisque tous sont des "sapiens-sapiens", et les tentatives un peu folles de certains savants de l'ex-URSS pour retrouver un yéti-homme de Néandertal n'ont rien donné jusqu'à présent. Tout comparatisme ethnographique est par conséquent exclu.

Nous serons donc contraints de scruter ce qui nous reste d'eux, à savoir des outils lithiques en grande quantité et quelques traces supposées d'habitat. Au premier abord l'enquête est décevante et la tentation est grande de compter pour rien, en ce qui concerne la création des formes dans les outils de pierre, toute la période du paléolithique et de sauter aux fameux microlithes géométriques du mésolithique. Piel-Desruisseaux (p.272) fait un graphique saisissant en ramenant à 24 heures toute la période qui va de -2,6 millions d'années à l'âge des métaux: les 23 premières heures ne nous amènent qu'au début du paléolithique moyen avec une évolution bien modeste, puisqu'en partant du simple galet taillé on arrive au biface certes quelquefois magnifique, mais dont les formes sont relativement peu variées. En y regardant toutefois de plus près on peut faire, me semble-t-il, quelques remarques intéressantes.

## 1- Du chopper au biface.

Les premiers outils lithiques humains sont des galets taillés sur un ou deux bords, caractéristiques de la période que l'on tend à appeler "paléolithique archaïque", antérieure à -1,4 millions d'années en Afrique:

" Le choc est appliqué sur l'un des bords, perpendiculairement à la surface, et détache un éclat qui laisse sur le galet un tranchant vif; deux ou trois éclats successifs font un tranchant plus long et sinueux. Appliquée sur une seule face, l'opération donne naissance au 'chopper', appliquée sur les deux faces elle détermine un 'chopping-tool'." (Leroi-Gourhan 1964, p.133).

C'est ce que Leroi-Gourhan appelle l'industrie du premier stade qui ne nécessite qu'un seul geste; la forme du tranchant est aléatoire et la forme générale de l'outil est à peine distincte de celle du galet (fig.II-1). D'après Piel-Desruisseaux (p.65), ces objets tiennent dans la main d'un homme moderne ou un peu plus petite; "un galet moyen d'Afrique du Nord est plus large (7,5 cm) que long (7 cm), épais de 5 cm et pèse de 200 à 250 grammes". On peut même déceler une progression vers le stade suivant, celui du biface, puisque "l'évolution de cet outil, observée dans des couches déposées durant un million d'années, montre que l'angle du bord taillé devient de plus en plus aigu et que la longueur du tranchant augmente." (Piel-Desruisseaux, p.66)

L'industrie du deuxième stade, qui durera jusqu'au début du paléolithique moyen, nécessite cette fois-ci deux types de gestes: une frappe tangentielle, et non plus perpendiculaire, pour obtenir des éclats plus longs et plus fins, puis le travail de retouche du galet ou du bloc de pierre (Leroi-Gourhan 1964). En s'appuyant sur les travaux de Bordes, repris par Piel-Desruisseaux, on peut conjecturer une progression de l'industrie du deuxième stade, qui est principalement celle de la confection des bifaces et la naissance du travail sur éclats. La caractéristique commune des bifaces est d'être taillés sur leurs deux faces, par retouche totale ou au moins envahissante. Les bords sont rectilignes, convexes ou concaves et l'arête latérale est sinueuse ou plus ou moins rectiligne en fonction de l'importance de la retouche. Leur taille (hauteur?) moyenne est de 12 à 15 cm, mais il en existe de plus de 20 cm et certains de quelques cm. L'importance des bifaces vient de ce qu'ils sont les outils caractéristiques du paléolithique inférieur, à partir de -1,4 millions d'années en Afrique et de -750000 ans en France; mais on ignore leur fonction précise.

Les premiers bifaces, dits "abbevilliens" (fig.II-2), sont "grossiers, épais, à arêtes très sinueuses" (Bordes); ils sont taillés dans des pierres dont ils gardent la forme générale. Ils témoignent pourtant d'un premier effort pour s'émanciper de la forme naturelle de la matière première de base, puisque le biface, même le plus grossier, est entièrement ou presque entièrement retouché; le tranchant, qui était de 60 cm par kilogramme de matière pour les chopping-tools, selon les calculs de Leroi-Gourhan, passe à 120 cm. Il me paraît difficile de parler encore de création de forme déterminée et de réelle recherche de symétrie.

Viennent ensuite, à la période dite "acheuléenne", des bifaces de plus en plus sophistiqués. Les "ficrons" (fig.II-3) (Piel-Desruisseaux, p.75) ont une allure grossièrement triangulaire, l'arête vue de profil est encore assez sinueuse et ils peuvent garder des zones de cortex. L'évolution se poursuit dans deux sens, d'abord par une plus grande netteté des formes des deux arêtes (encore symétriques dans l'écrasante majorité des cas) vues de face, ensuite dans leur affinement, vues de profil, en devenant des courbes assez régulières ou de plus en plus droites. Les ficrons évoluent en bifaces "lancéolés" (fig.II-4) dont la forme triangulaire devient précise et dont l'arête latérale (=vue de profil) se rapproche du droit; je veux dire par là que le tailleur a manifestement cherché à la rendre droite, par des retouches très fines ou par un choix savant des points et des angles de frappe, contrairement au cas du ficron. Les bifaces "micoquiens" ont des arêtes vues de face légèrement concaves et sinueuses vues de profil. Parallèlement aux lancéolés et micoquiens, apparaissent les bifaces cordiformes (en forme de coeur) et ovalaires (fig.II-5), beaux objets dont les arêtes vues de face sont bien symétriques et souvent rectilignes vues de profil. Enfin, à l'extrême fin de la période, nous avons les fameux bifaces triangulaires (fig.II-6) de bords réellement rectilignes et dont les symétries sont impeccables. D'après Bordes (p.78), ils dérivent des bifaces lancéolés de l'acheuléen supérieur.

## 2- Boules et "boules polyédriques".

Le paléolithique inférieur a donné aussi dès le début, alors que les bifaces évoluent lentement à partir des chopping-tools, des boules ou des boules polyédriques (fig.II-7); il est également remarquable que l'on puisse trouver des "sphéroïdes" de pierre datant d'il y a plus d'un million et demi d'années (Nougier p.16), alors qu'il faudra attendre la fin du paléolithique inférieur pour voir quelques bifaces vraiment discoïdes. Ces boules sont "des objets en silex, quartzite, etc..., de forme générale polyédrique tendant vers la forme sphéroïdale. Ils se rencontrent dès le début du paléolithique jusqu'à l'acheuléen supérieur ou moustérien de tradition acheuléenne" (Bordes, p.93). Sur un site chinois daté de -600000, on a mis au jour trois boules de pierre, "dont une est presque parfaitement ronde. Elle pèse 1,035 kg et a un diamètre moyen de 9 cm. On peut encore distinguer sur la surface les traces de chocs et de ponçage...La plus grande découverte de cette époque est certainement la boule de pierre qui améliore considérablement la panoplie du chasseur.." (Jia Lanpo, p.69). Le moustérien (=paléolithique moyen) livrera de telles boules en quantités incroyables : on en a trouvé en Chine des tonnes de toutes les tailles sur un même site, souvent disposées en tas (id. p.102). On en connaît aussi en Charente, dont beaucoup sont de la grosseur d'une balle de tennis; en Chine, on l'a vu, elles sont disposées en tas que l'auteur ne décrit pas. Mais on a découvert en Tunisie "un cairn de 75 cm de haut et de 1,50 m de diamètre composé de près de 60 boules de pierre. Les plus petites et les plus parfaites de forme étaient au sommet. Les pierres de base n'étaient que très grossièrement sphériques, elles formaient un cercle." (Giedon, p.102)
Le gisement moustérien chinois a donné, d'après Jia Lanpo, des boules en cours d'achèvement, ce qui éclaire leur mode de fabrication : on leur donnait "d'abord une forme grossièrement ronde en frappant avec une autre pierre; ensuite, il supprimait toutes les aspérités en donnant de petits coups nettement plus précis avec une plus petite pierre; enfin il les ponçait en les frottant contre le sol ou un rocher." (Jia Lanpo p.102). Cette analyse est aussi celle de Garanger (p.583) pour l'acheuléen africain : "cette pièce (la bola), entièrement sphérique, est le plus souvent une boule à facettes ou polyèdre sphérique dont les arêtes des faces ont été écrasées volontairement par un piquetage régulier plus ou moins systématique. Le diamètre de 70 à 80 mm et le poids de 600 à 800 grammes donnent parfois l'impression que ces pièces ont été calibrées. Elles sont fréquentes à l'acheuléen supérieur."

## 3- L'industrie sur éclats.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que du premier aspect de l'industrie du deuxième type, selon la terminologie de Leroi-Gourhan, à savoir la taille du galet ou de la pierre pour en faire une boule ou un biface. Le deuxième aspect apparaît au cours du paléolithique inférieur mais reste très secondaire; il va prendre une place grandissante, jusqu'à supplanter complètement le premier au moustérien. C'est celui de l'industrie sur éclats. Elle démarre timidement avec les premiers "débitages Levallois" à l'acheuléen supérieur, "sera importante au paléolithique moyen... et durera avec des variantes jusqu'à l'apparition des métaux. Son but est d'obtenir des éclats, des lames, des pointes de morphologie particulière, appelées 'Levallois'. L'éclat Levallois a une forme prédéterminée par une préparation spéciale du nucléus avant enlèvement de cet éclat." (Piel-Desruisseaux, p.27). La documentation fournie par Bordes montre principalement des pointes de forme générale triangulaire (fig.II-8) offrant une belle symétrie et dont les bords sont parfois retouchés. Ce qui me paraît important, c'est que l'industrie sur éclats va évoluer en donnant des formes de plus en plus libérées de la forme naturelle de l'éclat ou du nucléus; le tranchant par kilogramme de matière utilisée passe, selon Leroi-Gourhan, à 5 mètres, *ce qui indique aussi à quel degré le tailleur a réussi à imposer à la matière des formes préexistantes dans son cerveau.*. Les racloirs (fig.II-9) de la fin de l'acheuléen ou du moustériens associent librement des bords droits-concaves, droits-convexes, double droits, biconvexes, convexes-concaves et biconcaves (Bordes, planches 18 et 19), ce qui est bien supérieur à la forme spontanément triangulaire des pointes Levallois; même degré très élevé d'intervention géométrique humaine dans les pointes moustériennes (fig.II-10) trouvées en Algérie (Bordes, planche 44).

4- L'habitat.

A propos de la culture matérielle des hommes archaïques, nous pouvons encore dire quelques mots de leur habitat, ou supposé tel, puisque nous en avons quelques traces isolées : " L'âge du premier abri humain, ou première habitation rudimentaire, si on peut le qualifier ainsi, est estimé à 1,7 millions d'années. La première découverte de ce type a été faite à Olduvai : L.S.B. Leakey y a exhumé des pierres disposées en cercle de 5 mètres de diamètre." (Jelinek 1989, p.26).

Ces traces sont très peu nombreuses, puisque Jelinek n'en signale qu'une autre. On peut tout de même penser que "l'habitat" fut généralement circulaire; "des rares observations faites, il paraît évident que les Néandertaliens possédaient des huttes...Lorsque les observations sont faites, on s'aperçoit que l'industrie découverte en plein air répond à ces zones plus ou moins circulaires, restes d'anciennes cabanes...Les Paléanthropiens vivaient dans un cercle de quelques mètres sur le pourtour duquel ils repoussaient progressivement les débris de leur consommation alimentaire." (Leroi-Gourhan 1964, p.148). Comme l'habitat rectangulaire n'apparaît que très tardivement dans l'histoire humaine connue, au 9° millénaire au moyen-orient, il est permis de conjecturer que l'"habitat", lorsqu'il a existé, a adopté la forme ronde depuis les premiers temps humains jusqu'au début du néolithique.

## 5- Conclusions.

Nous allons essayer maintenant de dégager quelques enseignements quant à l'activité géométrique de nos ancêtres archaïques, tout en ayant conscience de la fragilité des sources actuelles. Nous ne disposons pratiquement que des outils de pierre, mais il est probable qu'ils utilisaient aussi le bois : Jelinek (1989, p.37) fait état d'une pointe de javelot en bois découverte dans une couche du pléistocène moyen, c'est à dire antérieure à -100000 ans. Il n'existe pas d'autre part, à ma connaissance, d'étude statistique de grande envergure concernant les dimensions des outils, en général, sur un site donné ou dans une région donnée; pas de statistique non plus concernant les fréquences de tel ou tel type d'outil sur les divers sites. On peut signaler enfin la tendance des premiers fouilleurs à ne ramasser que les "beaux" outils, ce qui peut mener à des conclusions exagérées. Voici cependant quelques conclusions, assez générales pour ne pas trop forcer nos sources imparfaites, mais à mon sens suffisamment solides pour nous fournir une sorte d'inventaire du "matériel géométrique" à la disposition de l'homme du début du paléolithique supérieur, l'homo sapiens-sapiens. Nous ne ferons d'ailleurs que reprendre, en les détaillant et en les systématisant, des thèmes fréquents chez les préhistoriens.

Ainsi dans le recueil dirigé par Garanger : " Ce sont seulement les traits technologiques qui peuvent être associés à une évolution dans le temps: les bifaces épais, irréguliers, à une seule génération d'éclats, tranchant sinueux et importante réserve corticale précèdent généralement les bifaces minces, réguliers, à tranchants rectilignes et retouches secondaires." (p.303). Ou encore, "ils (les bifaces) tendent (au paléolithique inférieur récent), à être plus minces, avec des arêtes plus rectilignes et soigneusement régularisées au percuteur tendre." (p.531) De même encore en Afrique "Les arêtes ont tendance à s'affiner et à devenir rectilignes, bien que certaines présentent une courbe en S étiré, bifaces dits à arêtes torses ou twist..." (p.581).

Cette "quête" du rectiligne me paraît en effet caractéristique, j'y reviendrai, mais cela vaut la peine, avant de passer à mes propres conclusions, de faire état de l'enthousiasme à coup sûr excessif de Jelinek : " L'intelligence et les capacités de nos aïeux ne se manifestent pas seulement par les étapes évolutives de leur cerveau. Si nous considérons attentivement le biface, outil caractéristique de l'acheuléen qui accompagne fréquemment les restes d'Homo erectus dans les gisements d'Europe occidentale, d'Afrique, de l'Est et du Sud asiatiques, nous pouvons constater sa parfaite symétrie sur le plan vertical. Si nous le tournons de 90°, nous remarquons qu'il est aussi symétrique sur l'autre plan vertical, perpendiculaire au premier. Les coupes transversales, en forme de lentille, sont également symétriques. Il est évident que le fabricant de cet outil avait maîtrisé *la conception dite euclidienne de l'espace. Et s'il la maîtrisait en taillant ses outils, il devait savoir l'appliquer pour évaluer les distances et* *pour se situer dans l'espace tridimensionnel.* (souligné par moi)." (Jelinek 1989, p.38). Je ferai seulement observer que nous retrouvons chez Jelinek le contre-sens déjà relevé plus haut, qui, de notre analyse actuelle des pierres taillées, infère que les anciens hommes partageaient les concepts de base de cette analyse.

### a- Création de formes.

Pendant les centaines de milliers d'années que nous venons de passer en revue, on assiste à la lutte laborieuse et opiniâtre de l'homme pour imposer à la pierre des formes simples voulues par lui, en opposition à l'anarchie des formes naturelles. Au désordre naturel il substitue progressivement la standardisation, la régularité; contre la variété des contours naturels, qui se présente spontanément comme une anarchie informe, il va créer *sa propre variété faite de combinaisons de formes simples.* Ainsi, nous l'avons vu, le galet ou la pierre d'origine vont devenir progressivement méconnaissables; il va d'abord se transformer en biface rudimentaire où l'on reconnaît une forme grossièrement triangulaire et la recherche d'une certaine symétrie, puis les retouches de plus en plus précises et l'accroissement de la longueur de tranchant par unité de matière utilisée témoignent d'un succès croissant dans la sculpture de formes voulues, *préexistantes* dans le cerveau de l'opérateur, puisque les formes de ce tranchant sont de plus en plus reconnaissables et s'éloignent des hasards des coups de percuteur des débuts. Les symétries sont de plus en plus nettes, nous en reparlerons, des segments de droites sont créés ( arêtes rectilignes, bifaces triangulaires), des boules polyédriques on passe aux boules sphériques, on a aussi de beaux ovales ou des cordiformes. Les formes sont en nombre encore assez restreint et marquées par une dictature de la symétrie. Nous voyons ensuite, à la fin du paléolithique inférieur et durant le paléolithique moyen, une explosion de formes nouvelles et une liberté accrue dans leur agencement. Ce phénomène est lié à l'apparition de l'industrie sur éclats, plus fins et probablement plus faciles à retoucher. Une bonne frappe peut même donner directement un bel éclat Levallois triangulaire, comme nous l'avons vu. Les racloirs sont la preuve que l'on sait désormais dessiner des bords variés en s'émancipant de la symétrie de plan vertical : un côté droit peut faire bon ménage avec un autre courbe, un concave avec un convexe, un légèrement convexe avec un très convexe etc...(fig.II-9). Certaines pointes moustériennes enfin montrent des dessins encore plus complexes (fig.II-10).

En intitulant ce paragraphe*création* de formes (dans la matière brute), je ne cherche pasfaire passer en douce un a-priori philosophique idéaliste de type platonicien qui veut que l'homme imite des formes parfaites existantes dans un mystérieux monde des idées pures. Mais il est frappant et incontestable que l'homme archaïque*impose ses* formes au matériau brut, il viole la nature, il détruit la forme naturelle pour fabriquer une forme qui ne peut donc être qualifiée que d'artificielle. Les bords de ses outils sont des*approximations de plus en plus fines* et plus lisses de courbes précises, pour autant que le permet la technique de frappe. Mais quelle est l'origine de ces formes? Les a-t-on copiées dans la nature, et où, et dans ce cas pourquoi précisément celles-ci? Sont-elles des créations intellectuelles dont la source est à chercher dans quelque propriété du cerveau? Ou sont-elles le fruit d'une interaction constante entre la main et le cerveau? Autant de problèmes très difficiles, et il faut reconnaître que l'enquête que nous venons de mener ne suffit pas pour y répondre. L'ethnologue F.Boas, un des rares savants à avoir osé aborder le problème, avance des idées intéressantes :

" Il ne semble pas que la nature offre des idéaux formels — des types fixes qui sont imités — sauf quand un objet naturel est utilisé dans la vie de tous les jours; lorsqu'il est manipulé, et peut être modifié, par un processus technique. Il semblerait que c'est seulement par ce biais que la forme s'imprime dans le cerveau humain." (Boas, p.11) "L'expérience technique et l'acquisition d'une virtuosité ont probablement mené à la prédominance générale du plan, de la ligne droite et des courbes régulières telles que le cercle et la spirale, car ces formes sont peu présentes dans la nature, si peu en vérité qu'elles auraient par elles-mêmes peu de chances de s'imposer à l'esprit... (l'essentiel) semble être la possession d'une technique parfaite qui implique une grande précision et une grande régularité de mouvement. Celles-ci en soi doivent nécessairement conduire à des lignes régulières." (id., p.31 et 32)

Si j'ai bien compris, Boas fait dépendre la régularité de la ligne de celle du geste créateur de l'outil. En tout cas ce qu'il affirme quelques lignes plus loin va dans ce sens : "lorsque l'artisan tourne le pot qu'il fabrique et que son mouvement est tout à fait régulier, le pot sera circulaire" (id.). Mais pour ce qui concerne le tranchant de l'outil de pierre, on ne voit pas bien comment cette théorie peut s'appliquer; car le tranchant, rectiligne par exemple, n'est pas dû à un geste unique et régulier, mais au contraire à des dizaines de petits gestes irréguliers de retouches et d'enlèvements d'éclats. Le potier, par son geste, épouse la forme circulaire de l'objet futur, tandis que le tailleur paléolithique fait sauter ses éclats avec un percuteur dans la direction perpendiculaire à celle du tranchant désiré : dans ce cas-ci, le geste effectif est complètement distinct de la forme achevée.

Autre théorie : il serait possible que la régularité des formes provienne des contraintes d'utilisation des outils. Keeley a fait des recherches sur les fonctions des outils de silex du paléolithique inférieur anglais, à partir de leurs micro-usures révélées par un grossissement de 100 et plus. Un de ses collègues lui a soumis des répliques d'outils utilisés diversement, à charge pour Keeley de deviner leur usage grâce à sa technique; il a répondu correctement dans 75% des cas, ce qui donne un certain poids à ses conclusions. Malheureusement celles-ci sont assez vagues : des bifaces ont servi pour la boucherie, pour travailler le bois et des peaux, percer le bois et les os, et accessoirement couper des végétaux. L'examen d'un biface "révéla que l'usure ne pouvait être due qu'à un mouvement rotatif, tel que le forage : on avait fait tourner l'outil dans le sens des aiguilles d'une montre en le comprimant en même temps de haut en bas. Des traces similaires d'usure apparaissent également sur des éclats servant à percer des trous" (Keeley, p.69). Les éclats sont aussi utilisés à l'abattage des bêtes, au travail du bois, des peaux et parfois des os. Il ressort de tout ceci que des outils de formes variées ont grosso modo les mêmes fonctions, autrement dit que les contraintes d'utilisation ne suffisent pas à expliquer la forme : le mystère de la forme reste donc entier.

b-Agencement symétrique des formes.

Le trait le plus frappant des formes créées par l'homme, et cela va bien au delà des seuls outils lithiques, est leur agencement symétrique. Boas s'est naturellement intéressé à ce problème, et a essayé, dans la logique de la thèse que nous venons de citer, de l'expliquer à partir des mouvements : "Les causes qui ont amené un usage largement répandu des formes symétriques sont difficiles à comprendre. Les mouvements symétriques des bras et des mains sont déterminés physiologiquement. Les membres de droite et de gauche peuvent bouger symétriquement...Je suis tenté de prendre cette condition pour l'une des causes fondamentales, d'importance égale à la vision de la symétrie du corps humain et de celui des animaux; non que les motifs soient faits par la main droite et la main gauche, mais que la sensation des mouvements de droite et de gauche conduisent à une sensation de symétrie" (Boas, p.33).

Boas remarque aussi que dans la grande majorité des cas, la symétrie est d'axe vertical, et beaucoup plus rarement d'axe horizontal; c'est bien ce que nous constatons dans les outils (fig.II-4, II-5, II-6, II-8). Il attribue cela à la "rareté des formes naturelles qui ont une symétrie verticale" (il entend par là une symétrie d'axe horizontal, les deux moitiés étant l'une en dessous de l'autre). On voit que si Boas a refusé la copie de la nature pour expliquer l'origine des formes de base, il voit en revanche dans cette même nature la source des symétries, soit comme nature physiologique (symétrie du corps humain), soit comme paysage (rareté des formes naturelles"symétrie verticale"; mais n'abondent-elles pas au contraire, avec les reflets dans les lacs ou les rivières?). Je ne trouve pas ce dualisme convaincant, car il implique que l'homme aurait bien créé des formes de base, mais que leurs combinaisons par symétrie seraient en dernière analyse "naturelles".

Quoi qu'il en soit le phénomène de la symétrie me paraît curieux. Prenons par exemple le biface lancéolé de la figure II-4; on y observe deux plans perpendiculaires de symétrie : le premier, celui de la symétrie de l'outil vu de face, n'a aucune existence physique; la symétrie est réalisée par rapport à un plan purement imaginaire. C'est "à peu près pareil des deux côtés", mais des deux côtés d'un plan qui n'existe que dans le cerveau de l'opérateur, et que l'on ne cherche pas à réaliser matériellement dans la pierre. Comment le faisait-on? Simplement au jugé, ou avec quelque chose qui ressemble à une mesure? Le second plan de symétrie de l'outil vu de profil est au contraire matérialisé par l'arête latérale; l'évolution

générale montre que l'on cherche à rendre l'arête de plus en plus droite, c'est à dire à matérialiser de plus en plus finement le plan correspondant. Ici, on peut faire un débitage "à peu près pareil des deux côtés" d'une ligne physique.
Je dirai que la symétrie est une opération purement cérébrale puisque le plan n'a pas besoin d'être matérialisé, et lorsque celui-ci l'est, c'est tardivement. C'est donc le besoin de symétrie qui a conduit à la réalisation du plan.

c- Le droit et le courbe.

La ligne droite, comme le plan, apparaît comme une conquête difficile alors que la ligne courbe semble plus naturelle. Assez rares et tardifs sont les bifaces dont l'arête vue de profil peut être qualifiée de rectiligne; comme nous l'avons signalé plus haut, les préhistoriens voient cela comme un aboutissement et non comme un donné immédiat. Encore plus rares et tardifs sont les bifaces à arêtes vues de face rectilignes (bifaces triangulaires). Les formes courbes sont beaucoup plus précoces et plus nombreuses, donc obtenues plus spontanément. Ce n'est qu'à la fin du paléolithique inférieur et au cours du paléolithique moyen que le droit entre en force dans la panoplie des formes d'outils : arêtes des pointes moustériennes, côtés des racloirs et arêtes supérieures de hachereaux. Signalons en passant que l'angle droit est rarissime; il apparait dans certains racloirs et grattoirs; Bordes reproduit un "biface carré" en ajoutant: "type rare" (fig.II-11).

d- Boules et disques.

On peut comprendre comment,partir de "boules polyédriques", suivant l'expression curieuse des préhistoriens, on est arrivédes objets méritant le nom de boules. Il fallait pour cela tailler le polyèdre jusqu'à ce que, placé dans une main, on ne sente plus d'aspérité et qu'il y tienne la même place quelque soit la façon dont on le prend. Dans ce sens, le sphérique est en quelque sorte affaire de sensation, ce qui expliquerait qu'il soit très précoce, -600000 en Chine par exemple, alors que les disques de pierre, "bifaces discoïdes", sont à ma connaissance plus rares et plus tardifs, et que de véritables disques, en os, n'apparaissent que beaucoup plus tard au paléolithique supérieur. Cela rejoint ce que j'ai dit plus haut sur la conquète difficile du plan. Le rond enfin est typique de l'"habitat" primitif, et le restera encore jusqu'au début du néolithique.

e- La mesure.

La mesure est un élément spontanément présent dès le début, sous forme rudimentaire et sans aucun besoin de nombre, puisqu'il faut bien que le galet destiné à la taille tienne dans une main, sorte "d'unité" spontanée de volume. L'exigence de mesure, ou plus plutôt *d'égalisation* , se fait plus pressante dans la recherche de symétrie des bifaces; que celle-ci se construise simplement "au jugé" ou de façon plus précise, nous n'en savons rien. Certains auteurs enfin n'hésitent pas à parler de calibrage, nous l'avons vu à propos des sphères africaines, voire même de standardisation au paléolithique moyen. Si elle est réelle, la standardisation suppose la forme rudimentaire de mesure que sont la comparaison et l'égalisation des dimensions. Le diamètre de la boule en cours de fabrication doit être le même que celui des autres, et de même pour la largeur, la hauteur et l'épaisseur du biface. Mais en l'absence de vraies statistiques sur les tailles des outils préhistoriques, toutes ces conjectures me paraissent extrêmement fragiles.

Je dirais en conclusion générale de ce chapitre que l'homme du paléolithique n'a pu voir l'apparence des choses naturelles, tel le paysage qu'il avait sous les yeux, comme un agrégat de formes simples qu'il n'aurait plus eu qu'à copier. En créant des formes de base (plan, segment de droite, angle droit, triangle...), il a au contraire imposé à la matière ses propres standards. En les agençant par symétrie, puis plus librement, il a imposé sa variété ordonnée face à l'infinie diversité des contours visibles. C'est bien l'artifice humain qui a produit dès le paléolithique inférieur les formes et leurs combinaisons, fondements de toute géométrie.

-oOo-

Note : les figures du chapitre II sont des dessins recopiés dans Bordes; la réduction par rapport à l'objet réel est de 58%.

## CHAPITRE III.

# LE PALEOLITHIQUE SUPERIEUR
(De -35000 à -10000 environ).
## PRIMITIFS CHASSEURS-CUEILLEURS.

Au paléolithique supérieur, le "paysage est tout nouveau, je veux dire par là que la documentation est beaucoup plus vaste et qu'elle change complètement de nature. Certes il nous reste des outils, comme dans les périodes précédentes, et même plus nombreux et surtout plus variés; les traces d'habitat sont plus importantes.
Mais essentielle par elle-même et pour notre sujet est l'apparition des représentations, première nouveauté dans la documentation; l'homme ne se contente plus de créer des formes en sculptant une pierre, mais il les détache en quelque sorte de leur support naturel pour les dessiner ailleurs, en gravant une roche, en incisant un outil d'os ou de bois, ou en peignant une paroi.
De plus, le type physique des hommes du paléolithique supérieur est le même que le nôtre — homo sapiens-sapiens —, et leur mode de vie est décrit comme celui de "chasseurs-cueilleurs", par opposition aux éleveurs-agriculteurs qui viendront beaucoup plus tard au néolithique. Or il existe encore, ou il a existé récemment, des primitifs chasseurs-cueilleurs étudiés par les ethnologues dont les travaux nous aideront à remettre dans leur contexte les documents du paléolithique supérieur : c'est la deuxième grande nouveauté dans la documentation, par rapport aux périodes précédentes. Cette méthode, que l'on appelle le *comparatisme ethnographique,* va désormais devenir capitale dans notre tentative de "traquer" la géométrie de la préhistoire.
Le comparatisme ethnographique n'est pas une méthode acceptée par tous et dans le monde des historiens des mathématiques ses adversaires les plus déterminés sont les "ethnomathématiciens" — voir par exemple M.Ascher et P.Gerdes —.Je n'aborderai pas ici ce débat important; on pourra en trouver les éléments dans un travail "L'ethnographie comme source pour l'étude de la préhistoire des mathématiques", à paraître sous peu et que j'ai réalisé dans le cadre du séminaire "Méthodologie en histoire des sciences" dirigé par E.Brian à l'EHESS (1994).
Dans ce chapitre, je décrirai en premier lieu les outils du paléolithique supérieur européen en m'intéressant comme précédemment à leur aspect géométrique; j'aborderai ensuite les

représentations sur bois, sur os ou sur pierre. Puis grâce aux aborigènes australiens, abondamment étudiés et décrits par les ethnologues, nous verrons qu'il est possible, sans extrapolation hasardeuse, de “faire parler” les documents préhistoriques.

1- Les outils de pierre et d'os.

La description qui suit est largement inspirée du résumé de Piel-Desruisseaux (p. 262 et suivantes). Un bon nombre de types d'outils du paléolithique supérieur sont déjà connus dans les périodes antérieures, mais ils n'étaient alors que des "précurseurs"; ils sont fabriqués désormais en grande série, standardisés, diversifiés en types dérivés et sous-types.
Au **Châtelperronien** (-34000-30000), il y a encore du "matériel de type moustérien" comme des racloirs et de petits bifaces mais aussi des éléments nouveaux comme une lame pointue à bord courbe appelée couteau de Châtelperron. Ils mesurent de 45 à 50 mm, avec des extrêmes de 33 à 75 mm. Un matériel osseux apparaît, mais il est rare, fait de poinçons et de courtes pointes de sagaies. Déjà cependant, la technique du débitage de baguettes d'os par double rainurage est reconnue: on *dessine* d'abord sur l'os, avec un petit outil de pierre, deux sillons parallèles qui se recoupent ou non aux extrémités, puis on approfondit le dessin en rainure et on extrait la baguette. On connaît, mais daté du Magdalénien, un tronçon de bois de renne qui montre un début de rainurage (Piel-Desruisseaux, p.217), avec deux lignes parallèles qui se rejoignent à une extrémité. Voilà une technique remarquable et dont nous reparlerons un peu plus loin.
A l'**Aurignacien** (entre -33000 et -26000), on a une abondance de "grattoirs", objets définis par Bordes commes des "objets présentant une retouche dégageant un front de forme plus ou moins semi-circulaire" (id., p.96); certains, probablement rares sinon Bordes ou Piel-Desruisseaux les auraient signalés, sont entièrement circulaires vus de face (id., p.99) (fig.III-1). Ce sont des outils de 34 cm de haut environ. On assiste au plein développement de l'industrie de l'os et du bois de cervidés : divers types de sagaies et les premiers "bâtons percés" apparaissent. Voilà de nouveau un point important. Les bâtons percés (fig.III-2), en bois de rennes, sont probablement utilisés, suivant l'opinion de Leroi-Gourhan reprise par les préhistoriens, "pour établir à chaud, par flexion, la rectitude des sagaies et des harpons...en raison de l'existence d'outils semblables utilisés par des Esquimaux et des Indiens" (id., p.231). Les sagaies ont une longueur de 5 à 40 cm; une fois extraite de l'os et redressée à chaud par flexion en la passant dans l'orifice du bâton percé, "sa section étant quadrangulaire, elle sera façonnée par raclage avec le flanc d'un burin en un long cylindre" (id., p.219). Ce qui est remarquable, et inconnu aux périodes antérieures, c'est la complexité de la chaîne opératoire qui conduit au produit fini : d'abord il faut *dessiner* l'objet sur l'os, l'extraire et le rectifier , puis *transformer sa section* en une section circulaire ou ovale. Le deuxième aspect

qui me paraît intéressant, c'est l'orifice circulaire du bâton percé; car des bâtons inachevés ont permis de reconnaître deux modes de percement, le premier par "pression" que l'on reconnaît par des stries qui s'entrecroisent ou convergent vers le trou partiellement ouvert, le second par rotation et "deux cônes opposés par le sommet...portent les traces du mouvement rotatif de l'outil et les stries circulaires sont encore visibles sur les parois antérieures" (Mons, cité par Piel-Desruisseaux, p.229). Nos ancêtres qui recherchaient visiblement la perfection des formes n'ont pas pu ne pas être frappés par ces stries circulaires qui se resserrent autour du sommet du cône,*centre* commun de toutes ces stries lorsque l'objet est vu de face (fig.III-3).

Le **Gravettien** (entre -27000 et -19000) a pour pièce caractéristique la pointe gravetienne, pièce dont "les deux bords...sont à peu près parallèles" (Breuil cité par Demars et Laurent, p.100); les illustrations de l'ouvrage cité montrent des pièces plates, avec deux bords parallèles vus de profil (fig.III-4). Elles ont de 5 à 12 cm de haut et de 3 à 5 mm d'épaisseur. On a aussi des burins, des pointes pédonculées etc...et le matériel osseux est plus pauvre que dans les niveaux aurignaciens.

Le **Solutréen** (entre -20000 et -16000) offre, à côté de grattoirs et de burins, les célèbres feuilles de laurier, feuilles de saule et pointes à cran. Les formes des pointes sont très travaillées, très belles en regard des burins et grattoirs grossiers, et les "feuilles" (fig.III-5) semblent renouer avec la tradition des bifaces acheuléens mais en témoignant d'une habileté bien supérieure : vues de profil, certaines sont "presque" réduites à un plan. Jelinek les qualifie d'outils "parfaitement aplatis". Une des feuilles reproduites par Piel-Desruisseaux (p.123), parfaitement droite vue de profil, a 6 mm d'épaisseur pour 13 cm de haut, ce qui donne un rapport épaisseur/hauteur de 4,6% environ; alors que pour le plus beau biface triangulaire (comme le qualifie Bordes, voir supra, chap.II fig 6) de la fin du paléolithique inférieur, ce rapport est de 16,3%. On a aussi, comme à l'Aurignacien, des sagaies, des bâtons percés, et à la fin du Solutréen apparaissent les premières aiguilles à chas.

Le **Magdalénien** (de -16000-10000) qui vit éclore selon certains la première veritable civilisation d'Europe, est quelque fois appelé la "belle époque" de l'âge du renne, sans doute à cause des peintures pariérales (Lascaux, Altamira, Niaux...). D'après Bordes (cité par Piel-Desruisseaux, p.265), les Magdaléniens se montrèrent peu inventifs pour l'industrie lithique, au contraire de l'industrie osseuse, utilisée "plus largement que dans toute autre civilisation paléolithique". Les sagaies sont variées, les propulseurs sont courants; le débitage longitudinal des bois, décrit plus haut, de l'os mais aussi de l'ivoire est habituel. Le matériel osseux, y compris les bâtons percés, est richement décoré contrairement aux périodes précédentes. Les aiguilles à chas sont courantes; le chas est perforé par rotation. "La présence de l'aiguille à chas est donc la preuve que les Magdaléniens cousent, certainement des vêtements de peaux" (id. p.234). Et la couture suppose à un certain degré la capacité d'établir (au moins dans sa tête, et pourquoi pas par un dessin sur le sol) un "patron", c'est à dire un développement plan

d'une surface qui ne l'est pas, et l'habitude de prendre des mesures, au moins grossièrement. Il y a là à coup sûr une activité géométrique, à rapprocher de la construction des tipis indiens, où une douzaine de peaux sont préparées et cousues ensembles pour former un demi-disque, "patron" de la tente conique (Guidoni, p.63 et 64)). L'industrie lithique du Magdalénien offre aussi quelques "faciès" très intéressants pour notre propos; tels sont les "rectangles" (Demars et Laurent, p.118 et 119) (fig.III-6) datés du dernier stade du magdalénien, "mais ils sont surtout abondants dans certaines industries magdaléniennes de Suisse, du sud de l'Allemagne et du sud-est de la France" (id). Les planches montrent en effet de véritables rectangles, retouchés soigneusement sur trois ou quatre côtés, les angles droits étant nettement reconnaissables. Leur longueur va en gros de 2 à 6 cm et la largeur varie autour d'un cm.
Le "microlithisme géométrique" est un faciès tout à fait remarquable qui apparaît au cours du Magdalénien, pour ensuite prendre une ampleur considérable et devenir caractéristique de la période suivante (épipaléolithique et mésolithique). Outils dont la plus grande dimension est fixée conventionnellement à 2,5 cm, ils ont "une forme parfaitement déterminable: triangulaire, trapezoïdale, rectangulaire, segment de cercle" (Piel-Desruisseaux, p.145) (fig.III-7). Les plus fréquents sont les trapèzes et les triangles. Demars et Laurent (p.110 et 111) font même des "triangles scalènes" un type particulier, qui leur semble typique du Magdalénien moyen (id.). Il faut dire tout de même que la plupart des dessins et des photos à ma disposition ne montrent que des triangles et trapèzes très grossiers, bien loin de la belle finition d'un biface triangulaire ou d'une feuille solutréenne. Mais tout en étant approximatives, les formes sont en effet bien reconnaissables, et les microlithes furent reproduits en grandes quantités et de façon standardisée, pour être probablement "utilisés comme armature, insérés ou collés, seuls ou en série, sur une hampe" (Piel-Desruisseaux, p.151) destinée à une arme de chasse. Il est frappant que pour la première fois, ces outils standards ressemblent à nos figures rectilignes de géométrie élémentaire, le triangle, le trapèze et le rectangle. Une placepart doit être faite aux trouvailles de Tchécoslovaquie et datées du **Pavlovien**, "culture" de l'Europe de l'est allant d'environ -30000 à -23000, c'est à dire à peu près contemporaine de l'Aurignacien et d'une partie du Gravettien en Europe occidentale. On y a trouvé en effet des pierres *polies* de formes rectangulaires impeccables (Jelinek 1978, p.178); ce sont bien entendu des spécimen très rares, comme le souligne l'auteur, qui témoignent d'une avance technique d'au moins dix ou vingt mille ans. On a aussi des plaquettes à bords latéraux droits, on les dirait tracés à la règle, découpées dans de l'argile schisteuse avec un outil de pierre (id., p.176). Tout à fait remarquables également sont les rondelles plates découpées en argile schisteuse (fig.III-8), qui offrent l'image de deux*cercles concentriques* très bien finis; elles ont un diamètre d'environ 20 cm avec des ouvertures de 58 mm au milieu (id., p.177 et 181). L'auteur n'émet aucune hypothèse quand à leur usage. On a retrouvé des "petits disques de pierre habilement coupés et polis...qui ont été employés comme retoucheurs" (id., p.181). La photographie de l'un de ces

disques, (Jelinek 1989, p.57), est particulièrement impressionnante: l'objet est parfaitement poli et contient en son centre un petit creux circulaire. Cela signifie-t-il que le polissage fut obtenu par une sorte de tournage, montrant là encore une avance technique stupéfiante? Pure conjecture évidemment, mais fortement suggérée par la photographie. Si la première pierre mentionnée plus haut est un spécimen rare, il n'en va pas de même du tout des disques centrés en pierre ou en os (Jelinek 1978, p.208 et 209) (fig.III-9), à quoi il faut ajouter, dans le même ordre de figures, des anneaux en ivoire de mammouth; les disques semblent nombreux, preuve d'une technique assimilée, et ont tous leur petite cavité circulaire au centre. L'Europe de l'est a joué le rôle d'avant-garde de plusieurs milliers d'années dans la découverte du disque*centré* au Pavlovien; ils apparaîtront plus tard, au Magdalénien à l'ouest, avec des rondelles d'os décorées, parfaitement circulaires et percées en leur centre (Jelinek 1978, p.450) (fig.III-10).

Il y a plusieurs leçons à tirer de cette rapide évocation des outils du paléolithique supérieur. Tout d'abord ce qui est une simple accélération par rapport au Moustérien, sans véritable changement de nature. Pour Leroi-Gourhan "les Moustériens ont fait la révolution technique la plus importante, peut-être, de toute l'histoire humaine, en donnant la solution du nucléus à éclats de forme pré-établie, car après eux l'évolution se poursuit par aménagements mineurs du dispositif d'extraction" (Leroi-Gourhan 1964, p.193). Nous avons remarqué au chapitre II que le tailleur impose à la pierre la forme qu'il décide et la variété qu'il décide en combinant des formes simples; la longueur de tranchant par kilogramme de matière utilisée nous est apparue comme un bon indicateur numérique du degré de domination de la forme voulue sur la forme naturelle. L'évolution s'accélère: "par une transition qui se déroule rapidement entre 35000 et 30000, en Europe occidentale, on se trouve...en présence d'un outillage triplé en variété" (id., p.197). Le tranchant pour un kilogramme de matière, qui était de 40 cm pour les choppers, passe à 4 m pour les éclats Levallois et à 100 m pour les microlithes de la fin du Magdalénien et du mésolithique. A partir du Gravettien, la déperdition du silex est réduite à presque rien. Les combinaisons de formes simples sont beaucoup plus variées et dans cette variété, le droit finit par l'emporter sur le courbe : pointes, lames, le profil plan très fin des feuilles solutréennes, et surtout microlithes dont les formes, pour l'essentiel, sont des rectangles, des triangles et des trapèzes. Ces derniers montrent également une véritable *éclosion de l'angle droit.*

La grande nouveauté du paléolithique supérieur est l'existence d'une industrie osseuse; ce n'est qu'à la fin du Moustérien qu'apparaissent de très rares poinçons (id., p.199). Si l'on ne sait pas trop pourquoi le travail de l'os est si tardif, le fait est qu'il est beaucoup plus "savant" que l'industrie lithique ordinaire puisqu'il nécessite, nous l'avons vu, un dessin préalable, une extraction, un redressement avec un bâton percé et un polissage. La chaîne opératoire est beaucoup plus longue, plus "intellectuelle", et le nombre d'outils est plus élevé : au lieu d'un percuteur de pierre ou d'os, il faut maintenant une pointe pour dessiner, probablement un burin pour extraire, un bâton percé (et du feu) pour redresser et un racloir pour polir. La ligne droite est ici la figure essentielle (sagaies, pointes, aiguilles) et on l'obtenait par redressements successifs jusqu'à ce qu'elle réponde à la définition suivante: est droit ce qui, vu sous un certain angle, se réduit à un seul point. Cela sera confirmé par la pratique des aborigènes australiens. La deuxième figure de base du travail de l'os est le cercle : percement du bois de renne et du trou de l'aiguille à chas qui pourraient bien avoir suggéré à nos ancêtres l'idée de cercles concentriques et de centre d'un cercle, transformant ainsi le "rond" spontané des bolas, des éclats discoïdes ou des "habitats" en cercle véritable.

Il pourrait bien y avoir eu dès cette période (mais ce n'est qu'une conjecture!), et toujours en se contentant d'observer le travail sur pierre et sur os, indépendamment des décorations qui apparaissent timidement d'abord pour vraiment fleurir au Magdalénien, une première géométrie technique, ou pratique. Le cercle et son centre, et les cercles concentriques pourraient avoir été suggérés par le percement du bois, et ils sont incontestables dans cette région d'avant garde de Tchécoslovaquie au Pavlovien, avant de se répandre à l'ouest au Magdalénien sous forme de disques de pierre ou d'os nettement centrés, au point que l'on se demande s'ils n'ont pas été fabriqués par une sorte de tournage, des millénaires avant la roue ou le tour de potier. J'ai signalé aussi le caractère géométrique de la couture, attestée au Magdalénien grâce aux aiguilles à chas, en le rapprochant de celle du revêtement de la tente indienne : l'essence en est le développement plan d'une surface de l'espace à trois dimensions, opération difficile qui se réalisait peut-être après dessin d'un "patron", et en tout cas inconcevable sans une comparaison des grandeurs, opération préalable à la *mesure* proprement dite.

## 2- L'art pariétal et mobilier.

### 2-1 L'art pariétal et mobilier : caractère général.

La géométrie que nous avons vuel'oeuvre jusqu'à maintenant, qu'elle soit création de formes standards dans les outils lithiques, ou probable découverte du cercle comme "rond à centre" et des cercles concentriques à l'occasion du travail sur os, ou premières comparaisons de gandeurs dans les activités de couture, est une géométrie "pratique", comme on la nommera plus tard, c'est-à-dire imposée par les nécessités techniques.

Il en va tout autrement dès que l'on aborde ce qui est appelé l'art préhistorique, pariétal et mobilier; nous abordons une étape qualitativement nouvelle marquée comme nous le verrons dans toute la suite par une "géométrie" n'ayant plus rien à voir avec une quelconque technique, mais une géométrie de spéculation symbolique. Tel est le deuxième pôle ou la deuxième source de l'histoire de la géométrie, et qui naît indépendamment du premier, comme nous le montrerons dans un instant. Sur le phénomène général du "graphisme", voici l'analyse brillante de Leroi-Gourhan :

"... si l'on peut dire à la rigueur de l'outil qu'il est connu par quelques exemples animaux, et du langage qu'il surplombe simplement les signaux vocaux du monde animal, rien de comparable au tracé et à la lecture des symboles n'existe jusqu'à l'aube de l'homo sapiens. On peut donc dire que si, dans la technique et le langage de la totalité des Anthropiens, la motricité conditionne l'expression, dans le langage figuré des Anthropiens les plus récents, la réflexion détermine le graphisme." (Leroi-Gourhan 1964, p.262)

Il est clair que le phénomène de la *représentation graphique* est tout à fait nouveau, comme nous le verrons en le décrivant rapidement plus loin, et qu'il est en lui-même une activité très abstraite, même si la chose représentée est concrète (animal par exemple). Car une partie ou un aspect d'une chose comme une tête ou un contour, voire une paire de cornes, valent pour la chose toute entière aux yeux du spectateur; à partir d'un simple trait, celui-ci restitue mentalement la réalité : comme le dit Leroi-Gourhan dans l'extrait ci-dessus, la réflexion accompagne donc nécéssairement et le graphisme et sa lecture.

Les hommes des paléolithiques inférieur et moyen ont créé des formes sculptées dans des outils de pierre mais l'homme du paléolithique supérieur, tout en poursuivant et en développant l'activité de ses ancêtres, va en quelque sorte détacher la forme de l'objet matériel pour la dessiner; mais "en quelque sorte" seulement, car ce ne sont précisément pas *les formes déjà connues* , celles des outils, qu'il va tracer, mais des formes nouvelles et bien moins élaborées, comme si l'on recommençait à zéro. On aurait pu penser que par opposition à la sculpture techniquement difficile des formes abstraites (portion de plan, segment de droite, triangle, disque), leur dessin, qui ne demande que de l'imagination, apparaîtrait tout de suite et offrirait de surcroît des foules de combinaisons nouvelles. Il n'en est rien et il faut attendre au contraire au moins 15000 ans pour qu'au Solutréen le niveau des simples points et bâtonnets soit dépassé. Rien d'étonnant à cela si l'on prend en compte les deux caractères foncièrement nouveaux du dessin : il est d'abord abstraction, nous venons de l'exposer, et de plus il *remplit un espace* au lieu *d'enlever de la matière* comme dans la sculpture lithique. Voilà de quoi étayer solidement la thèse que j'ai proposée plus haut de *l'indépendance* de cette deuxième source de géométrie par rapport à la première.

<u>2-2 L'art pariétal et mobilier : description.</u>

Pour donner les grandes lignes du développement du graphisme, je m'inspirerai principalement de Leroi-Gourhan (1964 et 1965). Les traces les plus anciennes remontent à la fin du Moustérien et deviennent abondantes vers -35000; ce sont des lignes de cupules (creux plus ou moins sphériques) ou des séries de traits gravés dans l'os ou dans la pierre. Les points et les traits seront un élément constant dans l'art, jusqu'à la fin du paléolithique supérieur.

L'Aurignacien est l'époque du "style I", qui donne des plaques de calcaire où l'on retrouve des incisions parallèles ou les lignes de cupules, et des courbes maladroites de parties d'animaux ou de "symboles féminins" (fig.III-11), mais on n'est pas obligé d'admettre la validité de l'adjectif "féminin"; Nougier (p.71 et suivantes) en tout cas fait la distinction entre les figurations nettement triangulaires, qu'il qualifie en effet de féminines, et d'autres, nettement circulaires, qui seraient d'après lui des reproductions d'empreintes de cheval. Ces graphies sont les plus anciennes connues et on ne s'accorde déjà pas sur leur signification! Heureusement, cela est sans grand intérêt pour l'histoire des formes. Ce qui nous importe est le caractère abstrait et symbolisant de l'art dès le début : un triangle avec un trait vaut (peut-être) pour une femme, un contour grossier de tête de cheval pour un cheval. Le réalisme viendra beaucoup plus tard, "c'est effectivement à la lente surrection du réalisme que font assister les millénaires suivants" (Leroi-Gourhan 1965, p.221).

Le "style II" est celui du Gravettien : le profil des animaux est plus complet et plus précis. "Toutes les espèces présentent la même ligne cervico-dorsale sinueuse ayant grossièrement la forme d'un 'S' couché, à laquelle viennent s'ajouter des détails peu nombreux mais spécifiques qui rendent l'espèce identifiable." (id. 1988, p.1003) (fig.III-12).

Au Solutréen et au Magdalénien ancien, le "style III" offre les premières grandes oeuvres pariétales comme celles de Lascaux. Le réalisme est de plus en plus prononcé, "la recherche du relief et du modelé est constante" (id., p.1004), et parallèlement les symboles "géométriques" (fig.III-13) augmentent en nombre et en variété. Il y en a plus de 400 à Lascaux, dont une soixantaine de rectangles. Le graphisme préhistorique s'engage désormais dans deux voies opposées : "les signes vont progressivement perdre leur figurativité pour aboutir au géométrique pur, tandis que les sujets figurés vont passer du figuratif synthétique" (essentiel des formes du sujet figuré) "au figuratif analytique" (recherche d'une réalité optique à partir de nuances dans la modulation des lignes) (Leroi-Gourhan 1992, p.106), c'est-à-dire en gros du style III au style IV, et "ce phénomène, attesté par des centaines d'exemples, constitue un des problèmes les plus intéressants de la recherche." (id. p.222). Le "style IV" est le style de la "splendeur classique", celui des grottes d'Altamira et de Niaux; "l'art possède déjà un très vieux métier et le réalisme s'accuse sur tous les plans" (Leroi-Gourhan 1965, p.231) et la perspective est visuelle, contrairement ce que l'abbé Breuil appelait la perspective tordue, où l'animal est vu de profil tandis que ses cornes sont vues de face. Les symboles qui accompagnent les représentations réalistes sont du même type de ceux du style III.

L'Europe orientale n'a pas d'art pariétal comparable mais offre en revanche un art mobilier abstrait beaucoup plus savant que celui de l'ouest; le caractère d'avant-garde de cette région, déjà souligné dans le paragraphe précédent, se confirme. Dès -30000 à Malta (Sibérie) apparaît une plaquette d'ivoire de mammouth ornée d'un côté de spirales ponctuées et de lignes ondulées de l'autre (Anati, fig.43) (fig.III-14). On a à Soungir (Russie, -25000 ou -24000) des rondelles d'ivoire perforées en forme de cercles concentriques (Koslowski, p.45) (fig.III-15) avec des ovales régulièrement disposées sur le pourtour et dont le grand axe est dirigé vers le centre; une rondelle du même site a même 8 rayons matérialisés par des petites perforations circulaires alignées, au nombre de quatre, mais ce serait tout de même forcer un peu l'histoire que de voir là un cercle de rayon 5!! On connaît vers -20000 des motifs incisés et gravés sur sagaies considérés comme caractéristiques du style kostenkien (aux alentours de -20000, voir Koslowski, pl.24) (fig.III-16), traces de véritables constructions géométriques sous forme de jeux de symétries: symétries axiales, symétries par rapport à un point, symétries glissantes —composées d'une symétrie axiale et d'une translation de vecteur parallèle à l'axe—. Il faut mentionner tout spécialement le bracelet de Mezine (Ukraine, daté entre -15000 et -13000, fig.III-17); il s'agit d'un bracelet en ivoire décoré en motif de "grecque", d'après Nougier (p.113) qui en suggère ainsi la genèse : un décor gravé sur ivoire, formé de chevrons superposés, a été préparé initialement pour un autre type de bracelet décoré uniquement de tels chevrons. "Par goût ou par inadvertance, un des éléments est porté à l'inverse de l'autre", c'est à dire que l'artiste réalise la symétrie de la première série de chevrons par rapport à un axe; enfin "un déplacement de quelques millimètres, ...ce simple et léger mouvement du bras suffit pour obtenir le motif en 'grecque'". Il s'agirait donc d'une symétrie glissante, technique déjà connue connue plusieurs milliers d'années auparavant à Kostenki. A Eliseevitchi (Russie, entre -12000 et -15000), on a des plaquettes d'ivoire décorées de motifs en zigzags et des remplissages du plan par des losanges, dit Koslowski (id., p.77 et pl.38), bien que les reproductions donnent plutôt des images d'hexagones légèrement allongés. Comme les gravures ont été faites sur des plaquettes cassées, et après la cassure, l'auteur en déduit : "Cela prouverait que les 'décorations' sur fragments d'ivoire n'avaient pas de signification esthétique, mais que ces fragments servaient de support pour graver des séquences de signes et de *motifs géométriques à caractère symbolique* (souligné par moi). Parmi ces motifs, les plus fréquents sont les zigzags et les lignes ondulées multiples, les rectangles, les échelles et surtout le motif des 'écailles de poissons'." (id., p.77).

### 2-3 L'art pariétal et mobilier : l'interprétation.

Lorsquu l'on cherche à reconnaître ce qui est représenté dans l'art mobilier et pariétal, c'est tout ou rien : ou bien on voit parfaitement un animal, un être humain (rarissime au paléolithique supérieur), une partie d'un être vivant, ou bien on voit des bâtonnets et des dessins géométriques dont l'interprétation laisse libre cours à la fantaisie de chacun. Dans les stries parallèles sur os, on a vu des marques de chasse ou même des tables de calcul; un exemple caricatural est celui de l'os d'Ishango (Congo) daté d'environ -9000 et découvert par

De Heinzelin. Il s'agit d'un manche d'outil en os recouvert de stries parallèles regroupées en paquets inégaux, et voici ce qu'en dit son inventeur :

"Considérons la première colonne, par exemple : 11, 13, 17 et 19 sont tous des nombres premiers... en ordre croissant et ils sont les seuls nombres premiers entre 10 et 20. Prenons maintenant la troisième colonne : 11, 21, 19 et 9 représentent respectivement 10+1, 20+1, 20-1, 10-1... (ces dispositions) pourraient représenter une sorte de jeu de nature arithmétique inventé par une peuplade possédant un système numéral basé sur 10 ainsi qu'une connaissance... des nombres premiers."

(De Heinzelin cité par Marshack, p.23).

Enthousiasmé par sa découverte, l'auteur voit déjà à Ishango le berceau des mathématiques, diffusées de là en Egypte puis en Grèce : "Il n'est pas impossible que le monde moderne soit redevable de l'une de ses plus grandes dettes aux hommes qui vivaient à Ishango." (id.).

Dans le même ordre d'idées, Ifrah fait état d'un os entaillé du Magdalénien, qui présente 3 et 7 encoches sur une ligne, 9 et 5 sur la suivante, et l'auteur ne peut s'empêcher de se livrer à des spéculations tout à fait arbitraires :

"En raison de la disposition des nombres 3, 5, 7 et 9, de l'importance qui leur est accordée sur bon nombre de documents de cette époque (??), il est permis d'avancer une première explication... Ce poinçon aurait alors constitué une sorte 'd'instrument arithmétique' donnant une représentation graphique des premiers nombres impairs, ainsi qu'un arrangement de ces nombres permettant d'en retrouver rapidement quelques propriétés élémentaires." (Ifrah, p.159).

Ces soi-disant propriétés, qu'il est inutile de citer ici, sont du même acabit que celles qu'a "découvertes" De Heinzelin. Il est remarquable que ces fantaisies se réfutent les unes les autres, puisqu'on voit, en rapprochant les deux exemples précédents, que le "berceau" des mathématiques d'Ishango est sérieusement concurrencé par un nouveau "berceau" situé en Europe magdalénienne.. Je suis persuadé en outre qu'avec un peu d'imagination on pourrait fabriquer quantité de telles "tables de calcul", et des beaucoup plus anciennes, avec les os entaillés nombreux dès l'Aurignacien. Dernier argument et non le moindre, il n'existe à ma connaissance *aucun* document ethnographique qui puisse étayer ce genre de thèse. La documentation ethnographique montre au contraire qu'il est parfaitement vain d'essayer de deviner le sens des symboles préhistoriques. "La femme Chagga (Tanzanie) tenait le compte, sur une cuiller en bois, du nombre de coups qu'elle recevait de son mari. Quand la poignée de la cuiller était remplie, il était temps de commencer la procédure de divorce." (Zaslavsky, p.95). Quel archéologue aurait pu deviner cela, avec comme seul document le manche de la cuiller rempli de stries?

Leroi-Gourhan a tenté d'interpréter les symboles comme signes sexuels : "Très tôt, sinon dès le préfiguratif, les symboles masculins se confondent avec les bâtonnets alignés ou les séries de points quoique le réalisme forme résurgence de temps à autre jusqu'au Magdalénien. Les symboles féminins sont exprimés de manière constante par des ovales, ou par des triangles, coupés ou non par un trait médian, mais à partir du style II, il est fréquent que ces figures soient remplacées par des ovales emboités ou par des cercles. Au style III, ce sont des quadrilatères qui peuvent être recoupés par des figures en damier, comme les 'blasons' de Lascaux." (Leroi-Gourhan 1965, p.234). Il n'y a pas le moindre commencement de preuve de tout cela, et malgré le respect dû à un Maître tel que Leroi-Gourhan, il faut bien avouer qu'il dit ici n'importe quoi, et qu'il aggrave son cas en essayant de défendre le caractère "féminin" des quadrilatères de Lascaux : "Il semble qu'une forte contrainte morale ou magique se soit exercée dans ce domaine, ce qui explique en particulier durant les styles III et IV ancien l'enfouissement des symboles sexuels dans les formes géométriques presque méconnaissables." (Id. p.234) Une telle argumentation ressemble fâcheusement à celle du psychanalyste : si tu reconnais l'origine de tes troubles actuels dans ta sexualité infantile, c'est bien, et tu vois que ma théorie est vraie. Mais si tu ne le reconnais pas, c'est que tu les refoules par la contrainte morale, et par conséquent ma théorie est encore vraie.

Pour enfoncer encore le clou et démontrer la vanité des "interprétations", prenons par exemple un rectangle ressemblant étrangement à ceux de Lascaux, dessiné dans des cases pour le culte individuel ou familial chez les Bambara (fig.III-18); il est divisé horizontalement en trois rectangles et verticalement en deux. Des bâtonnets, verticaux pour la plupart, sont tracés à l'intérieur ou à l'extérieur. Quelle belle occasion de raconter une histoire sexuelle, avec des symboles mâles (les traits) intérieurs et extérieurs aux symboles femelles (les rectangles) ! La réalité bien entendu est toute différente, infiniment plus compliquée, et surtout parfaitement illisible par toute personne non initiée : les trois rectangles horizontaux représentent respectivement le ciel et l'eau, l'air et le vent, la terre. L'un des bâtonnets est Faro dans sa toute puissance, maître du ciel, de l'eau et de la vie; trois autres traits sont ses enfants. Un autre bâtonnet est dans le rectangle du milieu et déborde légèrement sur celui du haut : c'est le génie de l'air qui tente de pénétrer dans le plan de Faro pour le vaincre. L'échec de cette tentative est symbolisée par le fait que la majeure partie du trait est dans le rectangle du milieu. Les 22 traits du rectangle du bas sont les 22 éléments de la création. (Dieterlen, p.155). Les rectangles représentent donc ici des "milieux" divers, et les bâtonnets représentent des individus divers (Faro, ses enfants et le génie de l'air) ou des choses (les éléments), et il est clair par conséquent que toute tentative de "lecture" directe de la figure est vouée à l'échec. Seul l'initié peut le faire, grâce à l'éducation que lui ont donnée les anciens.

Ces exemples montrent suffisamment, me semble-t-il, l'inanité de toute tentative de lecture des symboles préhistoriques. La démonstration que nous venons de faire me semble également un des arguments les plus forts en faveur du comparatisme ethnographique bien compris; on lui a reproché parfois de conduire à des parallèles arbitraires entre tel document archéologique et telle coutume primitive. Or il nous mène ici dans un chemin exactement opposé, il est le meilleur antidote contre les fantaisies que tous les savants, même les meilleurs, adorent échafauder.

Faut-il donc abandonner ce terrain "symbolique" et se contenter d'analyser les figures de façon purement formelle, géométrique? Je ne le crois pas; ce qui me paraît capital, et parfaitement confirmé par la documentation ethnographique, nous venons d'en voir un exemple et d'autres viendront dans toute la suite, c'est que les *divers peuples ont transcrit leurs mythes, effectués leurs rites et exprimé des idées abstraites, précisément avec des symboles géométriques.* Le fait est là, massif, incontestable, et c'est lui qui est important bien plus que les idées sous-jacentes; des formes géométriques simples sont choisies comme porteuses d'idées ou de récits, et il faut voir là le point de départ de *l'identification entre géométrie et pensée pure* . Je crois en effet que la fascination générale exercée par les mathématiques sur le monde pensant, jusqu'à nos jours, a ses racines dans la sagesse primitive avide de symboles. Quel rôle a pu jouer cette deuxième source de géométrie, après la source "technique" dont nous avons parlé au paragraphe précédent, la suite de l'enquête nous le dira.

### 2-4 L'art pariétal et mobilier: la géométrie.

En examinant les symboles pariétaux occidentaux d'un point de vue purement géométrique, le résultat semble assez pauvre; on peut dire, d'après la documentation fournie par Leroi-Gourhan (fig.III-13), que la ligne droite et les rectangles dominent. L'angle droit est devenu, comme dans le cas des outils lithiques, une figure banale. Le cercle est une figure rarissime; ce qui est représenté par Leroi-Gourhan comme un cercle de points avec un centre (Niaux; Leroi-Gourhan 1992, p.142) est loin d'être circulaire si l'on se reporte à une photographie. On a cependant à Font-de-Gaume plusieurs demi-cercles ou arcs de cercles concentriques, et le cercle (le vrai, avec un centre) n'apparaît que dans l'art mobilier, au Magdalénien, sous formes de petites rondelles d'os (37 cm de diamètre), plus rarement en pierre, dans quelques sites (Laugerie-basse et La Madeleine, fig.III-10). Les dessins sont assez variés, mais la seule construction géométrique visible dans de nombreuses grottes est la symétrie par rapport à un seul axe (ce qui rejoint la remarque de Boas citée au chapitre II), très présente dans beaucoup de grottes; elle donne lieu à des constructions assez compliquées en particulier à El-Castillo et à Font-de-Gaumes (fig.III-13), mais on ne peut pas parler de progrès dans ce domaine dans la mesure où de telles symétries existent bien plus tôt dans les outils.

On décèle en revanche un progrès dans *l'analyse des figures* : ce n'est pas rien en effet que d'avoir réalisé, je ne dis pas conceptualisé, mais au moins d'avoir dessiné des rectangles partagés en sous-rectangles comme à Lascaux (fig.III-13). Le rectangle est, avec le parallèlogramme, la seule figure qui se laisse aussi bien couper en morceaux : le cercle n'est pas décomposable en sous-cercles, et je ne suis pas sûr qu'un hexagone régulier, qui pourtant peut paver le plan, puisse être décomposé en sous-hexagones. La simplicité du procédé pour le rectangle cache à mon avis une propriété géométrique profonde du plan, qui sera utilisée ultérieurement pour la mesure des aires au moyen de carrés. Cette organisation des dessins abstraits pris individuellement contraste d'ailleurs fortement avec l'apparente anarchie des compositions d'ensemble : "Jusqu'au style IV récent les éléments composés du décor continuent de vivre indépendamment les uns des autres et indépendamment du cadre." (Leroi-Gourhan 1965, p.231).

Ce n'est pas rien non plus que d'avoir découvert le cercle centré, par opposition au rond; c'est bien une analyse que de découvrir, dans celui-ci, un élément central.

A l'est le savoir est beaucoup plus précoce et savant, nous le savons déjà. Les cercles centrés et les cercles concentriques sont nombreux, et les décors montrent une connaissance systématique des symétries combinées, et pas seulement de la symétrie par rapport à un axe, pour *construire* des figures nouvelles à partir d'éléments simples comme des chevrons. J'ai dit, à la fin du chapitre II, que les hommes des paléolithiques inférieur et moyen ont créé la géométrie en sculptant des figures de base et en les associant par symétrie; l'homo sapiens sapiens, lui, enrichit ce phénomène de la composition et fait le premier pas dans le cheminement inverse, l'analyse. Telle est la nouvelle activité géométrique à l'oeuvre dès -25000 en Europe orientale, avec les rondelles à rayons de Soungir, les motifs kostenkiens sur sagaies pour culminer peut-être avec les bracelets de Mezine.

## 3- Les aborigènes australiens.

Grâce aux chasseurs-cueilleurs australiens, nous allons pouvoir "mettre en scène" certains éléments que nous venons de décrire à grands traits. Nous nous appuierons pour cela principalement sur deux ouvrages dont les auteurs ont fait de longues enquêtes sur le terrain : *Les aborigènes australiens* de A.P. Elkin et surtout *Du Rêve à la loi chez les Aborigènes* de B. Glowczewski qui cerne de plus près des thèmes importants pour notre enquête.

### 3-1 L'outillage. Géométrie pratique.

Les aborigènes australiens sont (ou étaient récemment, avant d'être happés ou écrasés par la civilisation occidentale, disons le une fois pour toutes) des chasseurs-cueilleurs qui ignorent tout de l'agriculture, même sous la forme d'un jardinage rudimentaire, et de l'élevage. Ils fabriquent des outils de pierre, haches, pointes de javelots et couteaux qui leurs servent entre autres à préparer leurs javelots et à découper des pans d'écorces d'eucalyptus en forme de rectangles pour leurs peintures. Elkin a assistéla fabrication de "très belles pointes de javelot en forme de feuille, obtenues à partir de nucléus de quartzite façonnés par pression." (Elkin, p.72). Le tailleur commence par façonner grossièrement la pierre, en enlevant quelques éclats.

"Puis, tenant le nucléus par le gros bout, il appuie une des arêtes sur l'établi et enfonce tout au bord de celle-ci l'extremité pointue et très dure d'un morceau d'os de kangourou jusqu'à ce qu'un minuscule éclat se détache. La main qui dirige ce poinçon d'os exécute un mouvement de va et vient si rapide qu'une photo prise à une distance de quelques pieds et au centième de seconde donne une image floue. L'ouvrier répète cette opération plusieurs fois, enlevant ainsi de menues esquilles, une à une, tout le long de l'arête, et quand il a terminé de ce côté il fait la même chose pour l'autre. Ce travail de retouches par pression exécuté alternativement sur les deux arêtes, il le recommence autant de fois qu'il le faut, en utilisant un poinçon de plus en plus fin à mesure que les arêtes deviennent de plus en plus minces. Il ne cesse que lorsque ces dernières sont bien aiguisées, qu'une des extrémités de l'objet est fort effilée et que la ligne qui marque le milieu de chaque pan se trouvepeu près droite.." (id.)

De ces observations il ressort d'abord que contrairement à beaucoup de pointes de la préhistoire, l'axe de symétrie de la pointe de javelot vue de face est bien matérialisé par une "ligne qui marque le milieu de chaque pan", et une photographie (Jelinek 1989, p.193) le confirme. Il ressort en second lieu que les symétries se font "à l'oeil", par une simple comparaison visuelle des deux côtés, et que l'on procède par retouches jusqu'à ce que celle-ci soit satisfaisante. En particulier la ligne droite, ou "à peu près droite", n'est pas le fruit d'un geste technique qui par lui-même produirait une telle ligne, comme c'est le cas par exemple du geste du tourneur qui produit automatiquement un cercle; la ligne droite est obtenue par retouches successives, de plus en plus fines, c'est-à-dire par approximations successives d'un modèle présent dans le cerveau de l'opérateur.

La fabrication du javelot est aussi instructive : après avoir coupé un tronçon de branche qui lui paraît de la longueur et de la section désirables et l'avoir poli avec un ciseau de pierre, l'ouvrier le redresse à la main, à la chaleur ou même avec les dents jusqu'à ce qu'il soit droit; pour vérifier la rectitude, "il élève l'arme devant lui et l'examine attentivement d'un bout à l'autre pour se rendre compte si elle est droite et si le bois a bien été égalisé" (id., p.73). La définition spontanée de la ligne droite est bien, comme nous l'avons suggéré plus haut, "est droit ce qui, vu sous un certain angle, se réduit à un point." Dans ce que nous venons de décrire, il n'y a aucune espèce de mesure, mais seulement comparaison spontanée entre un objet réel, comme une pierre ou une branche d'arbre, et l'image de l'objet voulu, pointe ou javelot, que l'artisan a en tête. J'ai suggéré plus haut que la couture, attestée dans la préhistoire au Magdalénien, aurait pu être l'occasion des premiers pas vers la mesure des grandeurs; il n'y a aucun moyen de le vérifier ici puisque les Australiens vont nus ou à peu près. Rien non plus du côté des revêtements de tentes, à la façon des Indiens d'Amérique, qui n'existent pas ici. Elkin fait remarquer d'ailleurs que les aborigènes ne disposent d'aucun instrument de mesure pour évaluer les dimensions "et leur vocabulaire ne comporte aucun terme pour indiquer la superficie ou la distance. Interrogé sur l'étendue du centre d'élevage où il travaille un aborigène répondra que celle-ci est 'un peu grande' ou 'grande' ou encore 'vraiment grande'. Quand vous lui demandez si un lieu qu'il connaît se trouve loin, il vous dit que 'le chemin pourrait bien être long' ou alors que 'la piste est très, très longue' à moins qu'il vous affirme 'c'est tout près' " (id., p.276).

Le principe d'une réponse numérique n'est pourtant pas inconnu, mais dans un contexte différent : lorsqu'on demande la durée d'un déplacement, on a droit d'abord à une réponse vague, "cela me prendra peut être bien un peu longtemps", mais si on insiste "il montrera très exactement soit sur ses ongles, soit sur les articulations de ses doigts, ou encore en donnant des coups sur le sol, combien de fois il aura à s'arrèter en cours de route pour camper, parcourant des étapes raisonnables parcourues sans effort." (id., p.274). On voit que la durée sert à l'évaluation des distances au moyen du nombre d'étapes qui n'ont pas nécessairement la même longueur, à cause par exemple des configurations du terrain qui font que l'on parcourt en un même temps des distances différentes. En tout cas un nombre est bel et bien associé à un parcours, mais cette association semble n'avoir lieu qu'en cette occasion. Le "matériel" géométrique sous-jacent à l'outillage est relativement pauvre (segments de droite, triangles des pointes, agencement symétrique) et en tout cas plus pauvre que celui du paléolithique supérieur européen. En particulier le cercle est absent alors qu'il est, nous allons le voir, dominant dans la peinture, peinture qui offre une palette de formes et d'agencements incomparablement plus riche que celle qui ressort de l'étude de l'outillage.

A propos du cercle, on a souvent tendance à attribuer paresseusement son origine à la forme du soleil ou de la lune; je ne connais pas*la moindre référence* à ceci chez les Australiens, dans la littérature ethnographique que j'ai pu consulter; Seidenberg soutient une théorie plus élaborée sur l'origine du cercle qui aurait été conçu quelque-part, un quelque-part inconnu, pour se diffuser ensuite partout, et qu'il résume ainsi :

"Dans le rituel de création les participants apportaient de nombreux objets sur la scène rituelle et s'identifiaient avec ces objets. Dans l'élaboration du rituel ces objets, et en particulier les étoiles, étaient étudiés. Les participants identifiés aux étoiles se déplaçaient en les imitant, et par ce biais donnaientla scène rituelle une forme circulaire: telle est l'origine du cercle." (Seidenberg 1981, p.324).

Cette théorie, comparée aux faits que nous allons passer en revue, est pure affabulation; s'il est vrai que les moments de la nuit sont repérés par le passage de certaines étoiles, je ne connais aucune allusion à la circularité de leur trajet. S'il est vrai que les étoiles accueillent parfois certains ancêtres (Glowczewski 1991, p.315), les danses rituelles reproduisent toujours les trajets *terrestres* de ces ancêtres, rarement circulaires. Alors que le rituel est d'une importance primordiale dans la vie australienne, qu'il se transmet scrupuleusement et longuement de génération en génération, et qu'il ne peut se modifier que suivant des procédures très longues et compliquées, il est impossible qu'une origine aussi nette que celle que décrit Seidenberg se soit perdue au cours du temps. Seidenberg est le seul,ma connaissance à s'être attaqué explicitement au problème de l'origine du cercle et du carré et d'en avoir fait une monographie, et c'est pourquoi j'en parle ici. Il faut constater que sa tentative a échoué.

### 3-2 Mythes et rites. Géométrie symbolique.

Faute de pouvoir donner une origine (d'ailleurs, y a-t-il *une* origine?) du cercle ou d'autres figures, nous allons examiner leurs fonctions mythiques-rituelles chez les aborigènes australiens. B.Glowczewski (1991) nous apprend que tout homme et femme du peuple warlpiri porte le nom totémique d'un ou plusieurs êtres ancestraux, appelés aussi "Rêves", "êtres éternels qui en voyageant sur terre ou sous terre ont modelé le paysage" (id., p.25). Ils disent descendre de ces "Rêves" qui peuvent être des animaux, des plantes etc...; "les sites que les êtres ancestraux ont nommés et marqués de leur corps sont également dits habités de leur présence pour l'éternité" (id., p.26). "Dans certains contextes les Warlpiri désignent les totems, les récits ou itinéraires mythiques par le terme 'Kuruwarri' qui signifie littéralement 'image, dessin, trace ou marque'."(id., p.32). "Les Warlpiri peignent ou dessinent sur des objets rituels, leur corps, le sol ou les parois des grottes des 'Kuruwarri'." (id.) Ces images ne sont pas, dans leur esprit, de simples représentations, ils disent au contraire qu'elles leur donnent "la vie, les nourrissent et les rendent forts." (id.). Une fois peints, les objets rituels "sont considérés non pas comme de simples supports aux images vitales mais comme habités par elles de l'intérieur." (id.)

Ce n'est pas tout : afin de rendre ces images-forces vraiment actives, elles doivent être peintes et mises en scène rituellement, "c'est à dire extériorisées sur le corps, les objets ou même les parois des grottes qui les recèlent sous terre." (id.) Les rituels ont pour effet d'assurer le maintien des espèces symbolisées par ces images; si les hommes ne les accomplissaient plus, "les espèces risqueraient de ne plus se reproduire" (id., p.33).

Cet exemple nous a permis de planter rapidement le décor de la sagesse primitive, toujours la même dans son essence et infiniment diverse dans ses manifestations concrètes. Lorsque l'on qualifie comme on le fait les chasseurs-cueilleurs de simples "prédateurs", par opposition aux vrais producteurs apparus au néolithique, on les caricature sur deux plans : en premier lieu, ils produisent réellement leurs outils, suivant des processus très savants et très intellectualisés, nous le savons. En second lieu, ils sont responsables ni plus ni moins que de la reproduction du monde, et ils le font symboliquement. Leur attitude intellectuelle à cet effet est remarquable, et la science civilisée, post-préhistorique, leur en est redevable: pour agir sur le monde, il suffit d'agir sur ce qui est considéré comme son abstraction, son essence, ici ses symboles, géométriques ou non. La différence avec la pensée civilisée, c'est que celle-ci, depuis la philosophie grecque, *n'identifie* plus le monde réel et son symbole.

Les Warlpiri agissent sur les choses par l'intermédiaire de leur essence symbolique, mais cette essence symbolique est considérée elle-même comme une chose. Témoin cette description de rituel où les symboles sont littéralement *semés* pour qu'ils puissent agir :
" Parfois les femmes avancent à genoux, serrées l'une derrière l'autre, et se mettent en cercle autour du plat, du piquet ou des tablettes dont le motif est toujours tourné vers le ciel; elles sont alors censées capter les images vitales 'Kuruwarri' qui se trouvent concentrées dans leurs corps peints et dans ces objets. Avec leurs paumes ouvertes vers le ciel, et agitées d'un mouvement saccadé, elles élèvent les 'Kuruwarri' pour les répandre sur la terre, puis les paumes tournées vers le sol, battant la même mesure, elles les renvoient sous terre en chantant." (id., p.74).
Dans cette logique les dessins que l'on fait sur le corps ou ailleurs ne sont pas de simples activités préparatoires au rituel, qui aurait lieu ensuite sous forme de danses et de chants; ils en font partie intégrante. Dessiner un symbole est activité créatrice ou re-créatrice: lors de chaque rituel, "les motifs peints sur les objets au rituel précédent sont effacés puis peints à nouveau, semblables ou différents. Quand aux femmes peintes, elles se rhabillent et dorment en général avec leurs peintures mais au cours d'un nouveau rituel, s'il leur reste des traces, elles se lavent pour être repeintes." (id., p.75).

Tenter d'analyser l'activité géométrique sous-jacente aux rituels est difficile, d'abord parce que pour les primitifs eux-mêmes elle n'a aucun sens si elle est envisagée séparément de tout son contexte mythique extrêmement compliqué, et ensuite parce que les ethnographes se préoccupent peu de ces questions. Je ne sais pas si dans la langue warlpiri, il existe des mots pour cercle, droite etc... Les photographies de femmes peintes (Glowczewski 1989) montrent en abondance des cercles concentriques et des lignes courbes parallèles en motifs assez variés (fig.III-19); en revanche, les hommes peints sont affublés de motifs plus sobres à base de quadrillages rectangulaires (Elkin) (fig.III-20). Il faut noter une constante remarquable: les motifs reproduits sur les femmes ont tous une symétrie d'axe vertical qui épouse la symétrie naturelle du corps humain. Les peintures ne sont pas d'ailleurs uniquement symboliques et laissent une large part à la fantaisie de chacun: au cours d'un rituel, une des femmes peut prendre l'initiative de tracer sur une autre les *signes de base* d'un "Rêve" "avec son index trempé dans la peinture rouge. Ces signes tracés - cercles, arcs, lignes horizontales, verticales ou sinueuses -, le motif est identifié à tel ou tel Rêve, permettant à plusieurs peintres d'y ajouter les variations de leur choix afin de couvrir entièrement la poitrine et les épaules de la femme: l'une lui tire le bras et trace de petits arcs à la suite du premier, centré sur l'épaule, une autre fait de même sur l'autre bras, une troisième entoure de points un grand cercle dessiné sur le plexus etc..." (Glowczewski 1991, p.71). L'idée de décoration, de l'art pour

l'art, est donc très présente, mais elle doit être fondée sur les stricts symboles de base obligatoires. Je ne connais pas malheureusement de reproduction de ces "signes de base".
Les célèbres "churinga", objets sacrés de bois ou de pierre, représentent le corps de tel ou tel ancêtre et sont couverts de motifs gravés : "cercles concentriques, U, arcs et lignes tremblées parallèles." (Elkin, p.310). Leroi-Gourhan (1964, p.264)(fig.III-21) en reproduit un, décoré exclusivement de cercles concentriques et de traits parallèles, et la composition d'ensemble offre deux symétries d'axes horizontal et vertical qui semblent très fréquentes d'après les reproductions données par Glowczewski (1991, p.305). Voici quelques autres motifs recensés par Elkin dans diverses régions d'Australie, chacune ayant sa particularité : arcs parallèles d'ellipses raccordées entre elles par une ligne, carrés et losanges concentriques, zigzags et méandres, dessins rectangulaires gravés et disposés parallèlement.
On signale quelque fois, mais rarement, des préparations du terrain pour les rites, mais l'idée d'autel est absente. Ainsi "chez les Warlbiri, un poteau d'environ un mètre est dressé au cours de la cérémonie dite de la fourmi à miel, qui a pour but la croissance de l'espèce. On commence par creuser un trou et verser de l'eau sur le sol. Le terrain arrosé est sacralisé avec du sang: pour cela on trace à l'aide de duvet imbibé d'ocre rouge (équivalent du sang) des cercles concentriques au trou (l'auteur ne dit pas *comment* sont dessinés ces cercles), et l'on complète le dessin avec du duvet...Les danseurs rampent sur la figuration du campement en imitant les fourmis; ils se rapprochent peupeu du centre pour enfin entrer symboliquement dans le trou...Un autre rite Warlbiri, pour favoriser la croissance des seins des jeunes filles, se déroule sur une aire sacrée où sont modelées deux collinettes circulaires en terre, entourées de cercles concentriques en duvet blanc et rouge." (Guidoni, p.48). L'abondance de compositions réalisées à partir de figures simples est remarquable et typique de cette géométrie spontanée, stimulée par les nécessités des mythes et du rituel. Il se confirme d'ailleurs une fois de plus ici qu'il est inutile de chercher des significations à chaque type de figure :
"Considérant le petit nombre d'éléments graphiques, ils sont par définition polysémiques et donc non interprétables sans autre information qu'eux-mêmes...les cercles figurent aussi bien des arbres, des fruits divers, des camps, des sites, des étoiles etc...les lignes droites, outre la pluie, peuvent désigner des gens couchés, des lances, des bâtonsfouir ou des itinéraires" (Glowczewski 1991, p.304).

Ainsi l'activité mythique-rituelle qui, grâce au graphisme symbolique, est un puissant stimulant de compositions et de décompositions de figures, en est aussi un frein dans la mesure où elle est un obstacle à l'étude *pour elles-mêmes* de ces figures. Il est en effet inconcevable de les envisager sans leur contexte terriblement lourd liés aux histoires d'ancêtres, de leurs actions et de leurs trajets. Les pauvres enfants warlbiri "doivent retenir en relation à chaque Rêve - le leur et ceux de certains parents ou alliés - des centaines de vers, des dizaines de motifs à peindre sur le corps ou les objets rituels, ainsi que des figures de danses sans connaître au départ le sens de ce qu'ils traduisent. Par cette assiduité rituelle, un homme ou une femme approchant la quarantaine devrait être à même de déchiffrer...les diverses associations symboliques" (id., p.69). Dur travail! Cette lourdeur pèse aussi sur le processus d'évolution des symboles, connu chez les Warlbiri. Si au cours d'un Rêve (un vrai!), quelqu'un prétend avoir eu une révélation sur les héros ancestraux, par exemple sous la forme d'un nouveau motif pictural, la reconnaissance de sa véracité nécessite "de longues discussions et des négociations interclaniques qui peuvent durer des années" (id., p.34). Ce "totalitarisme" est toutefois très souple puisque le Rêveur-novateur a le droit de chanter, peindre et danser à sa fantaisie aidé de ceux qui le veulent bien, mais en dehors des célébrations collectives. La nouveauté peut en effet s'incorporer au patrimoine tribal, mais dans ce domaine le conservatisme est prépondérant et "le statut des révélations est moindre que celui du savoir transmis" (id. p.35). Nous cernons bien maintenant le rôle contradictoire du symbolisme mythique-rituel; creuset du graphisme géomérique, ses exigences propres en freinent néanmoins le développement. La figure, comme telle, n'existe pas; son "étude" n'a aucun sens. Elle n'est, dans l'esprit aborigène, qu'un élément indistinct et fugitif pris dans la nasse d'un immense réseau de correspondances symboliques. Seules les correspondances sont capables de capter son attention, car elles sont vitales pour la collectivité, qui voit là le seul moyen d'assurer sa propre survie et celle du monde. Habitué dès l'enfance à dessiner des figures de base, le petit warlbiri est obligé en même temps de les ensevelir sous un fatras d'histoires nombreuses et compliquées. Veut-il, plus tard et sous l'effet d'une révélation, changer un motif ou en proposer une modification, le voilà contraint d'en référer à la collectivité toute entière pour d'interminables palabres. Il ne pourra pas être question de construction nouvelle, de symétrie plus savante, ou de complications de motifs sans les assortir de toute une histoire et de toute une géographie des actes des ancêtres. Ce cadre intellectuel ne sera réellement brisé, qu'au moment de la révolution grecque.

## 4- Conclusion.

Contrairement au paléolithiques inférieur et moyen, où l'activité géométrique, telle que nous avons pu la déceler dans la sculpture des outils de pierre, était assez monotone et semblait avancer au même rythme partout, au paléolithique supérieur elle est beaucoup plus variée et des différences locales notables se font jour. Nous avons vu que l'Europe de l'est, dès le Pavlovien, montre un savoir-faire géométrique d'avant-garde. Mais surtout une deuxième source de géométrie, indépendante de la première, va enrichir considérablement les données, puisque le symbolisme graphique devient une technique capitale de nos ancêtres, dans leur besoin vital de dominer et recréer sans cesse le monde.

Il me semble que la *décomposition* des figures en deux figures de base, la droite et le cercle, s'est affirmée au paléolithique supérieur. Nous les avons vues, de plus en plus nombreuses et exclusives, dans les outils et dans les graphies : outils lithiques rectangulaires, microlithes géométriques, rondelles d'os percées, anneaux concentriques, bâtons percés, rectangles de Lascaux, cercles concentriques et traits australiens.
La question de la construction du cercle reste posée; il est certain pour une part, à voir les rondelles pavloviennes ou magdaléniennes, que l'idée du *centre* est acquise. Mais, d'autre part, on ne sait rien quant à la fabrication de ces rondelles; si la suggestion d'une espèce de tournage mérite d'être prise en considération, il faudrait la vérifier en examinant au microscope les traces de fabrication. Une façon de parvenir à l'idée de centre à partir de simples "ronds" est de faire, comme les Australiens, des cercles concentriques de plus en plus petits à l'intérieur d'un cercle donné jusqu'à ce qu'on ne puisse plus faire qu'un point! Le correspondant technique en serait le percement des bâtons par un mouvement rotatoire (voir supra, § 1).
L'angle droit est lui aussi omniprésent, et lui non plus n'est pas construit; les Australiens découpent "au jugé" l'écorce d'eucalyptus pour en faire un cadre rectangulaire.
Si les figures de base sont faites plus ou moins grossièrement et ne sont pas à proprement parler construites, car il n'y a pas de règle pour faire les traits, ni de moyen de reporter exactement l'angle d'un chevron pour en faire une ligne brisée, ni de compas pour tracer des arcs de cercles, elles servent de point de départ à des *compositions* dont le seul instrument est le cerveau qui les fabrique par *symétries* . Une ou plusieurs symétries et quelques fois même des symétries glissantes enrichissent la panoplie des figures. Décompositions en tracés de base et compositions par symétries, premières analyses que j'ai décrites au § 2-4, la géométrie est bien là, mais encore éparpillée, ensevelie dans le mythe comme simple auxiliaire, et certainement pas savoir-faire autonome.
De la *mesure* on ne peut pas dire grand chose, sinon qu'il existe à cette époque comme aux précédentes un sens spontané de la comparaison des grandeurs, sens utile pour la fabrication des sagaies et la couture des vètements. Il est tout à fait probable que les hommes du paléolithique supérieur connaissaient les nombres, mais pas nécessairement les systèmes de numération : les Australiens n'en avaient pas. Ils pouvaient associer ces nombres à un trajet pour en indiquer la durée sous la forme d'un nombre d'étapes, mais n'en faisaient guère usage.

-oOo-

# CHAPITRE IV

# NEOLITHIQUE.
# PRIMITIFS AGRICULTEURS-ELEVEURS.
# PREMIERS PAS VERS LA SPECULATION GEOMETRIQUE : QUELQUES EXEMPLES AFRICAINS.

## 1-Symbolisme primaire et symbolisme spéculatif.

Nous avons mis en relief le rôle éminent de la sagesse "symbolique" dans la création et l'entretien des formes géométriques de base. Nous avons également noté ses limites et l'obstacle qu'elle représente devant un développement autonome de ces formes, parce que les symboles "collent" aux choses, ils *sont* les choses, suivant ce paradoxe qui veut que l'on cherche, au moyen du symbole,atteindre l'essence des choses, tout en étant incapable de penser la procédure elle-même, c'est-à-dire de différencier la chose ou le phénomène de son essence.

Ce *symbolisme primaire* se traduit chez les aborigènes australiens dans certains choix de graphismes : "Pour l'observateur extérieur les motifs peints sur les corps ou les objets rituels des tribus du désert présentent une homogénéité. Ils sont en effet composés à partir d'une gamme réduite d'éléments : cercles pleins ou concentriques, ronds ou ovales, points, arcs, lignes droites ou sinueuses, plus rarement des spirales, ainsi que quelques empreintes animales. Pour les aborigènes de ces régions, le choix d'éléments graphiques visant à représenter telle ou telle chose est explicitement analogique : il s'inspire de la forme des empreintes correspondantes. Les oiseaux sont définis par des flèches, traces de leurs pattes sur le sable; les êtres assis par des arcs, marque lisible de leur assise; un arbre sera représenté par un cercle, diamètre du troncla surface du sol; et la pluie par des lignes parallèles, aspect pris par le ruissellement des eaux sur la terre..." (Glowczewski 1991, p.304)

Je ne sais pas si les aborigènes ont des noms pour leurs symboles et pour les formes géométriques en tant que telles; mais lorsque ces noms existent chez d'autres peuples primitifs, ils reflètent la chose représentée. Ainsi, au Rwanda, les motifs de base des décorations portent des noms d'objet; un triangle équilatéral est un carquois, un triangle isocèle avec un angle obtus et le côté opposé dessiné verticalement est un couteau, un triangle rectangle est une personne aimable (??), un carré est du millet, un rectangle une virolle de lance, etc...(Boas, p.111). Ou chez les Pangwe d'Afrique de l'ouest, un triangle isocèle à base "large" est une feuille de décoration de flèche, et un triangle isocèle à base "étroite" une pointe de lance (id., p.112). La catégorie générale du triangle avec ses sous-catégories isocèle ou rectangle leur importe peu, de même que celles du quadrilatère; les Ojibwa, tribu d'Amérique du nord, chasseurs-cueilleurs pour l'essentiel, dessinent leurs mythes sur des écorces de bouleaux avec force cercles concentriques, rectangles imbriqués, cercles avec des diamètres perpendiculaires, tout cela avec un vocabulaire proprement géométrique extrêmement pauvre : rond, rond et allongé, plat, droit, arête anguleuse et pointe anguleuse (Closs, p.164 et 165). Il leur est impossible, avec de tels vocables, de décrire leurs propres dessins autrement que de façon purement qualitative : deux rectangles à côtés parallèles et ayant le même centre seront la maison du chaman pour le premier et le trajet de la procession pour le second (id., p.201). Il est intéressant de remarquer que les mèmes Ojibwa ont une ébauche de description purement formelle des figures, mais seulement lorsque celles-ci viennent des Européens, donc lorsqu'elles ne proviennent pas de leur propre mythologie ou de leurs propres édifices, autrement dit lorsqu'elles n'ont *aucun sens* pour eux: un carré ou un rectangle sera "une succession d'angles droits" et un triangle "une succession d'angles non droits".

Pour que la géométrie puisse pointer le bout de son nez, il faut en effet que l'on puisse, un instant au moins, détacher les symboles de leur sens et les envisager pour eux-mèmes, admettre qu'ils peuvent avoir une vie autonome et qu'ils sont eux aussi une catégorie d'objets susceptibles de classements en types et en sous-types, à l'image de ce que font tous les primitifs pour le monde et leur société. Et cela, nous venons d'en avoir une illustration frappante avec quelques exemples de vocabulaire, est impossible dans le cadre du symbolisme primaire.

La deuxième étape du symbolisme, le *symbolisme spéculatif* , est inconnue des chasseurs-cueilleurs et au contraire nettement caractérisée chez les agriculteurs-éleveurs. C'est sous son égide que vont s'ébaucher les premières spéculations purement géométriques, et je l'établirai à partir de l'exemple de deux peuples africains voisins dont les mythologies offrent des analogies remarquables, les Bambaras et les Dogons.

G.Dieterlen expose le mythe bambara dans son *Essai sur la religion Bambara*; avec Y.Cissé, dans les *Fondements de la société initiatique du Komo*, elle décrit les rites d'une société, la plus importante des grandes institutions masculines bambaras et dont tous les hommes font partie après la circoncision, qui se veut "l'unique dépositaire de l'ensemble des valeurs spirituelles et de toutes les autres valeurs de l'univers tangible" (id., p.18). De Ganay et Zahan ont transcrit la description dessinée de la création de l'univers faite par un prêtre du Komo.

Dans *Dieu d'eau*, M.Griaule relate sa première initiation par un vieux sage Dogon aveugle, Ogotemmeli; il a eu droit par la suiteune initiation approfondie qu'il dévoile dans le *Renard pâle*, rédigé en collaboration avec G.Dieterlen. Ces divers textes, examinés dans le détail, montrent de nombreuses différences ou même des contradictions dans l'exposé du même mythe; de l'avis même des informateurs locaux, il y a plusieurs écoles et plusieurs versions. La même trame fondamentale du mythe est accueillie dans des figures variées, sans que l'on sache très bien si cette variété est due à des initiatives individuelles de l'informateur, difficilement décelables à cause de la transmission essentiellement orale des mythes, où s'il y a réellement différentes écoles reflétant des rivalités entre les nombreuses sociétés initiatiques, ou des strates diverses dans une évolution historique. Quoiqu'il en soit, la démarche générale est invariante, et c'est ce qui nous importe ici.

## 2-Mythe et spéculation.

Les mythes dogons et bambaras de création nous font immédiatement entrer dans la nouvelle sagesse du symbolisme spéculatif, par la nette distinction de deux étapes: création des symboles d'abord, et de l'univers ensuite. Pour les Bambaras, le monde a été créépartir du néant, "gla", qui signifie à la fois vide originel et mouvement, et aussi principe de création continue. Par un processus très compliqué qu'il est inutile de reproduire ici, les contorsions du "gla" vont créer les signes avant-coureurs des choses elles-mêmes, et ces signes ont un pouvoir interne de multiplication :

"Ainsi les signes ont-ils proliféré pour *préfigurer dans l'abstrait* (souligné par moi), tous les êtres et toutes les choses qui devaient former l'univers... Au terme de la création, les êtres et les choses se trouvèrent nantis ou gardiens d'un signe, ou d'un groupe de signes qu'ils matérialisent..." (Dieterlen et Cissé, p.25 et 26).

Les signes ainsi apparus ne sont pas un paquet désordonné de graphies, mais ils sont théoriquement composés de signes fondamentaux associés aux quatre éléments, l'air (courbe ou spirale), le feu (ligne brisée), l'eau (cercle ou sinusoïde) et la terre (segment de droite) (fig.IV-1). "Dans la conception des Bambaras, cette décomposition du signe est associée au fait que l'homme possède ou ne possède pas l'objet qu'il désigne. L'homme qui contient toutes les choses de l'univers *ne les a possédées que par une opération de l'esprit consistant à décomposer les signes* (souligné par moi) qui les représentaient, et à en analyser les parties." (id., p.75), et ces "éléments" des signes sont pour une part des figures géométriques de base.

Un pas important, dans l'évolution de la pensée, a été franchi. Une scission certes partielle, mais scission tout de même, s'est produite entre le monde des symboles et le monde réel. Le premier est né et s'est développé avant le second, selon ses propres lois assez obscures. Cette vision des choses est la porte ouverte à la spéculation abstraite puisque dans une certaine mesure le symbole peut être étudié pour lui-même, analysé et recomposé; si l'on en croit le commentaire de Dieterlen, les Bambaras sont très fiers de cette conception. Les rites, les méthodes d'initiation et de divination vont se ressentir du nouvel esprit, et nous nous attacherons à deux aspects : spéculation géométrique, composition et décomposition de figures, et spéculation numérique, composition et décomposition de nombres.

## 3-Mythe et géométrie.

La création est au fond synomyme de dessin, qui accompagne obligatoirement tout récit ou tout rite. La spirale reflète le tourbillon initial qui, dans le néant originel, a donné naissance aux signes. L'univers seul est représenté par un rond ayant une spirale en son centre (fig.IV-2), mais à la périphérie duquel sont déjà ébauchés les quatres points cardinaux, découverte capitale dont nous reparlerons plus loin. Les orients sont diamétralement opposés et les deux diamètres sont à peu près à angle droit, mais non tracés. Dans une version donnée par un prêtre du Komo, l'esprit de dieu, c'est à dire le vide sans dimension, se concentre en un point puis s'arrondit en boule: la spirale reflète bien le mouvement dont le résultat est une boule. Très souvent en Afrique d'ailleurs, la spirale est considérée comme une variante des cercles concentriques (Faïk-Nzugi, p.84). Le prêtre poursuit en disant que dieu "trace enfin les limites de l'univers en tournant aux confins de sa pensée qui, *de ronde, s'étire en carré* , comme si la boule initiale s'était ouverte en quatre parties égales pour qu'il puisse ainsi la mesurer, en voir les directions et donc la comprendre" (De Ganay et Zahan, p.154 ). Ce passage capital du rond au carré est ici explicitement associé à la découverte des orients (les "directions") et une compréhension accrue du monde. Le cercle, ou le rond, est "une manière de figurer tout ce qui est encore dans l'obscurité, dans l'inconnu...Il rappelle encore que l'esprit doit faire le tour d'une idée afin d'en saisir le sens. Le cercle est également la projection, en plan, d'une boule et celle-ci exprime la notion d'une chose compacte dont on ne sait pas ce qu'elle contient si elle n'est pas ouverte. Comme cette dernière, le cercle représente ce qui est caché, non différencié, non analysé. C'est donc par un cercle que l'on peut figurer le monde en gestation dans la pensée de dieu ...Le cercle figure donc l'esprit divin inconnaissable, dans sa perfection la plus absolue...C'est par un point, une petite boule, que dieu s'est d'abord manifesté en s'amassant dans le vide...C'est en s'encerclant, c'est-à-dire en tournant autour de lui même, qu'il a donné la vie" (id., p.168).

Le cercle, la spirale et les cercles concentriques participent du même concept, celui de l'inconnaissable mouvement primordial et il est donc par*essence symbolique* non mesurable. On dessine un cercle, mais on pense à l'onde créée par un cailloux jeté dans l'eau qui produit des cercles concentriques s'élargissant sans fin, ou au tourbillon spiralé qui emporte la feuille; là encore, comme dans le symbolisme primaire, l'échafaudage mythique fait obstacle dans un premier temps à la reconnaissance du cercle comme simple ligne séparant deux régions du plan, et mesurable au moins par un diamètre. Le carré au contraire peut être orienté, mesuré et donc *compris*; la mesure ne peut être en effet que mesure de la ligne droite parce que pour mesurer l'homme doit être physiquement présent, avec ses unités corporelles (le pas, la coudée, la palme, le doigt...) qui étant "droites", ne peuvent mesurer que du droit, et de plus en parcourant l'objet dans l'opération de mesure il en prend possession. Compréhension signifie donc ici, à mon sens, finitude et prise de possession par l'homme *mesurant*, thème souvent repris en Afrique et ailleurs dans le monde.

Selon une autre version du même mythe, Faro, créateur du ciel et gardien du double immatériel des êtres, "réorganisa l'univers entier et établit l'ordre dans lequel, aujourd'hui encore, se déroule son fonctionnement...Pour mener à bien cette oeuvre, il entreprit un voyage de reconnaissance aux confins du monde pour la nomination des points cardinaux...Le trajet parcouru fut mesuré en palmes, l'unité étant de 22 palmes. Il en fut de même pour la distance séparant les points cardinaux, la hauteur du ciel, la profondeur de la terre." (Dieterlen, p.47 et 48). Chez les Dogons, le vide initial a aussi une forme ronde ou ovale; puis l'esprit de dieu apparaît en son centre, et le début de la création est le tracé de deux diamètres perpendiculaires pour engendrer les points cardinaux. Plus tard, Ogo, créature rebelle qui finira en changée en Renard, essaie de concurrencer le dieu Amma dans sa puissance créatrice en mesurant de ses pas l'univers en formation; ses allées et venues "rayent son placenta" et dessinent un rectangle quadrillé, préfiguration de la morphologie du monde terrestre.

Très loin de là dans l'espace et dans le temps, le Popol-Vuh, récit Maya-Quiché de la création affirme de même : "grandioses furent leur origine et les récits contenus dans notre premier livre, écrit dans l'antiquité, lorsque tout ce qu'il y a sur la terre et ciel fut créé, en cherchant les angles du firmament et en mesurant tout ce qu'il y a en lui, en carrant les mesures" (Girard, p.17) ou, selon une autre version: "grandioses étaient la description du récit de la création du ciel et de la terre, de comment tout fut formé et partagé en quatre parties, de comment le ciel fut mesuré et marqué. On apporta une corde pour mesurer et elle fut tendue dans le ciel et sur la terre, aux quatre angles et aux quatre coins." (id.)

Le thème géométrique principal du mythe est donc l'association du rond et du carré et la transformation du premier dans le second, mais sans aucun souci d'équivalence d'aire ou de périmètre, puisque par essence, le rond n'est pas mesurable. L'autre thème est l'association des deux carrés induits par l'observation du mouvement apparent du soleil, le carré de sommets NO-NE-SE-SO et le carré N-E-S-O.

Voyons cela succinctement. La combinaison la plus courante est la division du cercle ou rond initial par deux diamètres perpendiculaires, dont les extrêmités constituent les quatre orients. Si l'on joint ces quatre points, on obtient un carré inscrit dans le cercle avec ses quatre angles aux quatre points cardinaux, comme posé sur sa pointe. C'est une des versions du trajet d'Ogo-Renard, appelé losange par les auteurs (Griaule-Dieterlen, p.177). Les losanges connotent pour les Dogons les "directions de l'espace", dites "angles quatre", et les rectangles ou carrés (c'est à dire la même figure, mais "posée à plat" avec pour sommets NO-NE-SE-SO) dessinent les directions cardinales associées à l'espace terrestre, dites "côtés quatre" (id., p.81 et 436) (fig.IV-3 et IV-4). Le vocabulaire est particulièrement confus, puisque le losange dit "angle quatre" a ses *côtés* orientés par la direction des *angles* de la figure "côté quatre"! On peut noter ici que les figures perdent les noms qualitatifs dont nous avons parlé au §1, mais d'un autre côté la même figure change de nom selon sa position par rapport aux orients; l'espace n'est pas encore isotrope. Tout se passe comme s'il était sous entendu que le lecteur du dessin a le nord devant lui et l'ouest à sa gauche; suivant cette conception le carré est bien posé à plat sur un côté, alors que le "losange" est posé sur un angle.

Il est remarquable que ces deux figures soient aussi associées chez les Mayas-Quiché, avec le losange inscrit dans le carré, le pourtour du losange étant "les quatre chemins du monde"; le quadrilatère cosmique proprement dit est noté par sept points, à savoir les quatre positions solsticiales du soleil et ses trois positions zénithales, et le point central acquiert la dignité de dieu Sept (Girard, p.173 et 25). Le passage du rond au carré donne lieu à des contorsions diverses. Chez les Dogons, le dieu Amma tourne sur lui-même, bras étendus, et les abaisse de temps en temps pour nommer les orients; l'objet rituel correspondant est la "fourche de l'espace", faite d'un axe vertical supportant un cercle, ciel où se tient Amma, d'où partent quatre chaînes placées comme aux quatre directions cardinales (Griaule-Dieterlen, p.164). La version donnée par le prêtre bambara du Komo est différente; il commence par dessiner sur le sol un carré. Si on laisse de côté les multiples significations symboliques pour ne s'attacher qu'au mouvement de la figure, on assiste d'abord à la division du carré en quatre carrés égaux par deux axes perpendiculaires. C'est le double dédoublement de la "pensée de Dieu" qui va donner naissance au monde grâce à la giration des deux axes (De Ganay et Zahan, p.168); il y a ici une belle incohérence symbolique puisque le carré est le symbole de la terre créée, ainsi d'ailleurs que de l'homme, alors que son tracé *précède* celui du mouvement fondateur circulaire. Mais on y gagne au point de vue géométrique, puisque le cercle est explicitement engendré par des segments tournants et que par là même il devient implicitement mesurable par un diamètre ou un rayon, il enclôt un espace fini et perdra tôt ou tard sa connotation d'inconnaissable. J'insiste sur le fait que le mythe s'appuie ici sur une véritable réflexion géométrique; on le voit aussi lorsque le prêtre "explique que malgré les divisions qui séparent les petits carrés, *ceux-ci sont identiques* (souligné par moi), ce qui ... démontre que si les adeptes du Komo ont chacun leurs attributions, ils contribuent cependant à former une société cohérente et unie" (id., p.170).

Voici une autre construction géométrique au service du mythe, chez les Dogons, pour fabriquer une tortue à partir des deux carrés de la création, car "la tortue... était l'une des représentations du monde. La carapace supérieure dite caisse de la tortue représente le monde céleste. Celle du dessous dite ventre de la tortue est la terre" (Griaule et Dieterlen, p.196). Amma part de la figure des deux carrés inscrits l'un dans l'autre (fig.IV-5), le placenta et le trajet cosmique d'Ogo-Renard, et en coupe les quatre angles; ces angles devinrent respectivement la tortue, le soleil couchant, le soleil de midi et le soleil levant. Le triangle de la tortue restant étalé, "Amma posa dessus...le triangle plié en deux du soleil levant puis le triangle plié en quatre du soleil de midi, enfin le triangle plié en deux du soleil couchant" (id, p.197).

Voilà un bel exemple de spéculation géométrique faite de composition, de décomposition et de mouvement de figures, autorisé par le nouveau statut d'indépendance relative des symboles, puisque ces opérations ont lieu dans un monde antérieur et parallèle, celui des "signes". Pour un temps, nous sommes donc transportés dans un monde abstrait de manipulations formelles diverses et qui font avancer la connaissance. Mais il ne peut être encore question d'aller jusqu'au bout, de lâcher le monde pour ne s'intéresser qu'au signe; l'intérêt dominant est le mythe sous-jacent. On ne va pas décomposer les deux carrés imbriqués en triangles pour en découvrir des propriétés internes, mais parce qu'il *faut* que le mouvement de la création de l'univers aboutisse symboliquement à une tortue. Ainsi *l'action* est toujours présente et dirigeante; la géométrie ne peut exister sans être le reflet d'une action et d'une action humaine. La figure n'a d'intérêt que si elle est produite ou au moins "parcourue", nous l'avons vu pour le carré de l'univers créé. Les primitifs agriculteurs ont découvert probablement les orients, cette croix de l'univers, essence du mouvement apparent du soleil. Les Dogons savaient, comme les autres, en faire un relevé avec visées et repères (id., p.480); tous les éléments étaient donc réunis pour en faire une figure objective, indépendante de la volonté humaine, puisqu'il s'agit du mouvement d'un astre, repéré avec des objets du monde matériel. Pourtant la sagesse primitive ne l'acceptera qu'après l'avoir apprivoisée, *humanisée* , en la parcourant et en la mesurant symboliquement. Dans le même ordre d'idées, le quadrilatère cosmique des Mayas-Quiché est associé au nombre sept, les sept positions du soleil; mais ce nombre sept devra être personnalisé, puisqu'il devient le *dieu* Sept!

Ainsi l'action l'emporte-t-elle sur la spéculation, et par suite le couple mythe-rituel est toujours aussi uni que chez les chasseurs-cueilleurs. La vieille technique de l'"ensemencement" des symboles warlpiris existe encore en pays Dogon : "les dessins...connotant la chose réalisée...sont faits sur les facades des demeures ou des sanctuaires, et peuvent être vus de tous. De plus, le dessin est lavé par la pluie qui entraîne sa forme et sa force à l'extérieur pour la donner aux hommes et promouvoir ce qu'elle représente dans la réalité" (id., p.80). Le rite est donc toujours le but de la sagesse, mais il va devenir plus construit, plus géométrisé,l'image du mythe.

4-Rites et géométrie.

L'importance accrue de la construction se reflète déjà dans l'édification d'*autels*, inexistants à ma connaissance chez les chasseurs-cueilleurs. L'espace et la création ont été conceptualisés sous forme géométrique, et par conséquent le rituel qui reproduit tout cela a besoin de recréer un *cadre* de l'action. Tel est le sanctuaire du Komo, "un petit édifice en terre battue...orné de raies et de dessins géométriques noirs, blancs et rouges symbolisant un stade de l'évolution des signes du 'gla' qui sont exécutés chaque année pendant la cérémonie anniversaire du Komo" (Dieterlen et Cissé, p.39). D'après la photographie (id.), le sanctuaire est une pyramide à base carrée, mais dont le sommet est arrondi. "A quelques mètres du seuil et dans l'axe de la porte, se dresse un autel en pisé de forme ovoïde ou hémisphérique...Par la forme de ses parties supérieure (visible) et inférieure (enfouie sous terre), il représente la pensée et la réflexion divines...La forme oblongue ou sphérique qui constitue l'ensemble de ces deux parties de l'autel matérialise l'oeuf de l'univers" (id.). Les Dogons fabriquent des autels de forme conique.
Des exemples analogues dans d'autres régions du monde prouvent que la forme de pensée Bambara-Dogon est caractéristique. La pyramide à base carrée des Mayas-Quiché provient des rites horticoles: à l'origine, il s'agit d'un simple jardin sur plateforme, autel où se déroulent les rites de la culture; il se transforme ensuite en superposition de plates-bandes intégrées dans un solide géométrique, qui prend maintenant la forme du tumulus qui cale la tige de maïs. "Le fait de caler la tige est comparé à l'érection d'un autel au pied de la tige, pour défendre magiquement la plante contre les esprits malins (vents), propriété qu'a aussi la pyramide de protéger l'idole" (Girard, p.242). Certains Indiens d'Amérique du nord érigent aussi des autels avec des préparations rituelles soignées où l'on retrouve des cercles concentriques, symboles du pays des esprits, associés à des croix orientées (Mallery, p.210 et 505).

On remarque également l'importance des constructions dans l'exécution des *dessins rituels* enseignés aux enfants. L'enseignement du Komo a lieu après la retraite de la circoncision des enfants mâles; "cet enseignement, d'un caractère obligatoire, comporte :

- l'apprentissage de jeux divers, de chansons profanes ou religieuses et historiques, de fables, de contes etc...

- la construction,l'aide de ficelles, de figures sacrées, dont par exemple 'le grand filet', symbole de la 'pêche au savoir' et 'le grand oiseau à quatre ailes', le vautour détenteur du 'savoir clair et rapide'.

- le tracé de certains grands tableaux de signes..." (Dieterlen et Cissé, p.56).

Les auteurs, hélas, ne donnent aucune précision sur les constructions à l'aide de ficelles et le dessin du vautour, qui font immédiatement penser aux rituels védiques! Mais s'il y avait construction dans ce sens là, cela se saurait et les auteurs l'auraient signalé. Il doit s'agir simplement de matérialiser des contours sur le sol à l'aide de ficelles, ou quelque chose comme cela.

En revanche, le tracé des grands tableaux de signes est une éducation géométrique plus précise. Le premier tableau, celui de l'univers seul (fig IV-2), a été décrit plus haut. Le deuxième est une sorte d'ovale que l'on partage en deux par un segment vertical et en trois par deux segments horizontaux. La partie centrale est celle de l'espace seul, avec les spirales-créatrices au centre, les parties du haut et du bas étant, semble-t-il, celles du ciel et de la terre (fig.IV-6). Le troisième tableau est toujours ovoïde, mais nettement divisé en deux (le ciel et la terre) par un segment horizontal, avec de surcroît un axe vertical de 14 rectangles superposés, les sept ciels et les sept terres (fig.IV-7). Ainsi l'enfant apprend-il à imaginer la création et à préparer la re-création rituelle sous la forme de transformation de figures où l'exactitude au sens contemporain est absente, mais où l'élément initial, indifférencié, rond ou spiralé, fait place à l'élément créé, orienté, constitué de segments de droites, d'angles droits et de rectangles.

L'exécution des dessins est partout un acte sacré, nous le savons et nous savons pourquoi, qui ne peut se faire n'importe comment mais doit obéir souvent à des règles minutieuses. La tendance se fait même jour de multiplier les difficultés comme par jeu et d'en faire la matière de sortes d'examens initiatiques. Une des graphies les plus importantes et les plus sacrées du culte bambara, le "bana ngolo", représente le "tracé de la généalogie de l'univers"; il est fait de lignes brisées à angle droit et doit être tracé d'un seul coup "de bas en haut et exclusivement à l'aide du médius et de l'index quels que soient les lieux et les circonstances de ce tracé: par terre au cours des jeux d'enfants et de l'enseignement du Komo, sur les planchettes...où il va être pyrogravé etc..." (Dieterlen et Cissé, p.202) (fig.IV-8).

Il n'y a pas grand chose à retenir au point de vue géométrique, sinon la confirmation de l'angle droit comme symbole de la création; le bana ngolo est lourdement chargé de symboles, numériques au premier chef, dont la description nous donnera une première idée de la numérologie primitive. A l'étage supérieur, quatre segments, nombre de la femme (les quatre lèvres); trois à l'étage inférieur, nombre de l'homme (la verge et les deux testicules). Au centre du dessin, une ligne brisée de 17 segments et 16 angles ou "attaches" est dite chaîne de la descente (fig.IV-9), ou cordon ombilical de l'univers, et ses 17 + 16 = 33 éléments sont les 33

vertèbres du corps humain. Les 9 étages correspondent à 9 mois lunaires de 30 et 29 jours alternés, soit un total de 266 jours, ce nombre étant celui des signes sacrés de la création etc...
Les dénombrements et les calculs divers établissent des liens invisibles entre les éléments les plus disparates du monde visible (sexes, vertèbres, mois, période de procréation...) et c'est ce qui fait leur force et leur attrait irrésisistible aux yeux du sage.
La graphie du bana ngolo n'offre guère de difficulté technique, mais c'est loin d'être partout le cas. Les "sona" Tchokwe (Angola) sont des figures variées qui doivent être tracées autour de points fixés à l'avance, d'un trait continu et sans répétition (Ascher, p.31 et Gerdes 1991), ce qui peut être réellement difficile; de même en ce qui concerne les "nitus" chez les Malekulas de la République de Vanuatu (ex Nouvelles Hébrides), dessins exécutés sur le sable par les hommes suivant le même principe, et qui ont une grande importance mythique et rituelle. Par exemple, l'entrée au pays de la mort est gardée par un ogre menaçant, juché sur un rocher et qui pose des colles aux arrivants; devant lui, il y a une "figure sur le sable et, au moment où l'esprit de la personne décédée s'approche, le gardien efface la moitié de la figure. Le candidat est mis au défi de compléter le dessin qu'il est sensé avoir appris pendant sa vie, sous peine d'être mangé" (Ascher, p.45).
Dans tout ce que nous venons de voir, il n'y a pas de trace de construction géométrique au sens contemporain. D'ailleurs, je ne connais aucune mention de l'existence d'instruments de dessin, mis à part les mystérieuses ficelles de l'initiation du Komo. Rien de comparable, donc, avec les exigences austères des rituels védiques. Pourtant nous avons assisté à un pas en avant dans ce sens : chez les warlpiri en effet les dessins rituels pouvaient se faire dans une joyeuse anarchie; mais maintenant on commence à imposer des règles, et le tracé devient *problème* et matière à jeux et compétitions.

Les étapes du graphisme rituel Dogon sont très originales et méritent une description. Comme chez les Bambaras, les signes, manifestation de la pensée créatrice, ont existé avant les choses et les ont déterminées, mais avec une "profondeur" plus grande. Le signe, avant de donner naissance à la chose, passe par des étapes successives assimilées à la croissance des plantes depuis la semence jusqu'à la poussée de la tige et à celle de l'être humain depuis le sperme qui pénètre la femme jusqu'à la naissance de l'enfant. Lorsque le ventre maternel remue, on dit "le ventre de la femme a dessiné l'enfant" (Griaule et Dieterlen, p.77). Les étapes sont les suivantes : le signe est d'abord "bummo", ou trace, quintessence de l'abstraction, la vie à l'état pur. Le bummo du fonio (céréale locale) est une sorte de spirale qui, classiquement, symbolise la vie. Le signe est ensuite "yala"; avec lui on se rapproche de l'objet réel. Il "fait intervenir deux éléments complémentaires mais différents : il connote par un pointillé le schéma théorique de l'être représenté, cette théorie impliquant également la fonction, ici associée à la forme...(et de plus)...le pointillé est nombre, et ce nombre correspond à la classification numérique fondamentale des éléments universels. Donc le pointillé classe la chose: le yala de la maison indique les angles de la future demeure; il est fait de douze points, ce nombre étant attribué à la terre inculte et au Renard" (voir fig.IV-10) " Le yala de 'l'oeuf' d'Amma comporte une spirale interne indiquant la forme du développement de la vie à l'intérieur de l'oeuf. Il est fait de 266 points connotant les 266 signes fondamentaux" (id., p.78). Le yala est pour nous particulièrement intéressant parce qu'il attribue systématiquement au signe un nombre, qui doit être nécéssairement *figuré* par un arrangement de points; dans certains cas, il s'agit d'une abstraction de nature géométrique comme dans le yala de la maison où les points marquent les angles; deux points sont donc implicitement reconnus comme l'amorce d'un segment, et dire que la maison *est* douze est un pas en avant vers la dénomination d'une figure par un nombre qui confirme celles que nous avons vu plus haut (angles quatre, côtés quatre), et que reprendront les géomètres plus avancés (triangle, quadrilatère...). Le yala des 104 articulations du Nommo, autre divinité dogon, relève en gros du même ordre d'idées, puisque d'un point à un autre, c'est à dire d'une articulation à une autre, il y a un os droit. La ressemblance de ce graphisme avec des dessins préhistoriques du néolithique européen est extrèmement frappante (fig.IV-11) et suggère une interprétation numérique des nombreux pointillés dénombrables du paléolithique supérieur européen (une étude est ébauchée dans Leroi-Gourhan 1992, p. 325 et suivantes). C'est aussi à rapprocher d'une pratique attribuée par Aristote au pythagoricien Eurytos, qui "attribuait un nombrechaque chose: tel nombre à l'homme, tel nombre au cheval, et s'aidait de jetons pour reproduire les formes des animaux et des plantes, comme quand on ramène les nombres aux figures du triangle et du carré" (cité dans Dumont, p. 515. Je dois à B. Vitrac de m'avoir signalé cela). Dans d'autres cas, le yala n'a rien à voir dans sa forme avec l'objet représenté, et sa figure en croix, en carré, en cercle ou autres sert visiblement surtout à la lecture commode du nombre correspondant. Mais en aucun cas il ne s'agit de nombres figurés au sens pythagoricien, où la figure est là uniquement pour montrer des propriétés numériques.

Les deux dernières étapes de la naissance du signe dogon sont le "tonu", pointillé sans signification numérique et qui est presque le tracé définitif, puis le "toy", dessin réaliste en trait plein. Si l'on reprend maintenant l'apparition d'un côté de la maison, on est passé des deux extrémités dans le yala à un trait en pointillé dans le tonu et au segment lui même dans le toy : deux points déterminent une droite, puis la droite est conçue comme ensemble de points, avant d'être engendrée par un point. Voilà comment, sous couvert d'un approfondissement du symbolisme graphique, des notions géométriques capitales font leur chemin, implicitement bien sûr.

5- Mythes, rites, divination et nombres.

Les exemples que nous venons d'exposer associent toujours ou presque les supports numériques et géométriques du symbolisme. Nous allons dire ici un mot des nombres, parce qu'ils nous permettrons de mettre en relief une fois encore le côté supérieur, évolué, du symbolisme spéculatif. A ma connaissance, il n'y a rien qui ressemble de près ou de loin à une mystique des nombres chez les aborigènes d'Australie. Elle existe, chez les Indiens d'Amérique du nord, mais sous une forme primaire, immédiate. Le nombre 4 y est partout sacré, à cause des orients; il est quelque fois accompagné du nombre 7 lorsqu'on y ajoute le zénith, le nadir et le centre. Pour être en harmonie avec l'univers, il faut donc "être" quatre (ou sept); cela se traduit par une foule de gestes rituels répétés quatre fois. Ainsi chez les Ojibwa, la fille qui devient pubère doit s'isoler quatre jours; elle est astreinte en outre à une sorte de jeûne qui débute par une cérémonie où le shaman lui porte des aliments à la bouche avant de les lui retirer au dernier moment, et ceci quatre fois de suite. Lorsqu'on enterre un mort, on lui met des provisions pour quatre jours etc...(Closs, p.118 et suivantes). Les associations rituelles suivent le schéma simple: orients nombre 4 geste répété quatre fois; le nombre quatre est, on le voit, l'intermédiaire unique qui met *immédiatement* en harmonie la cérémonie et l'univers. Cette correspondance simple existe encore, bien entendu, chez les Africains plus avancés, comme lorsque certains gestes sont répétés quatre fois par les femmes et trois fois par les hommes, conformément au nombre correspondant à leur sexe. Mais déjà, sept, comme trois plus quatre, est l'expression de la création parfaite; ou bien cinq, comme quatre (femme) plus un (incomplétude), exprime la fausse couche et la mort. Comme les autres symboles les nombres peuvent maintenant mener leur vie souterraine, se dissocier et se réassocier par des opérations avant leur "sortie" dans le monde réel; la spéculation numérique prend le pas sur la simple association primaire.

La cosmologie Luba (peuple bantou) offre par exemple une étrange spéculation sur le pair et l'impair; une créature est nommée par dérision "l'équivoque" parce que son nombre est impair. L'homme lui même n'est pas satisfait car, comme il le dit au créateur : "Mais jadis quand tu créais en perfection, tu créais dans l'ordre numérique du nombre quatre. Et voici que tu nous a créés dans l'ordre numérique du chiffre 10, et non de douze qui est celui des ancêtres primordiaux et principaux" (Mubumbila p.99). La révolte des créatures contre le créateur est associée au mélange du pair et de l'impair. Le pair est certes bénéfique, mais "pairement pair" est encore mieux, puisque l'homme "pairement impair" ($2 \times 5$) est fondé à se plaindre; mais avec une belle incohérence, les nombres de la forme $3 \times 2^n$ sont "les nombres complets et de grande perfection" (id.).

Un autre exemple éclairant est celui de la méthode bambara de mesure du "double" :

"des indications sur l'individu sont données aussi par le double ou jumeau (dya) qui se matérialise dans l'ombre du corps, laquelle est mesurée en utilisant comme unité l'auriculaire. On procède à cette opération au soleil, à midi, quand l'ombre est la plus courte...Les mesures relevées sont regroupées alternativement par trois, nombre mâle et par quatre, nombre femelle..." (Dieterlen, p.239). Chaque groupe de mesures est repéré par des bâtonnets variés, puis "une prière est dite sur les bâtonnets qui sont ensuite groupés et comptés avec leur représentation chiffrée et leur symbolisme suivant des calculs compliqués dans le détail desquels nous ne rentrerons pas" (id., p.240). Quel dommage que nous n'ayons pas droit au calcul! On aurait pu le comparer à la divination chinoise par les brins d'achillée! Mais l'important ici est de noter le *calcul* intermédiaire, la spéculation numérique porteuse de sens caché, suivant le schéma : homme nombres (mesures de l'ombre) calculs résultats des calculs révélations sur l'homme, véritable schéma de *mathématisation* du problème divinatoire et qui a perdu par là même l'immédiateté de la numérologie style Indiens d'Amérique du nord.

## 6- Rôle subordonné des nécessités techniques.

Je ne ferai qu'une allusion rapide, pour la période qui s'achèvela veille des premiers écrits mathématiques, à ce que j'ai appelé la "géométrie technique"; je ne la considère pas comme négligeable, c'est un domaine qui doit être étudié de près. Mais l'enquête menée pour le présent mémoire montre que le rôle dominant dans le développement de la géométrie doit être attribué à l'activité symbolique mythique-rituelle. On pourrait croire par exemple que le tissage et la vannerie, techniques nouvelles au néolithique, donnent naissance aux intersections de droites, aux angles droits, aux droites parallèles, aux quadrilatères etc...Mais nous savons que toutes ces figures ont été inventées bien avant. De même pour la roue et le tour de potier, qui pourraient avoir produit le concept de cercle (le rond centré), mais il est certain que cette trouvaille a au moins 25000 ans d'existence (voir chap.III). Il serait en revanche admissible de penser que les tracés "eulériens" dans le sable, les sona et les nitus, ont été suggérés par le tissage ou la vannerie qui peuvent donner l'idée du défi de réaliser l'ouvrage entier avec un seul fil ou un seul roseau.

La construction des tentes, huttes et maisons, qui est bien pourtant ce qu'il y a de plus technique, est elle-même complètement dominée par la conception globale du monde; c'est celle-ci qui impose la forme architecturale, et non une forme techniquement commode d'habitation qui se transforme en symbole cosmique. Témoin la réaction de cet indien Sioux, qui ne supporte pas que les blancs lui aient fait abandonner son tipi pour des "boites carrées" : "Vous avez remarqué que tout ce que fait un Indien est circulaire, parce que le pouvoir du monde agit toujours suivant des cercles, et que tout essaie d'être rond. Dans les temps anciens, alors que nous étions un peuple fort et heureux, tout notre pouvoir venait du cercle sacré de la nation...Le vent tourbillonne, les oiseaux font des nids circulaires...Le soleil se lève et se couche suivant un cercle tout comme la lune, et les deux sont ronds. Même les saisons forment un grand cercle dans leur changement, en revenant toujours là où elles étaient. La vie de l'homme est un cercle de l'enfance à l'enfance...Nos tipis étaient ronds comme des nids d'oiseaux et on les installait toujours en cercle, celui de la nation, le nid de plusieurs nids où le grand esprit nous a signifié de faire naître nos enfants" (Ascher, p.125).

Cette confession poignante et très belle exprime on ne peut mieux la charge*affective* des formes et comment celles-ci sont avant tout des moyens de réaliser la grande unité de l'homme et de l'univers. Il est probable que pour convaincre notre Sioux, il aurait fallu lui envoyer un prêtre du Komo qui lui aurait démontré, figure géométrique à l'appui, que le carré est un modèle cosmique supérieur!

En Afrique aussi, la maison et le village sont des modèles cosmiques. Tout, théoriquement, doit être orienté, y compris chez les Dogons la position du couple pendant son sommeil! Là, le modèle de base est le corps humain qui fait bon ménage avec les modèles purement géométriques relatés plus haut. Chez les Fali, peuplade du Cameroun, "la maison naît, se développe et meurt comme l'homme. La construction elle-même est comparée tant à la gestation qu'au début du monde...La maison terminée et habitée est semblable à l'humanité adulte apte à procréer; elle est le monde fini...La maison constitue une représentation totale de la vie de l'univers. Elle est un élément vivant qui, comme l'homme, respire, et la fumée qui s'échappe des toitures est assimilée à l'air qui s'échappe des poumons...L'habitation écroulée est comparable à la mort des humains et à la fin du monde" (Lebeuf, cité dans Paul-Levy et Segaud).

Il est un domaine pourtant où les besoins pratiques jouent à mon avis un rôle déclencheur décisif, c'est celui de la *mesure* . La comparaison spontanée des grandeurs existe, nous le savons, depuis l'homo habilis qui choisit la taille de son cailloux en fonction de celle de l'outil futur. Mais au Néolithique la mesure, plus exactement la mesure des *longueurs*, est une technique acquise, avec des unités corporelles. Le mythe Dogon mentionne des unités d'aire et de volume : "le grenier merveilleux était le système du monde orienté...Il était le panier tressé qu'avait imité son constructeur et dont les hommes devaient faire leur unité de volume..L'unité de surface était donnée par la terrasse de 8 coudées de côté" (Griaule, p.37). L'unité de surface est donc un carré, mais l'unité de volume n'est pas encore un cube; le panier en effet est une sorte de pyramide à base circulaire et de sommet carré. Les échanges avec les peuples voisins, les constructions, la répartition des champs et des produits entre "familles" peuvent avoir donné l'impulsion initiale à une géométrie métrique. Mais le fait est que celle-ci est immédiatement happée dans un invraisemblable tourbillon symbolique et transformée, théoriquement au moins, en pratiques contraignantes. Chez les Dogons, un personnage ancestral créa un champ carré de 80 coudées de côté, qu'il répartit entre les 8 familles initiales. Les cultivateurs doivent, en conséquence, créer des parcelles de 8 coudées de côté entourées d'une levée de terre, ce qui donne au sol cultivé en pays de plaine l'aspect d'un damier régulier...analogue à une couverture faite de carrés noirs et blancs alternés, dite couverture des morts, parce que "le mort y est replié un instant comme un foetus dans la matrice, pour y être retrempé dans le réseau des vivants et des champs pleins de germes" (Griaule, p.74); la mort est aussi source de vie, comme le grain meurt pour donner vie à la plante...et c'est pourquoi le couple qui rentre à la maison pour se coucher et procréer doit se mettre sous la couverture des morts. Ce n'est pas fini : par le truchement de la couverture, la culture est assimilée au tissage : "La manière ancienne de cultiver est celle qui rappelle le tissage. On commence du côté nord, en allant de l'est vers l'ouest, puis en revenant de l'ouest à l'est. A chaque ligne, on plante 8 pieds et le carré comprend 8 lignes rappelant les 8 ancêtres et les 8 graines... L'ensemble des champs, autour du village, et le village lui même sont aussi une grande couverture. Les maisons à terrasse éclairées par le soleil sont les carrés blancs; les cours d'ombre les carrés noirs. Les ruelles sont les coutures unissant les bandes" (id., p.72). Bref, on n'en sort plus; quel monde compliqué, mais où l'on se sentait si bien!

## 7- Conclusion

Le progrès de cette période est essentiellement, si j'ose dire, idéologique. La voie est ouverte aux mathématiques pures par le biais de recherches plus approfondies sur les figures et les nombres, grâce, pour une part essentielle, aux bienfaits du symbolisme spéculatif. Je ne vois pas quels besoins techniques (je ne dis pas besoins *pratiques* parce que pour les primitifs tout mythe, tout rite, toute divination est action réelle sur le monde) pourraient conduire aux spéculations sur le pair et l'impair, sur la transformation du rond en carré et du courbe en droit, ou à la construction d'autels hémisphériques et de sanctuaires pyramidaux. Les pyramides à étages caractéristiques de l'Amérique centrale précolombienne sont le fruit d'un jeu purement cérébral, qui voulait concilier la terrasse carrée du jardin primordial et le cône de terre qui tient la tige de maïs. On construira des maisons rondes ou carrées parce que l'on a décrété que l'univers est rond ou carré.

On dit quelquefois que l'agriculture, nouveauté fondamentale de la période néolithique, exige des connaissances astronomiques approfondies, qui ont engendré la recherche de la précision dans les observations, et par là un progrès de la géométrie et de l'arithmétique; pour concilier les calendriers lunaires et solaires, on se pose par exemple des problèmes de congruences. Ce point de vue est insoutenable : les gens savent très bien observer des phénomènes variés de la nature (arrivée de tel oiseau, apparition de telle fleur, retour de tel poisson) qui leur indiquent les saisons et les périodes des travaux agricoles, tout cela sans aucun calcul; tel est par exemple le calendrie *Des Travaux et des Jours* d'Hésiode, purement qualitatif. Le seul moment où Hésiode donne des indications chiffrées réellement importantes, c'est dans la partie purement numérologique de son traité, où il dresse la liste des jours fastes et néfastes : le premier, le quatrième et le septième sont sacrés, le sixième est bon pour donner jour à un garçon, mais pas à une fille; le huitième jour, il faut châtrer les porcs etc...On ne peut imaginer meilleur appui à ma conclusion. Aucune raison technique n'impose d'inventer des modèles ronds ou carrés de l'univers ou de concilier la marche de la lune et celle du soleil. En revanche,partir du moment où la sagesse primitive exige un rite de *reproduction* de la création, parce que sans cela le monde s'arrêterait, et qu'il n'y aurait plus ni vie humaine ni vie végétale, à partir du moment où le cycle de la vie et de la mort est assimilé aux divers mouvements du soleil, alors seulement il devient indispensable de repérer avec la plus grande exactitude les changements dans la course de l'astre du jour pour que les cérémonies aient lieu en temps voulu. Ce n'est que dans ce cadre idéologique que l'on pourra appeler à la rescousse toute la panoplie symbolique de figures géométriques et de nombres sacrés. Telle est la démarche fondamentale à laquelle nous devons les premières recherches mathématiques, et qui a donné des résultats réels camouflés sous des dehors abracadabrants.

-oOo-

# CONCLUSION

1- Cette première enquête passionnante, en tout cas pour son auteur, a donné des résultats importants et des conclusions de portée générale qui sont un encouragement à poursuivre les recherches. L'enquête est partielle, elle doit donc être prolongée en largeur et en profondeur, ce qui ne pourra qu'affiner ou peut-être même contredire les résultats acquis dans ce mémoire. L'étude des *outils lithiques* devra être élargie car ici nous nous sommes appuyés principalement sur le matériel archéologique européen; l'ouvrage de Garanger a une plus grande ampleur géographique et contient une bibliographie considérable.

En ce qui concerne l'*art pariétal et mobilier*, l'étude présente souffre aussi d'eurocentrisme et rien n'est dit sur l'art post-glaciaire; Nougier donne une abondante bibliographie. On peut trouver une iconographie importante sur l'art post-glaciaire dans l'ouvrage d'Abelanet; on y voit en particulier apparaître une nouvelle forme de perspective, dite "perspective étalée", où tout est mis à plat comme une sorte de dessin industriel. Ce procédé très courant est utilisé par les Indiens d'Amérique du nord et les Inuit (Closs, Ascher), et on en connaît même une stylisation extrême longuement décrite par Boas et analysée par Levi-Strauss (1958); il apparaît également et massivement dans les pétroglyphes nord-américains (Mallery). Il serait intéressant de rapprocher cela de la perspective tordue typique elle aussi d'une bonne partie de l'art pariétal préhistorique (Leroi-Gourhan 1992) très répandue chez les primitifs, et que je n'ai fait que mentionner en passant.

L'art mobilier comprend aussi les décors géométriques des poteries, tissus et autres, fournis par l'archéologie ou l'ethnologie, et dont l'étude doit être entreprise. J'ai laissé de côté des *sources archéologiques* extrêmement importantes, tels les mégalithes européens dont l'étude est rendue par ailleurs piquante grâce aux contes de fées auxquels elle a donné naissance; A.Thom a cru y voir en effet des constructions de triplets pythagoriciens grâce à une unité de mesure européenne, le "yard mégalithique". Des études et bibliographies sur ce sujet se trouvent dans Burl (1983 et 1988) et dans Aveni.

L'archéologie de l'habitat montre un phénomène mystérieux, celui du passage assez brutal, au 9° millénaire au proche-orient, de l'habitat rond à l'habitat rectangulaire. Cauvin aborde le problème et sa thèse, remarquable, rejoint sur ce point ce que nous avons constaté à plusieurs reprises dans notre enquête : "Dans le langage universel des formes simples, le cercle désigne donc à la fois ce qui transcende l'homme et reste hors de sa portée...Au contraire, le rectangle, dont la nature quotidiennement observée ne nous offre guère d'exemple, nécessite davantage l'initiative humaine pour exister : la pierre n'est cubique ou rectangulaire que si on la façonne. Le carré et le rectangle connotent donc le manifesté, le concret, le réalisé...Dès lors, s'enfouir à moitié dans la terre dans une fosse arrondie peut sembler manifester une attitude primitive...Par contre l''habitat au carré', généralement construit en surface, témoigne d'une attitude mentale différente, où le progrès du savoir technique rencontre l'initiative qui l'utilise, laquelle impose à un besoin de base, celui de s'abriter, une forme entièrement nouvelle, artificielle, préconcue." (Cauvin, p.175). Nous avons vu en effet que le droit et l'angle droit sont des conquêtes humaines lentement acquises dans les outils lithiques (chap.II et III), et que le modèle carré de l'univers, contemporain de la découverte des orients, est toujours accompagné de sa mesure, elle-même signifiant sa prise de possession par l'homme (chap.IV).

Les *sources ethnographiques* pour la poursuite de l'enquête sont très nombreuses; on trouve une bibliographie sur des savoir-faire mathématiques primitifs dans Ascher. Grâce au courant "ethnomathématique", on peut espérer de nombreuses publications utiles. L'ouvrage de Guidoni, qui étudie l'architecture des primitifs en la reliant à leur conception du monde, est à lui seul une mine bibliographique. Les liens sont si étroits entre organisation de l'espace humain, conception de l'univers et conception de la société chez les primitifs que leur examen ne peut qu'enrichir ce que j'ai évoqué sous le nom de géométrie symbolique; le texte de base est celui de Mauss,compléter par celui de Lévi-Strauss (1962) et des études comme celle de Soustelle. J'ai montré quel profit on peut tirer des récits mythiques des origines et des descriptions de rituels; il faut en poursuivre l'exploration. Meilleure connaissance de la géométrie symbolique à attendre également de la collection des connaissances astronomiques primitives, effleurées dans le mémoire; le classique est l'ouvrage de Nilsson, à compléter par celui d'Aveni, les monographies rassemblées par Closs, et les nombreux ouvrages sur l'astronomie en Amérique précolombienne (bibliographie dans Aveni).

Il faudrait explorer enfin les jeux primitifs, auxquels j'ai fait allusion (chap.IV) en parlant des sona et des nitus; je pense en effet que le jeu est une voie par où les mathématiques fuient les contraintes mythiques-rituelles pour n'être plus que l'occasion d'une gymnastique purement cérébrale et plaisante. La mathématique des jeux est une mathématique "pure", et on peut même y voir le secret ultime : "Ne cherchez pas plus loin, les neuf dixièmes des mathématiques, en dehors de celles qui ont été suscitées par des besoins pratiques, sont des résolutions de devinettes." (Jean Dieudonné, dans sa contribution à l'ouvrage collectif *Penser les mathématiques* , Seuil, 1982.) On trouvera une bibliographie sur les jeux dans Ascher et dans Zaslavsky.

Sur un plan plus général, *philosophique*, on comparera la méthode et les résultats de ce travail avec les thèses de Husserl et les travaux très importants de Cassirer.

2- Nous devonsnos ancêtres la découverte des figures de base, segment de droite, cercle, angle droit, triangle, quadrilatères divers. Ils ont découvert la composition des figures en combinant des symétries, et la décomposition ou analyse des figures qui a conduit à la découverte du centre du cercle et du quadrillage du plan. Nous leur devons la première conception d'un espace objectif fini c'est à dire *mesuré* , délimité par les quatre points cardinaux, même si le mythe se dépêche de "remplir" cet espace en classant interminablement choses et êtres selon les orients pour le déterminer qualitativement.

Mais surtout, et ce n'est pas un mince paradoxe, la "pensée sauvage" (Lévi-Strauss) ou la "mentalité prélogique" (Lévy-Bruhl) s'avère être la mère de la philosophie et de la science moderne.

*En premier lieu*, concentrer une chose ou une série de choses sur un symbole est la préfiguration de l'action intellectuelle qui nie l'apparence immédiate pour aller à l'essence cachée, seule façon de comprendre. Or les symboles primitifs sont, pour l'essentiel, des symboles géométriques; j'en ignore la raison, mais c'est un fait. On peut signaler tout de même la théorie des hallucinations shamaniques reprise par Leakey (p.329).

*En second lieu* , spéculer sur les symboles en leur laissant une liberté relative préfigure l'activité théorique en général et mathématique en particulier, qui spéculent sur des concepts. Nous avons relevé qu'une divination bambara ne diffère de la procédure classique de mathématisation d'un problème que dans l'objet et pas dans la méthode. Le rôle du néant créateur dans la sagesse bambara est tout à fait remarquable; on retrouve ce rôle clef dans le taoïsme, dans le vide de Leucippe et Démocrite etc... Tout se passe comme si la sagesse primitive, dans ses formes ultimes, prenait conscience de sa démarche générale de négation des choses réelles au profit des symboles, stimulée en cela par la découverte de l'agriculture : si le grain ne meurt... Chez les Bambaras, la graine de céréale fonio, considérée comme graine initiale porte le nom de "petit néant"!! (Dieterlen et Cissé, p.40).

En mathématiques aussi, la négation est au fondement de tout l'édifice. Euclide dit en substance qu'une surface est ce qui *n'a pas* de hauteur, une ligne est ce qui n'a pas de largeur, et pour couronner le tout l'élément de base, le point, est la non-grandeur, comme le dit Vitrac (Euclide, p.151). La première définition d'Euclide est purement négative (id.). Le nombre, comme négation de toute qualité des choses au profit de l'austère correspondance un à un, est aussi le fruit du néant. Le symbolisme, nous l'avons vu, est au centre d'un immense réseau de correspondances et de classements des êtres dans l'univers, correspondances dans un premier temps purement qualitatives, fondées sur de vagues analogies. D'un autre côté, les primitifs connus connaissent le nombre cardinal au moins sous la forme rudimentaire, mais tout y est, de correspondance bijective entre les choses et une "collection type" de bâtonnets. La sagesse primitive isole donc, de sa merveilleuse symphonie symbolique, le principe même de correspondance, sorte de "précipité" débarrassé de toute analogie qualitative, pour en faire le nombre cardinal. Et comme le nombre reste un mystère pour la philosophie civilisée, et que les mathématiques contemporaines se contentent de le faire fonctionner sans pouvoir le définir, je me demande si le système de pensée primitif n'était pas le seul à pouvoir le produire.

Pour juger à quel point la sagesse primitive est "grosse" de mathématiques, on peut se référer aux pythagoriciens; le texte qui suit reprend à leur sujet certains des thèmes que nous avons rencontrés au cours de notre enquête: le nombre comme symbole analogique, situé au centre d'un vaste maillage de corespondances, l'idenfification du symbole et de l'objet réel, et les bricolages pour arranger le tout : "Nourris dans cette discipline, ils estimèrent que les principes des mathématiques sont les principes de tous les êtres. Et comme de ces principes les nombres sont, par nature, les premiers, et que, dans les nombres, les Pythagoriciens croyaient apercevoir une multitude d'analogies avec ce qui est et devient, plus qu'ils n'en apercevaient dans le Feu, la Terre et l'Eau (telle détermination des nombres étant la justice, telle autre l'âme et l'intelligence...); comme ils voyaient, en outre, que des nombres exprimaient des proportions musicales; comme, enfin, toutes les autres choses leur paraissaient, dans leur nature entière, être formées à la ressemblance des nombres, et que les nombres semblaient être les réalités primordiales de l'univers : dans ces conditions ils considérèrent que les principes des nombres sont les éléments de tous les êtres, et que le ciel tout entier est harmonie et nombre. Et toutes les concordances qu'ils pouvaient relever, dans les nombres et la musique, avec les phénomènes du ciel et ses parties et avec l'ordre de l'univers, ils les réunissaient et les faisaient entrer dans leur système; et, si une lacune se révélait quelque part, ils procédaient en hâte aux additions nécessaires pour assurer la complète cohérence de leur théorie...Ils estiment, eux aussi, que le nombre est principe,la fois comme *matière* (souligné par moi) des êtres et comme constituant leurs modifications et leurs états." (Aristote, p.4144).

Le rôle historique de la pensée civilisée née en Grèce sera de briser la grande unité factice de la sagesse ancienne; la pensée se pense désormais elle même, en s'interrogeant sur sa cohérence interne (la logique formelle) et externe (théorie et pratique). L'apport de la philosophie grecque ne fut pas de créer la spéculation intellectuelle, mais de la reconnaître comme telle en la libérant du vieux fatras des correspondances symboliques; la sagesse se mue en systèmes philosophiques, tandis que les spéculations sur les formes et les nombres se changent en systèmes mathématiques, ou "Eléments".

3- Des connaissances mathématiques des primitifs, passées en revue dans ces pages, à celles qui ressortent des premiers documents écrits en Egypte, Mésopotamie, Inde védique et Chine, il y a loin, très loin. L'usage des nombres fractionnaires, banal dans ces documents, est inconnu des primitifs; une découverte essentielle de géométrie est que le rapport (de longueurs) est un indicateur de la similitude des formes. Elle est acquise (non pas énoncée explicitement et encore moins développée, mais elle y est tout de même, voir chap.I) dans les documents écrits et inconnue des primitifs. La filiation entre les deux est pourtant manifeste dans les traces nombreuses de sagesse primitive, qui exerce son influence puissante jusques et y compris dans les textes de Platon et dans les fameux problèmes grecs (chap.I), mais il n'y a *aucun stade intermédiaire* , disons entre le niveau des Bambaras et celui du scribe babylonien ou du prêtre védique, ou.même des Pythagoriciens. Tout se passe donc comme si, après une lente accumulation de connaissances de base durant l'immense préhistoire, un progrès brutal, un bond en avant s'était produit dans certaines régions du monde aux époques de formation des grands empires primitifs, chacune ayant un style bien caractérisé et probablement des individus de génie. C'est une tâche de la recherche historique future que de nous renseigner sur cette question.

4- Nous savons certes infiniment plus de science que nos ancêtres et notre action sur la nature peut produire des miracles (des vrais!). Mais d'un autre côté, notre univers intellectuel issu de la division du travail fait pâle figure en regard du monde enchanteur de la sagesse primitive. Ecartelé sans cesse entre théorie et pratique et entre les divers cloisonnements du savoir, l'"esprit" regrette amèrement le paradis perdu. La manifestation en est que l'occultisme en général et l'occultisme mathématique en particulier n'ont jamais abandonné la partie, aujourd'hui moins que jamais, et sont là dans l'ombre, doubles honteux de la science triomphante. De nos jours, l'occultisme mathématique peut exercer ses charmes sur les meilleurs cerveaux scientifiques, et on en est même arrivé à faire de la numérologie une méthode de recrutement de cadres! La raison en est que le regret du paradis perdu est aussi une exigence d'avenir, parce que les manifestations risibles ou peu ragoûtantes d'ésotérisme mathématique sont les symptômes d'une grave maladie : d'un côté notre maîtrise de la nature se fait à coup de mathématiques, l'action réelle montre par conséquent l'unité profonde des deux, et de l'autre nous sommes incapable de *penser* cette unité, d'en rendre compte, et les mathématiciens encore moins que d'autres.

On peut alors, arguant d'une impossibilité de principe de penser l'unité de la théorie et de la pratique, se consoler avec le "prêt-à-penser" des Idées platoniciennes : certains travaillent sur les atomes, d'autres sur les Idées, et voilà tout; par miracle, les deux s'accordent.

On peut encore, arguant de la domination écrasante des mathématiques dans la science de la nature, les identifier à la pensée juste : "c'est mathématique" est passé depuis longtemps dans le langage courant pour dire "c'est vrai". Le vrai est ainsi pris pour le formel, censé "apprendre à penser".

On peut enfin, au nom de la pratique cette fois-ci, réduire les mathématiques à une "discipline de service" avec le danger d'en faire un bazar de recettes hétéroclites mais immédiatement applicables. Les ravages de ces attitudes et surtout des deux premières sont particulièrement sensibles dans l'enseignement; quel étudiant, en s'échinant sur un problème scolaire, n'a

jamais eu l'impression décourageante de n'être qu'un "shaddock" chargé de faire fonctionner un engin absurde? Il faudra bien se décider un jour à prendre à bras le corps ce problème de *contenu* dans l'enseignement des mathématiques, au lieu de rester à la surface en ratiocinant à perte de vue sur la *forme de transmission*, comme le fait la didactique.
La maladie actuelle ne pourra être guérie que si la science moderne parvient à rejoindre la "terre des ancêtres", la grande unité primitive de la pensée et de l'action, en repensant tout son acquis depuis la révolution grecque.

-oOo-

## REPERES BIBLIOGRAPHIQUES


ABELANET, J.,*Signes sans paroles. Cent siècles d'art rupestre en Europe occidentale*. Paris, Hachette, 1986.

ANATI, E., *Les origines de l'art et la formation de l'esprit humain.*. Paris, Albin Michel, 1989.

ARCHIMEDE, *Oeuvres complètes* . Trad. Ch. Mugler. Paris, Les Belles Lettres, 1970.

ARISTOTE, *La métaphysique*. Trad. Tricot. Paris, Vrin, 1981.

ASCHER, M., *Ethnomathematics. A Multicultural View of Mathematical Ideas*. Pacific Grove, Brooks Cole publ. Company, 1991

AVENI, A., *Empires of Time. Calendars, Clocks and Cultures*. Londres, I.B.Tauris and Co, 1990.

BAG, A.K., *Mathematics in Ancient and Medieval India*. Dehli, Chaukhamba Orientalia, 1979.

BOAS, F.,*Primitive Art*. New-York, Dover, 1955.

BORDES, F.,*Typologie du paléolithique ancien et moyen*. Paris, Presses du CNRS, 1988

BRUINS, E.M., et RUTTEN, M.,*Textes mathématiques de Suse*. Paris, Paul Geuthner, 1961.

BURL, A., *Prehistoric Astronomy and Ritual*. Aylesbury, Shire Publications, 1983.

BURL, A., *Prehistoric Stone Circles*. Aylesbury, Shire Publications, 1988.

CASSIRER, E., *La philosophie des formes symboliques*. Paris, Ed. de Minuit, 1972.

CHACE, A.B., *The Rhind Mathematical Papyrus*. Reston, National council of teachers of mathematics, 1979.

CLOSS, M., (sous la direction de), *Native American Mathematics* . Austin, University of Texas Press, 1990.

COOLIDGE, J.L., *A History of Geometrical Methods*. New-York, Dover, réimp. de l'édition de 1940.

COPPENS, Y., *Le singe, l'Afrique et l'homme*. Paris, Fayard, 1983.

CRUMP, T., *The Anthropology of Numbers*. Cambridge University Press, 1990.

DE GANAY, S., et ZAHAN, D., "Un enseignement donné par le Komo", in *Systèmes de signes*. Paris, Hermann, 1978.

DEMARS, P.Y., et LAURENT, P., *Types d'outils lithiques du paléolithique supérieur européen.*. Paris, Ed. du CNRS, 1989.

DIETERLEN, G., *Essai sur la religion Bambara*. Ed. de l'Université libre de Bruxelles, 1988.

DIETERLEN, G., et CISSE, Y., *Les fondements de la société initiatique du Komo*. Paris, Mouton, 1972.

DUMONT, J.P., *Les présocratiques*. Paris, Gallimard, 1988.

ELKIN, A.P., *Les aborigènes australiens*. Paris, Gallimard, 1967.

EUCLID, *The Thirteen Books of the Elements*, trad Heath. New-York, Dover, 1956.

EUCLIDE, *Les Eléments,* trad Vitrac. Paris, PUF, 1990.

FAÏK-NZUJI, C., *Symboles graphiques en Afrique Noire*. Karthala, 1992.

GARANGER, J., (sous la direction de), *La préhistoire dans le monde*. Paris, PUF, 1992.

GERDES, P., *Lusona. Récréations géométriques d'Afrique*. Maputo, Institut supérieur de pédagogie du Mozambique, 1991.

GERDES, P., *L'ethnomathématique comme nouveau domaine de recherche en Afrique: quelques réflexions et expériences au Mozambique*. Maputo, Institut supérieur de pédagogie du Mozambique, 1993.

GIEDON, S., *La naissance de l'art.* Bruxelles, Ed. de la connaissance, 1965.

GIRARD, R., *Le Popol-Vuh. Histoire culturelle des Mayas-Quiché*. Paris, Payot, 1954.

GLOWCZEWSKI, B., *Les Rêveurs du désert.*. Paris, Plon, 1989.

GLOWCZEWSKI, B., *Du Rêvel à la loi chez les Aborigènes. Mythes, rites et organisation sociale en Australie*. Paris, PUF, 1991.

GRANET, M., *La pensée chinoise*. 1934.

GRIAULE, M., *Dieu d'eau. Entretiens avec Ogotemmeli*. Paris, Fayard, 1966.

GRIAULE, M., et DIETERLEN, G., *Le Renard pâle*. Paris, Institut d'ethnologie, 1991.

GUIDONI, E.,*L'architecture primitive*. Paris, Berger-Levrault, 1980.

HOWELLS, W., "Homo erectus", in *L'aube de l'humanité*. Paris, Belin, 1983.

HUSSERL, E., *L'origine de la géométrie*. Paris, PUF, 1962.

IFRAH, G., *Histoire universelle des chiffres*. Paris, Laffont, 1994.

JELINEK, J.,*Encyclopédie illustrée de l'homme préhistorique*. Paris, Gründ, 1978.

JELINEK, J.,*Sociétés de chasseurs*. Paris, Gründ, 1989.

JIA LANPO, *Nos ancêtres les Chinois.* Paris, France-Empire, 1982.

JOSEPH, J.J., *The Crest of the Peacock. Non European Roots of Mathematics.* Londres, I.B.Tauris, 1991.

KEELEY, L.H., "Les fonctions des outils en silex à l'époque paléolithique", in *L'aube de l'humanité*. Paris, Belin, 1983.

KOSLOWSKI, J., *L'art de la préhistoire en Europe orientale*. Paris, éd. du CNRS, 1992.

KULKARNI, R.P., *Geometry According to Sulba Sutra*. Pune, Dharmadhikari and Joshi, 1983.

LAM LAY YONG, *A Critical Study of the Yang Hui Suan Fa*. Singapore University Press, 1977.
LEAKEY, R., *Origins Reconsidered.* Londres, Abacus, 1992.
LEROI-GOURHAN, A., *Le geste et la parole.Technique et langage* . Paris, Albin Michel, 1964.
LEROI-GOURHAN, A., *Le geste et la parole. La mémoire et les rythmes*. Paris, Albin Michel, 1965.
LEROI-GOURHAN, A., *Dictionnaire de la préhistoire*. Paris, PUF, 1988.
LEROI-GOURHAN, A., *L'art pariétal, langage de la préhistoire*. Paris, Jérôme Millon, 1992.
LEVI-STRAUSS, C., *Anthropologie structurale.* Paris,Plon, 1958.
LEVI-STRAUSS, C., *La pensée sauvage.* Paris, Plon, 1962.
LEVY-BRUHL, L., *Les fonctions mentales dans les sociétés inférieures*. Paris, Alcan, 1910.
LI YAN, DU SHIRAN, *Chinese Mathematics. A Concise History*. Oxford, 1987.
MALLERY, G., *Picture Writing of the American Indians.* New-York, Dover, 1972.
MARSHACK, A., *Les racines de la civilisation*. Paris, Plon, 1972.
MAUSS, M., "De quelques formes primitives de classification", in *Oeuvres*, tome 2. Paris, éd. de Minuit, 1969.
MENNINGER, K., *Number Words and Number Symbols. A Cultural History of Numbers.* Cambridge (Mass.), MIT Press,1969.
MIMICA, J., *Intimations of Infinity. The Cultural Meaning of the Iqwaye Counting System.* Oxford, Berg, 1988.
MUBUMBILA, M., *Sur le sentier mystérieux des nombres noirs.* Paris, L'harmattan, 1988.
NEEDHAM, J., *Science and Civilisation in China* Vol 3. Cambridge University Press, 1959.
NEUGEBAUER, O., *Mathematische Keilschriftexte*. Berlin, Springer, 1935.
NEUGEBAUER, O., *The Exact Sciences in Antiquity.* New-York, Dover, 1969.
NILLSON, M.P., *Primitive Time-Reckoning.* Gleerup, 1920.
NOUGIER, L.R., *L'art de la préhistoire*. Paris,Livre de poche, 1993.
PAUL-LEVY, F, et SEGAUD, M., *Anthropologie de l'espace*. Paris, éditions du Centre Georges Pompidou, 1983.
PIEL-DESRUISSEAUX, J.L., *Outils préhistoriques. Forme, fabrication, utilisation.* Paris, Masson, 1990.
PLATON, *La République*, trad. R. Baccou. Paris, Garnier-Flammarion, 1966.
PLATON, *Sophiste, Politique, Philèbe, Timée, Critias,* trad. E.Chambry. Paris, Garnier-Flammarion, 1969.
RENOU, L., *Hymnes spéculatifs du Veda.* Paris, Gallimard, 1956.
ROUSE BALL, W.W., *Histoire des mathématiques*. Paris, Hermann, 1906.
RUTTEN, M., *La science des Chaldéens*. Paris, PUF "Que sais-je?", 1970.

SARASVATI, T.A., *Geometry in Ancient and Medieval India*. Dehli, Motilal Banarsidass, 1979.

SCHMANDT-BESSERAT, D., "Les plus anciens précurseurs de l'écriture", in *L'aube de l'humanité*. Paris, Belin, 1983.

SEIDENBERG, A., "The Ritual Origin of Geometry". *Archive for History of Exact Sciences* , Vol 1-5, 1962, p.488-527.

SEIDENBERG, A., "The Origin of Mathematics". *Archive for History of Exact Sciences* , Vol 18-4, 1978, p.301-342.

SEIDENBERG, A., "The Ritual origin of circle and square" *Archive for History of Exact sciences,* Vol. 25, 1981, p.270-325.

SEIDENBERG, A., "Geometry of the Vedic Rituals". *Agni* , Vol 2, 1983, p.95-126.

SMITH, D.E., *History of Mathematics.* New-York, Dover, 1958.

SOUSTELLE, J., "La pensée cosmologique des anciens Mexicains", in *L'univers des Aztèques*. Paris, Hermann, 1979.

TATON, R., (Sous la direction de), *La science antique et médiévale*. Paris, PUF, 1957.

THUREAU-DANGIN, F., *Textes mathématiques babyloniens*. Leiden, E.J. Brill, 1938.

TYLOR, E.B., *La civilisation primitive*. Reinwald, 1876.

VARENNE, J., *Mythes et légendes extraits des Brahmanas* . Paris, Gallimard, 1967.

VITRUVE, *Les dix livres d'architecture,* trad. C. Perrault revue par A. Dalmas. Paris, Errance, 1986.

YOUSCHKEVITCH, A.P., *Les mathématiques arabes (VIII°-XV° siècles).* Paris, Vrin, 1976.

ZASLAVSKY, C., *Africa counts.* Boston, Prindle, Weber and Schmidt, 1973.

-oOo-

## Sommaires de numéros disponibles de Sciences et Techniques en perspective#



# Les numéros indiqués par un astérisque sont épuisés.

**Volume V***

(Paru en octobre 1984, 202 pages)

| | |
|---|---|
| M. DMALHERBE | Bacon, l'*Encyclopédie* et la révolution |
| E. GROSHOLZ | Beyond first order predicate logic : the impact of topology on logic |
| G. SCHUBRING | Le développement des mathématiques et des sciences en France et en Pruss |
| G. HOWSON | Euclid : "A very English subject" |
| J.-C. PERROT | Premiers contacts de l'économie politique fran9aise au XVIIIème siècle ave les outils mathématiques |
| A. STANGUENNEC | Une nature inflaammable : remarques sur la signification de la combustio dans les fragments d'encyclopédie de Novalis |
| M. SAILLARD | Un épisode de l'histoire de la colorimétrie, de la théorie de Brewster (1831) sa réfutation par Helmholtz (1852) |
| P. BAILHACHE | Sur la vérification expérimentale de la théorie des couleurs de Thomas Young |
| I. FENYO | Leonardo da Vinci als Mathematiker |
| P. COSTABEL | L'ontroduction en Franche du calcul différentiel et intégral par Jean Ier Bernoulli |

**Volume VI**

(Paru en mai 1985, 106 pages)

Lettres et opuscules de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671). Hypothèse physique nouvelle, théorie du mouvement abstrait, etc. Traduction française originale de R. Violette.

**Volume VII***

(Paru en juillet 1985, 313 pages)

| | |
|---|---|
| J.B. RAKOTOZAFY HARISSON : | Problèmes posés par l'enseignement des mathématiques dans les pays en de développement : le cas de Madagascar |

**Volume VIII**

(Paru en novembre 1985, 185 pages)

| | |
|---|---|
| J. DHOMBRES | Sur un texte d'Euler relatif à une équation fonctionnelle. Archaïsme, pédagogie et style d'écriture |
| J. JUHEL | Le rôle des proportions dans l'écriture algébrique au XVIIème siècle |

**Volume IX***

(Paru en juin 1986, 235 pages)

| | |
|---|---|
| A. DAHAN-DALMEDICO | La mathématisation de la théorie de l'élasticité par A.L. Cauchyt et les dé dans la physique mathématique française (1800-1840) |
| B. BELHOSTE | Le cours d'analyse de Cauchy à l'Ecole Polytechnique en seconde année |
| F. DE GANDT | Naissance et métamorphose d'une théorie mathématique : la géometrie des indivisibles en Italie |

**Volume X***

(Paru en octobre 1986, 249 pages)

| | |
|---|---|
| G. AUJAC | Problème de la traduction du livre V d'Euclide |
| A. CAUTY | Contribution ethno-arithmétique à l'histoire des sciences à propos de la numération maya |
| M. SAILLARD | Bref historique de l'étude du phénomène dela couleur |
| G. LOCHAK | La géométrisation de la physique |
| J. LEONARD | La méthode numérique en médecine au XIXème siècle en France |
| A. BEAULIEU | Après Galilée : l'attitude de la France |
| B. BEKEMEIER | Enseignement et sciences, essai pour un système achevé et conséquent des mathématiques |
| G. LAURENT | L'histoire de la terre et de la vie en France au temps de la Révolution : Cu et Lamark |
| K. PARSHALL | Le développement de la théorie des Algèbres au XIXème siècle |
| A. HERLEA | Naissance et développement des moteurs à combustion interne et à piston jusqu'à la Première Guerre Mondiale |
| M. BLAY | L'introduction du calcul différentiel en dynamique : l'exemple des forces centrales dans le mémoire de Varignon en 1700 |
| J. DHOMBRES | Les présupposés d'Euler dans l'emploi de la méthode fonctionnelle. |

## Volume XI

(Paru en septembre 1987, 249 pages)

| | |
|---|---|
| J. DHOMBRES | Un style axiomatique dans l'écriture de la physique mathématique au XVIIème siècle ; Daniel Bernouilli et la composition des forces. |
| P. RADELET de GRAVE | La composition des forces. |
| M. J. DURAND | Le travail mathématique de Georges Peacock (1791-1858) : l'algèbre symbolique comme œuvre de synthèse dans l'Angleterre des réformes (1830). |
| P. BAILHACHE | Valeur actuelle de l'acoustique musicale de Hemlholz |
| J. DHOMBRES, M. PENSIVY | Esprit de rigueur et présentation mathématique au XVIIème siècle : le cas d'une démonstration d'Aepinus |
| J. GAPAILLARD | Galilée et le principe du chasseur. |

## Volume XII*

(Paru en octobre 1987)

La vigne et le sel : deux exemples-cas de l'histoire des techniques dans leur contexte économique et social jujsqu'à nos jours

| | |
|---|---|
| M. MEYER | Histoire de la vigne et du vin en France et dans le Val-de-Loire |
| A. POULARD | Chaîne technologique de la vinification en blanc sec dans la région nantaire |
| C. GENDRON | Le vin et l'analogie |
| J.C. MORICE | L'économie viticole |
| J. BAUDOUIN | UNe visite intéressante : la Saupin production des plants-de-vigne, une exploitation modèle |
| M. BURGELIN | Le musée Pierre Abélard |
| MICHEL, RENARD | Un peu d'histoire sur les techniques des exploitations du vignoble nantais, sur la vigne, sur l'évolution des technologies et sur le travail du vigneron |
| J.C. HOCQUET | Milieux sociaux, production, commerce et fiscalité du sel, XII-XVIIIème siècles |
| C. SERVENT | Un exemple de production contemporaine : Salins de la Méditérannée |
| C.I. BRELOT | Les Salins de Franche-Comté : un exemple d'adaptation technique. Les apports de l'archéologie industrielle |
| M. MATRAT | Propriétés du sel (résumé) |
| D. SENN | Chimie minérale : les dérivées du sel |
| J. POISBEAU-HEMAY | La récolte du sel en pays guérandais, paludiers d'autrefois et d'aujourd'hui |
| G. EMPTOZ | Le sel et la naissance de l'industrie chimique |
| A. THEPOT | Aspects économiques de la production de soude (procédé Leblanc) : le cas marseillais |

## Volume XIII*

(paru en novembre 1987, 154 pages)

| | |
|---|---|
| F.H. FORESTIER | L'homme et les métaux. L'or en Gaule et en pays nantais des origines aux Gallo-romains |
| R. LAURENT | Jean Henri Lambert (1728-1777) et la perspective à la fin du XVIIIème siècle |
| A. ALCOUFFE | Le calcul différentiel; les mathématiciens et les économistes au XIème siècle: K. Marx et H. Laurent, lecteurs de Boucharlat |
| A. PICON | Les ingénieurs et l'idéal analytique à la fin du XVIIIème siècle |
| B. MAITTE | Expérimentation et conceptualisation : l'exemple des travaux d'Haüy sur les cristaux |
| D. PESTRE | Remarques sur quelques méthodes de la recherche en histoire : écrire un livre intitulé *Physique et physiciens en France 1918-1940* |
| G. FRAYSSE | Analyses structurales chez Darwin : Darwin et Geoffroy de Saint Hilaire |
| M. BACHELIER | Le point bibliographique sur la jeune fille qui causa la mort d'Evarist Galois |

## Volume XIV

(Paru en juin 1988, 231 pages)

| | |
|---|---|
| M. PENSIVY | Jalons historiques pour une épistémologie de la série infinie du binôme |

**Volume XV**
(Paru en février 1989, 334 pages)

| | |
|---|---|
| P. LAMANDE | La mutation de l'enseignement scientifique en France (1750-1810) et le rôl des écoles centrales : l'exemple de Nantes |

**Volume XVI**
(Paru en décembre 1990, 152 pages)

| | |
|---|---|
| J.P. CLERO | Un instrument de mesure des croyances : la règle de Bayes |
| J.P. FRIEDELMEYER | Un mathématicien alsacien sous la Révolution française<br>Annexe : la formule de dérivation d'Arbogast |
| H. GISPERT | Le milieu mathématique français et ses manuels (1870-1900) |
| J. PEIFFER | Le problème de la brachystochrone : un défi pour les méthodes infinistes à fin du XVIIème siècle |
| P. BAILHACHE | Tempéraments musicaux et mathématiques |
| F. de BUZON | L'expérimentation dans la constitution de la théorie musicale |
| R. LOCQUENEUX | La mathématisation dans les travaux de Carnot, Clapeyron et Clausius sur puissance motrice de la chaleur |

**Volume XVII**
(paru en juin 1990, 152 pages)

| | |
|---|---|
| A.C. DERE | L'évolution des sciences pharmaceutiques à Nantes pendant la Révolution (1791-1803) |

**Volume XVIII**
(paru en juin 1991, 130 pages)

| | |
|---|---|
| L. BARBO | La radioactivité - Histoire d'une découverte |

**Volume XIX**
(paru en juillet 1991, 142 pages)

| | |
|---|---|
| J. GAPAILLARD | Galilée et l'expérience de Locher |
| M. SAILLARD | Calcul de la courbe d'efficacité lumineuse spectrale de l'œil effectué à parti des mesures des intensités des différentes couleurs du spectre selon J. Fraunhofer |
| P. LAMANDE | Des différents rôles de l'écriture dans un manuel mathématique; l'exemple d Bezout |
| G. EMPTOZ | Ingénieurs militaires et travaux hydrauliques : l'énergie hydraulique et les hommes au cours de la première industrialisation française, de 1820 à 185 |
| P. HESSE | Minéralogie et recherche minière au Moyen-âge et à la Renaissance |
| C. DEVILLERS | Le vingtième siècle et l'évolution |
| J. DHOMBRES | La gloire de la science : culture et poésie vers 1800 |
| P. BRET | Les épreuves aérostatiques de l'Ecole polytechnique en l'an IV de la géomé descriptive à l'origine de l'école des géographes |

**Volume XX**
(paru en mai 1992, 164 pages)

| | |
|---|---|
| J.P. DELAYE | L'élaboration du concept de suite aléatoire |
| J.P. FRIEDELMEYER | De l'angle de contingence au rayon de courbure : comment penser, comparer, mesurer le courbe... |
| U. ZELBSTEIN | Des roues à chiens et de quelques métiers disparus |
| V. et O. JULLIEN | Commentaires esthétiques et épistémologiques sur la fresque de Raphaël *l'Ecole d'Athènes* |
| P. BERNARDI | Sources règlementaires et histoire des techniques : La fabrication du plâtre à Aix en Provence (XIVe siècle - XVIIIe siècle) |
| J. DHOMBRES | L'image du monde arabe dans le bilan des activités scientifiques dressé par l'Institut de France sous l'Empire |

**Volume XXI**
(paru en octobre 1992, 146 pages)
Actes du colloque d'Oran (juillet 1989) : La géométrie des figures à travers les âges

| | |
|---|---|
| J. MARTZLOFF | Quelques exemples de démonstrations par dissections en mathématiques chinoises |
| K. JAOUICHE | Concepts et figures géométriques dans les théories des parallèles chez les Arabes |
| J. CASSINET | Transmission à l'Occident des discussions des mathématiciens de l'Islam sur le postulat des parallèles et des versions arabes de textes géométriques grecs perdus |
| R. CASSINET | Raimondi et l'aventure de l'édition des éléments d'Euclide en arabe par l'imprimerie Médicis (1593-1594) |
| M. D. SADJI | L'enseignement de la géométrie dans le Maghreb médiéval, l'exemple de d'Ibn Al-Banna (1256-1321) |
| R. BKOUCHE | De la géométrie et des transformations |
| B. SELLAK | La pédagogie d'Ibrahim Ibn Sinane (10[e]siècle) dans l'étude et la résolution des problèmes de géométrie |
| J. DHOMBRES | La figure dans le discours géométrique : les façonnages d'un style. |
| M. GUILLEMOT | A propos de la "géométrie egyptienne des figures" |

**Volume XXII**
(paru en novembre 1992, 220 pages)

| | |
|---|---|
| A. C. DERE, J. DHOMBRES | Economie portuaire, innovation technique et diffusion restreinte: les fabriques de soude artificielle dans la région nantaise (1777-1815). |
| J. DHOMBRES | Le langage de l'œil : le dessin dans la diffusion du savoir en Bretagne |
| J. PENNEC | Liste des polytechniciens bretons et de leurs publications (1794-1815) |
| J. P. KERNEIS | Liste de thèses concernant des médecins et chirurgiens bretons (1750-1825) |
| C. BLANLŒIL | Liste d'articles se rapportant à l'agriculture, et publiés dans les *Annales de la Société Académique de Loire-Inférieure* de 1798 à 1825 |

**Volume XXIII**
(paru en janvier 1993, 145 pages)
Musique et mathématiques

| | |
|---|---|
| M. SPIESSER | Les médiétés dans la pensée grecque |
| P. BAILHACHE | Cordes vibrantes et consonances chez Beeckman, Mersenne et Galilée. |
| A. BOYE | Sur l'*Essai d'une nouvelle théorie de la musique* de L. Euler |

**Volume XXIV**
(paru en février 1993, 145 pages)

| | |
|---|---|
| J. P. PENAUD | L'ajustement aux climats des architectes des Lumières |

**Volume XXV**
(paru en mars 1993, 137 pages)
Problèmes actuels de l'histoire de la physique et de la chimie
(textes des Journées d'études annuelles de la *Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques* de mars 1992)

| | |
|---|---|
| J.L. MARTINAND | La didactique de la physique et de la chimie et l'histoire des sciences |
| J. DE PRINS | Les enseignements et l'histoire des sciences |
| E. SALTIEL | De l'intérêt de la didactique de la physique et de l'histoire de la physique dans la formation des enseignants |
| N. HULIN | Formation scientifique et professionnelle des professeurs en sciences physiques (XIXème et XXème siècles) |
| P. BROUZENG | La place de l'histoire de la physique et de la chimie dans l'enseignement, les Universités et les Grandes Ecoles |
| J. ROSMORDUC | L'histoire des sciences dans les I.U.F.M. |
| Y. F. LE COADIC | Muséologie des sciences et histoire des sciences |
| M. BLAY | La recherche en histoire de la physique |
| C. BLONDEL | Quelques tendances récentes des recherches anglo-saxonnes en histoire de la physique des XIXème et XXème siècles |
| F. BALIBAR | La vogue des biographies en histoire des sciences |

**Volume XXVI**
(paru en août 1993)
Un parcours en histoire des mathématiques



**Volume XXVII**
(paru en décembre 1993, 202 pages)
L'œuvre de deux physiciens : Coulomb et Foucault



**Volume XXVIII**
(paru en juin 1994, 364 pages)
Regards sur la science : le journal scientifique



**Volume double XXIX-XXX**
(paru en septembre 1994, 527 pages)
Actes du Colloque Girard Desargues

**Volume XXXI**
(paru en janvier 1995)



**Volume XXXII**
(paru en janvier 1995)

**TABLE ANALYTIQUE**

**de**

**SCIENCES ET TECHNIQUES EN PERSPECTIVE**

**(1985 - 1994)**

**N° 1 à 32**

***Présentation thématique***

## Histoire des mathématiques

| | |
|---|---|
| A.G. AKRITAS | Budan's theorem, vol.4, 1984, pp.1-13 |
| A. ALCOUFFE | Le calcul différentiel; les mathématiciens et les économistes au XIXème siècle : K. Marx et H. Laurent, lecteurs de Boucharlat, vol. 13, 1987, pp.47-69. |
| C. ALVAREZ | Sur l'origine de l'hypothèse du continu, vol. 26, 1993, pp. 250-273 |
| G. AUJAC | Problème de la traduction du livre V d'Euclide, vol. 10, 1986, pp. 1-9. |
| M. BACHELIER | Le point bibliographique sur la jeune fille qui causa la mort d'Evariste Galois, vol. 13, 1987, pp. 150-154. |
| P. BAILHACHE | Tempéraments musicaux et mathématiques, vol. 16, 1990, pp. 81-112. |
| P. BAILHACHE | Cordes vibrantes et consonances chez Beeckman, Mersenne et Galilée, vol.23, 1993, pp. 73-91. |
| A. BEAULIEU | La fascination exercée par Desargues sur Mersenne, vol.29/30, 1995, pp.481-488. |
| B. BELHOSTE | Le cours d'analyse de Cauchy à l'*Ecole Polytechnique* en seconde année, vol.9, 1985, pp. 101-178. |
| D. BESSOT | Les aspects épistémologiques de la pensée didactique de Desargues : l'usage des exemples génériques, vol.29/30, 1995, pp.295-312. |
| C. BIANCHINI, M. DOCCI, R. MIGLIARI | Les "vies parallèles" de Girard Desargues et de Guarino Guarini, fondateurs de la science moderne de la représentation, vol.29/30, 1995, pp.395-412. |
| R. BKOUCHE | De la géométrie et des transformations, vol. 21, 1992, pp. 75-92. |
| R. BKOUCHE | Desargues au XIXème siècle : l'influence d'un livre non lu, vol.29/30, 1995, pp.207-218. |
| M. BLAY | L'introduction du calcul différentiel en dynamique : L'exemple des forces centrales dans le mémoire de Varignon en 1700, vol. 10, 1986, pp.157-190. |
| Y. BOTTINEAU-FUCHS | Abraham Bosse "interprète" de Girard Desargues, vol.29/30, 1995, pp.371-388. |
| A. BOYE | Sur l'Essai d'une nouvelle théorie de la musique de L. Euler, vol. 23, 1993, pp. 93-145. |
| J. CASSINET | Transmission à l'Occident des discussions des mathématiciens de l'Islam sur le postulat des parallèles et des versions arabes de textes géométriques grecs perdus, vol. 21, 1992, pp. 33-54. |
| R. CASSINET | Raimondi et l'aventure de l'édition des éléments d'Euclide en arabe par l'imprimerie Médicis (1593-1594), vol. 21, 1992, pp. 55-66. |
| A. CAUTY | Contribution ethno-arithmétique à l'histoire des sciences à propos de la numération maya, vol. 10, 1986, pp. 10-39. |
| J. CLERO | Un instrument de mesure des croyances : la règle de Bayes, vol. 16, 1990, pp. 1-24. |
| P. COSTABEL | L'introduction en France du calcul différentiel et intégral par Jean Bernoulli., vol. 5, 1984, pp. 191-199. |
| A. DAHAN-DALMEDICO | La mathématisation de la théorie de l'élasticité par A.L. Cauchy et les débats dans la physique mathématique française (1800-1840), vol. 9, 1985, pp. 1-100. |
| H. DAMISCH | Desargues et la "métaphysique" de la perspective, vol.29/30, 1995, pp.11-24. |
| F. DE GANDT | La géométrie des indivisibles en Italie (Galilée, Cavalieri, Torricelli), vol.9, 1986, pp. 179-226. |
| P. DELAYE | L'élaboration du concept de suite aléatoire, vol. 20, 1992, pp. 1-50. |
| R. DE RUBERTIS | Dernières explications sur les courbes projectives, vol.29/30, 1995, pp.489-496. |
| J. DHOMBRES | La méthode fonctionnelle en mathématiques : histoire conceptuelle (1ère partie), vol.4, 1984, pp.129-171. |
| J. DHOMBRES | Sur un texte d'Euler relatif à une équation fonctionnelle. Archaïsme, pédagogie, et style d'écriture, vol. 8, 1985, pp. 1-55. |
| J. DHOMBRES | Les présupposés d'Euler dans l'emploi de la méthode fonctionnelle, vol. 10, 1986, pp. 191-249. |
| J. DHOMBRES | Un style axiomatique dans l'écriture de la physique mathématique au XVIIème siècle ; Daniel Bernoulli et la composition des forces, vol. 11, 1987, pp. 1-68. |
| J. DHOMBRES, M. PENSIVY | Esprit de rigueur et présentation mathématique au XVIIème siècle : le cas d'une démonstration d'Aepinus, vol. 11,1987, pp. 204-218. |

| | |
|---|---|
| J. DHOMBRES | La figure dans le discours géométrique : les façonnages d'un style, vol. 21 pp. 101-124. |
| J. DHOMBRES | La méthode fonctionnelle chez Pfaff : une filiation leibnizienne, vol. 26, 1993, pp. 97-147 |
| J. DHOMBRES | La culture mathématique au temps de la formation de Desargues : le mond des coniques, vol.29/30, 1995, pp.55-86. |
| M. J. DURAND | Le travail mathématique de Georges Peacock (1791-1858) : l'algèbre symbolique comme œuvre de synthèse dans l'Angleterre des réformes (183 vol. 11, 1987, pp. 91-151. |
| S. DUVINA | Le *Journal de mathématiques pures et appliquées* sous la houlette de Liouville (1836-1874), vol. 28, 1991, pp. 179-217. |
| J. ECHEVERRIA | Leibniz, interprète de Desargues, vol.29/30, 1995, pp.283-294. |
| I. FENYÖ | Leonardo da Vinci als Mathematiker, vol. 5, 1984, pp. 139-162. |
| J.V. FIELD | The infinitely great and the infinitely small in the work of Girard Desargu vol.29/30, 1995, pp.219-230. |
| F. FIORANI | The theory of shadows and aerial perspective : Leonardo, Desargues and Bosse, vol.29/30, 1995, pp.267-282. |
| G. FLEGG | The operation of calculus from Leibniz to Minckowski, vol.1, 1982, pp. 65. |
| A. FLOCON | Voir et représenter : Abraham Bosse, l'intransigeant, vol.29/30, 1995, pp.263-266. |
| J.P. FRIEDELMEYER | Un mathématicien alsacien sous la Révolution française, vol. 16, 1990, p 25--45. |
| J.P. FRIEDELMEYER | De l'angle de contingence au rayon de courbure : comment penser, compar mesurer la courbe, vol. 20, 1992, pp. 51-75. |
| J.L. GARDIES | Les antécédents scolastiques de la théorie des ensembles, vol.4, 1984, pp.2 50. |
| C. GILAIN | La théorie des équations différentielles au début du XIXème siècle, vol.4, 1984, pp.13-20. |
| H. GISPERT | Le milieu mathématique français et ses manuels (1870-1900), vol. 16, 1990, pp. 46-53. |
| M. GUILLEMOT | A propos de la géométrie egyptienne des figures, vol. 21, 1992, pp. 125-146. |
| G. HOWSON | Euclid : "a very english subject", vol. 5, 1984, pp. 60-102. |
| K. JAOUICHE | Concepts et figures géométriques dans les théories des parallèles chez les Arabes, vol. 21, 1992, pp. 21-32. |
| J. JUHEL | Le rôle des proportions dans l'écriture algébrique au XVIIème siècle, vol. 1985, pp. 56-162. |
| V. JULIEN | L'existence du plan dans les *Eléments de Géométrie* de Roberval, vol. 26, 1993, pp. 41-73 |
| Y. KERBRAT | Géométrie projective et géométrie euclidienne, vol.29/30, 1995, pp.497-5 |
| E. KNOBLOCH | Les courbes analytiques simples chez Leibniz , vol. 26, 1993, pp.74-96 |
| E. KNOBLOCH | Desargues, Mersenne et Kircher : la musique et les mathématiques, vol.29/30, 1995, pp.111-124. |
| S. KOELBLEN | Un exercice de combinatoire : les formules issues de la figure sécante de Ptolémée, ou les règles des six quantités en proportion, vol. 26, 1993, pp 21. |
| P. LAMANDE | Des différents rôles de l'écriture dans un manuel de mathématique : l'exemple de Bezout, vol. 19, 1991, pp. 31-40. |
| P. LAMANDE | La mutation de l'enseignement scientifique en France (1750-1810) et le rô des écoles centrales : l'exemple de Nantes, vol. 16, 1990. |
| R. LAURENT | Jean Henri Lambert (1728-1777) et la perspective à la fin du XVIIIème siècle, vol. 13, 1987, pp. 18-46. |
| R. LAURENT | La perspective et la rupture d'une tradition, vol.29/30, 1995, pp.231-248. |
| P. LE GOFF | Desargues et la naissance de la géométrie projective, vol.29/30, 1995, pp.157-206. |
| M. LOI | La philosophie mathématique de Kant et sa réfutation par Couturat, vol.2 1983, pp.160-184. |
| C. MALTESE | Ellissi ed ellissografi. "Querelles" semi-scientifiche e applicazioni pratich negli anni di Desargues, vol.29/30, 1995, pp.101-110. |
| S. MARCONI | La construction perspective à tableau vertical accidentel des solides par Pie della Francesca et par Girard Desargues, vol.29/30, 1995, pp.505-514. |

| | |
|---|---|
| J.C. MARTZLOFF | Notes sur quelques particularités des mathématiques japonaises (Wasan) au XVIIème siècle, vol.1, 1982, pp.202-210. |
| J. C. MARTZLOFF | Quelques exemples de démonstrations par dissections en mathématiques chinoises, vol. 21, 1992, pp. 4-20. |
| J. MESNARD | Desargues et Pascal, vol.29/30, 1995, pp.87-100. |
| C. MERKER | La "géométrie calculante" de Pascal : le traité des sinus du quart de cercle, vol. 26, 1993, pp.22-40 |
| J. NAVARRO DE ZUVILLAGA | L'influence des traités de Desargues dans les traités espagnols, vol.29/30, 1995, pp.313-330. |
| K. PARSHALL | Le développement de la théorie des Algèbres au XIXème siècle, vol. 10, 1986, pp. 129-144. |
| J.B. PECOT | Les théories spectrales de Henri Poincaré, vol. 26, 1993, pp. 173-205. |
| J.B. PECOT | Les théories spectrales de Hilbert et de Schmidt, vol. 26, 1993, pp. 206-249 |
| M. PENSIVY | Jalons historiques pour une épistémologie de la série infinie du binôme, vol.14, 1988 |
| J. C. PERROT | Premiers contacts de l'économie politique française au XVIIème siècle avec les outils mathématiques, vol. 5, 1984, pp. 103-104. |
| S.S. PETROVA | Cauchy et le calcul symbolique, vol. 26, 1993, pp.148-154. |
| J. PEIFFER | Le problème de la brachystochrone : un défi pour les méthodes infinistes à la fin du XVIIème siècle, vol. 16, 1990, pp. 54-81. |
| G. PICOLET | Documents inédits concernant Desargues, vol.29/30, 1995, pp.125-156. |
| M. PINAULT | L'étude de la perspective dans l'histoire de Saint-Etienne de Laurent de la Hyre, vol.29/30, 1995, pp.249-262. |
| M. D. SADJI | L'enseignement de la géométrie dans le Maghreb médiéval, l'exemple de d'Ibn Al-Banna (1256-1321), vol. 21, 1992, pp. 67-74. |
| SADOUN-GOUPIL | Les tentatives de mathématisation de la chimie au XVIIIème siècle : échecs et opposition, vol.1, 1982, pp.27-50. |
| G. SCHUBRING | Le développement des mathématiques et des sciences en France et en Prusse (1800-1830), vol. 5, 1984, pp. 42-59. |
| B. SELLAK | La pédagogie d'Ibrahim Ibn Sinane (10$^{e}$siècle) dans l'étude et la résolution des problèmes de géométrie, vol. 21, 1992, pp. 93-100. |
| M. SPIESSER | Les médiétés dans la pensée grecque, vol. 23, 1993, pp. 1-71. |
| R. TATON | Evariste Galois et ses biographes, vol. 26, 1993, pp. 155-172. |
| R. TATON | Desargues et le monde scientifique de son époque, vol.29/30, 1995, pp.25-54. |
| S. TERRACINA | Aspects du langage scientifique dans le *brouillon project* de Desargues, vol.29/30, 1995, pp.515-522. |

## Epistémologie

| | |
|---|---|
| F. BALIBAR | La vogue des biographies en histoire des sciences, vol.25, 1993, pp.85-88. |
| A. BRENNER | La logique de l'évolution scientifique, vol.31, 1995, pp.87-92. |
| P. BROUZENG | L'oeuvre scientifique de Duhem et l'histoire des sciences, vol.4, 1984, pp.21-26. |
| J. DHOMBRES | La langue des calculs de Condillac ou "Comment propager les Lumières ?", vol.2, 1983, pp.197-229. |
| E. GROSHOLZ | Beyond first order predicat logic :the impact of topology on logic, vol. 5, 1984, pp. 26-41. |
| M. GUILLAUME | Des influences subies et exercées par Condillac en matière de théorie de la connaissance, vol. 2, 1983, pp.6-21. |
| V. et O. JULLIEN | Commentaires esthétiques et épistémologiques sur la fresque de Raphaël "l'Ecole d'Athènes", vol. 20, 1992, pp. 97-136. |
| M. MALHERBE | L'empirisme génétique de Condillac, vol.2, 1983, pp185-196. |
| M. MALHERBE | Bacon, l'Encyclopédie et la Révolution, vol. 5, 1984, pp. 1-25. |
| D. PESTRE | Remarques sur quelques méthodes de la recherche en histoire : écrire un livre intitulé *Physique et physiciens en France 1918-1940*, vol. 13,1987, pp. 131-138. |
| N. SHEA | The young Hegel's philosophy of nature and the fear of mathematics, vol.1, 1982, pp.66-100. |
| R. VIOLETTE | Lettres et opuscules de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671). Hypothèse physique nouvelle. Traduction originale de R. Violette, vol. 6, 1985. |

# Histoire des sciences physiques


| | |
|---|---|
| P. BAILHACHE | Le principe des travaux virtuels vers 1800, vol.4, 1984, pp.51-64. |
| P. BAILHACHE | Sur la vérification expérimentale de la théorie des couleurs de Thomas Young, vol. 5, 1984, pp. 139-162. |
| P. BAILHACHE | Valeur actuelle de l'acoustique musicale de Hemholtz, vol. 11, 1987, pp.1: 174. |
| A. BEAULIEU | Après Galilée : l'attitude de la France, vol. 10, 1986, pp. 78-89. |
| B. BENSAUDE-VINCENT | Etat des recherches en histoire de la chimie : courants et perspectives, vol. 1993, pp.89-100. |
| M. BLAY | L'introduction du calcul différentiel en dynamique : l'exemple des forces centrales dans le mémoire de Varignon en 1700, vol.10, 1986, pp.157-19( |
| M. BLAY | La recherche en histoire de la physique, vol.25, 1993, pp.66-73. |
| C. BLONDEL | Quelques tendances récentes des recherches anglo-saxonnes en histoire de la physique des XIXème et XXème siècles, vol.25, 1993, pp.74-84. |
| N. BRILLOUET | Le parallélogramme des forces. Son étude fonctionnelle au XVIIIème siècl vol.4, 1984, pp.65-79. |
| H. CHABOT, P. PARAIS | Le pendule et le gyroscope de Foucault dans les *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences* entre 1851 et 1900, vol. 27, 1993, pp. 90-202. |
| A. CHAPERT | Malus et l'optique, vol.4, 1984, pp.80-95. |
| M. CHARPENTIER-MORIZE | Résistance à l'introduction en France des théories électroniques de la réacti chimique : conséquences sur l'évolution de la recherche, vol.25, 1993, pp.101-110. |
| A. DAHAN-DALMEDICO | J. Fourier : l'élaboration de la théorie analytique de la chaleur, vol.1, 1982 pp. 101-141. |
| A. DAHAN-DALMEDICO | La mathématisation de la théorie de l'élasticité par A.L. Cauchy et les dél dans la physique mathématique française (1800-1840), vol. 9, 1986, pp. 1- 100. |
| A. C. DERE | Où les chimistes publiaient-ils de 1700 à 1789 ? , vol. 28, 1994, pp. 2-23 |
| J. DHOMBRES | Un style axiomatique dans l'écriture de la physique mathématiqueau XVIIè siècle ; Daniel Bernoulli et la composition des forces, vol.11, 1987, pp. 1- 68. |
| J. GAPAILLARD | Galilée et le principe du chasseur, vol. 11, 1987, pp. 219-243. |
| J. GAPAILLARD | Galilée et l'expérience de Locher, vol. 18, 1991, pp. 1-10. |
| A. HERLEA | Naissance et développement des moteurs à combustion interne et à piston jusqu'à la première guerre mondiale, vol. 10, 1987, pp. 145-156. |
| B. JOLY | Quelle place reconnaître à l'alchimie dans l'histoire de la chimie ? , vol.25, 1993, pp.111-121. |
| B. JOLY | Alchimie et rationalité : la question des critères de démarcation entre chimi et alchimie au XVIIème siècle, vol.31, 1995, pp.93-108. |
| M. LETTE | Les *Annales de chimie et de physique,* quatrième série. Un journal au servi de la science ofifcielle, vol. 28, 1994, pp. 218-286. |
| G. LOCHAK | La géométrisation de la physique, vol. 10, 1986, pp. 54-65. |
| R. LOCQUENEUX | La mathématisation dans les travaux de Carnot, Clapeyron et Clausius sur puissance motrice de la chaleur, vol. 16, 1990, pp. 134-158. |
| B. MAITTE | Expérimentation et conceptualisation : l'exemple des travaux d'Haüy sur le cristaux, vol. 13, 1987, pp. 109-130. |
| D. PESTRE | Remarques sur quelques méthodes de la recherche en histoire : écrire un livi intitulé *Physique et physiciens en France 1918-1940*, vol. 13, 1987, pp. 131-138. |
| S. PROVOST | Etablissement de la loi d'interaction électrique de Coulomb, vol. 27, pp.44 87. |
| P. RADELET de GRAVE | La composition des forces, vol.11, 1987, pp. 69-94. |
| P. RADELET-DE GRAVE | Etude de l'*Essai sur une application des règles de Maximis et de Minimis* d Coulomb, vol. 27, 1994, pp. 1-43. |
| M. SAILLARD | La spectroscopie en Grande-Bretagne de 1823 à 1843 ou les débuts de l'analyse chimique par l'étude des spectres prismatiques, vol.2, 1983, pp.4: 84. |

| | |
|---|---|
| M. SAILLARD | Calcul de la courbe d'efficacité lumineuse spectrale de l'œil effectuée à partir des mesures des intensités des différentes couleurs du spectre selon Frauenhofer, vol. 18, 1991, pp. 31-41. |
| M. SAILLARD | Un épisode de l'histoire de la colorimétrie de la théorie de Brewster (1831) et sa réfutation par Helmholtz (1852), vol. 5, 1984, pp.127-138. |
| M. SAILLARD | Bref historique de l'étude du phénomène de la couleur, vol. 10, 1987, pp. 40-53. |
| P. SOUFFRIN | Galilée, Toricelli et la "Loi fondamentale de la dynamique scolastique", vol.25, 1993, pp.122-134. |
| A. STANGUENNEC | Une nature inflammable : Remarques sur la significationde la combustion dans les fragments d'Encyclopédie de Novalis, vol. 5, 1984, pp. 115-126. |
| J.F. STOFFEL | L'histoire des théories physiques dans l'oeuvre de Pierre Duhem (avec une bibliographie exhaustive de la littérature consacrée à Duhem), vol.31, 1995, pp.49-86. |
| R. VIOLETTE | Lettres et opuscules de physique et de métaphysique du jeune Leibniz (1663-1671), Hypothèse physique nouvelle. Traduction originale de R. Violette. Volume 6, 1985. |
| B. WOJTKOWIAK | A la découverte de Lavoisier. Son rôle dans la révolution chimique du XVIIIème siècle, vol.4, 1984, pp.95-118. |

## Histoire de l'enseignement scientifique

| | |
|---|---|
| B. BEKEMEIER | Enseignement et sciences, essai pour un système achevé et conséquent des mathématiques, vol. 10, 1987, pp. 90-107. |
| B. BELHOSTE | Le cours d'analyse de Cauchy à l'*Ecole Polytechnique*, en seconde année, vol. 9, 1986, pp. 101-178. |
| C. BLANLŒIL | Liste d'articles se rapportant à l'agriculture, et publiés dans les *Annales de la Société Académique de Loire-Inférieure* de 1798 à 1825, vol. 22, 1992, pp. 218 -220. |
| P. BROUZENG | La place de l'histoire de la physique et de la chimie dans l'enseignement, les Universités et les Grandes Ecoles, vol.25, 1993, pp.50-54. |
| J. DE PRINS | Les enseignements et l'histoire des sciences, vol.25, 1993, pp.22-33. |
| A. C. DERE | L'évolution des sciences pharmaceutiques à Nantes la Révolution (1791-1803)-Regards sur la corporation des apothicaires nantais et ses activités, vol.17, 1990. |
| J. DHOMBRES | Le langage de l'œil: le dessin dans la diffusion du savoir scientifique en Bretagne, vol. 22, 1992, pp. 177 - 189. |
| H. GISPERT | Le milieu mathématique français et ses manuels (1870-1900), vol. 16, 1990, pp. 46-53. |
| N. HULIN | Formation scientifique et professionnelle des professeurs en sciences physiques (XIXème et XXème siècles), vol.25, 1993, pp.43-49. |
| D. JULIA | La fréquentation des écoles centrales : quelques hypothèses, vol.2, 1983, pp.141-159. |
| J.P. KERNEIS | Liste de thèses concernant des médecins et chirurgiens bretons (Nantes) (1750-1825), vol. 22, 1992, pp. 208 - 217. |
| P. LAMANDE | La mutation de l'enseignement scientifique en France (1750-1810) et le rôle des écoles centrales : l'exemple de Nantes, vol.15, 1989. |
| P. LAMANDE | Des différents rôles de l'écriture dans un manuel de mathématique : l'exemple de Bezout, vol. 18, 1991, pp. 31-40. |
| Y.F. LE COADIC | Muséologie des sciences et histoire des sciences, vol.25, 1993, pp.59-65. |
| J.L. MARTINAND | La didactique de la physique et de la chimie et l'histoire de ces sciences, vol.25, 1993, pp.5-21. |
| J.P. PENAUD | L'ajustement aux climats des architectes des Lumières, vol. 24, 1993. |
| J. PENNEC | Liste des polytechniciens bretons et de leurs publications (1794-1815), vol. 22, 1992, pp. 191-207. |
| J. B. RAKOTOZAFY-HARISON | Problèmes posés par l'enseignement des mathématiques dans les pays en voie de développement : le cas de Madagascar, vol. 7, 1985. |
| J. ROSMORDUC | L'histoire des sciences dans les I.U.F.M., vol.25, 1993, pp.55-58. |
| R. SAUSSAC | L'enseignement à Lyon au temps de Desargues, vol.29/30, 1995, pp.461-466. |
| E. SALTIEL | De l'intérêt de la didactique de la physique et de l'histoire de la physique dans la formation des enseignants, vol.25, 1993, pp.34-42. |

## Histoire de la Médecine

| | |
|---|---|
| A. C. DERE | L'évolution des sciences pharmaceutiques à Nantes la Révolution (1791-1803)-Regards sur la corporation des apothicaires nantais et ses activités, vol. 17, 1990. |
| J.P. KERNEIS | Liste de thèses concernant des médecins et chirurgiens bretons (Nantes) (1750-1825), vol. 22, 1992, pp. 208 - 217. |
| J. LEONARD | La méthode numérique en médecine au XIXème siècle en France, vol.10, 1986, pp. 66-77. |
| J.L. MEYER | Des microbes aux prions : le développement du concept viral et ses implications au cours du XXème siècle, vol.31, 1995, pp.109-132. |
| J. PIGEAUD | Cabanis et les rapports du physique et du moral, vol.1, 1982, pp.142-154 |
| J. PIGEAUD | Pinel et Condillac, vol.2, 1983, pp.22-39. |

## Histoire des sciences naturelles

| | |
|---|---|
| C. DEVILLERS | Le vingtième siècle et l'évolution.,vol. 16, 1990, pp. 71-94. |
| D. HANRIOT, C. LAMBERT, S. LEBERRE | Le *Journal du Muséum d'histoire naturelle* : quelques aspects de l'évolution des sciences naturelles en France entre 1802 et 1914, vol. 28, 1994, pp. 287-356 |
| G. FRAYSSE | Analyses structurales chez Darwin : Darwin et Geoffroy de Saint Hilaire, 13, 1987, pp.139-149. |
| G. GOHAU | Joseph Durocher et la naissance du métamorphisme, vol.31, 1995, pp.29- |
| G. LAURENT | L'histoire de la terre et de la vie en France au temps de la Révolution : Cuvier et Lamarck, vol.10, 1986, pp. 108-128. |
| G. LAURENT | Lamark, Lyell et Darwin, vol.31, 1995, pp.33-48. |
| B. MAITTE | Expérimentation et conceptualisation : l'exemple des travaux d'Haüy sur le cristaux, vol. 13, 1987, pp. 109-130. |
| A. STANGUENNEC | Le scalpel contre le microscope : Auguste Comte, vol.1, 1982, pp.190-2( |

## Histoire des techniques

| | |
|---|---|
| J. BAUDOUIN | Une visite intéressante : la Saupin production des plants-de-vigne, une exploitation modèle, vol.12, 1987, pp.50-55 |
| P. BERNARDI | Sources réglementaires et histoire des techniques : La fabrication du plâtre à Aix en Provence (XIVe siècle-XVIIIe siècle), vol.20, 1992, pp. 1: 149. |
| C. BLANLŒIL | Liste d'articles se rapportant à l'agriculture, et publiés dans les *Annales de Société Académique de Loire-Inférieure* de 1798 à 1825, vol. 22, 1992, pp 218-220. |
| B. BOUSQUET | Les techniques de l'irrigation dans les oasis de l'Egypte pendant l'antiquité romaine, vol.31, 1995, pp.1-8. |
| C.I. BRELOT | Les Salins de Franche-Comté : un exemple d'adaptation technique. Les apports de l'archéologie industrielle, vol.12, 1987, pp.84-114. |
| M. BURGELIN | Le musée Pierre Abélard, vol.12, 1987, pp.56-60. |
| F.R. COTTIN | L'architecte et l'architecture à Lyon au temps de Desargues, vol.29/30, 19 pp.425-432. |
| A. C. DERE, J. DHOMBRES | Economie portuaire, innovation technique et diffusion restreinte : les fabriques de soude artificielle dans la région nantaise (1777-1815), vol. 22 1992, pp.1-176. |
| G. EMPTOZ | Le sel et la naissance de l'industrie chimique, vol.12, 1987, pp.149-163. |
| G. EMPTOZ | Ingénieurs militaires et travaux hydrauliques : l'énergie hydraulique et les hommes au cours de la première industrialisation française, de 1820 à 185 vol. 18, 1991, pp. 41-53. |
| G. EMPTOZ | La carbonisation et la naissance de la chimie du bois : inventions, acteurs entreprises, vol.31, 1995, pp.9-19. |
| F.H. FORESTIER | L'homme et les métaux. L'or en Gaule et en pays nantais desorigines aux Gallo-romains, vol. 13, 1987, pp. 1-17. |
| C. GENDRON | Le vin et l'analogie, vol.12, 1987, pp.22-42. |

| | |
|---|---|
| A. HERLEA | Naissance et développement des moteurs à combustion interne et à piston jusqu'à la première guerre mondiale, vol.10, 1986, pp. 145-156. |
| P. HESSE | Minéralogie et recherche minière au moyen-âge et à la Renaissance, vol. 18, 1991, pp. 55-70 |
| J.C. HOCQUET | Milieux sociaux, production, commerce et fiscalité du sel, XII-XVIIIème siècles, vol.12, 1987, pp.69-72. |
| J.D. LOACH | Desargues et l'architecture lyonnaise, vol.29/30, 1995, pp.467-480. |
| M. LE MOEL | Jacques Curabelle et le monde des architectes parisiens, vol.29/30, 1995, pp.389-394. |
| B. MAITTE | Expérimentation et conceptualisation : l'exemple des travaux d'*Haüy* sur les cristaux, vol. 13, 1987, pp. 109-130. |
| M. MATRAT | Propriétés du sel (résumé), vol.12, 1987, pp.115-119. |
| M. MEYER | Histoire de la vigne et du vin en France et dans le Val-de-Loire, vol.12, 1987, pp.1-7. |
| MICHEL, RENARD | Un peu d'histoire sur les techniques des exploitations du vignoble nantais, sur les techniques des exploitations du vignoble français, sur la vigne, sur l'évolution des technologies et sur le travail du vigneron, vol.12, 1987, pp.61-69. |
| J.C. MORICE | L'économie viticole, vol.12, 1987, pp.43-49. |
| J.F. OUDET | Le style de Desargues : l'observation associée à la théorie pour placer le style d'un cadran scolaire, vol.29/30, 1995, pp.331-340. |
| J. PAYEN | Aspects de l'industrie française à la fin du XVIIIème siècle et au début du XIXème siècle : les frères Perier, la machine à vapeur, la construction mécanique, vol.1, 1982, pp.211-247. |
| A. PICON | Girard Desargues ingénieur, vol.29/30, 1995, pp.413-424. |
| J. POISBEAU-HEMAY | La récolte du sel en pays guérandais, paludiers d'autrefois et d'aujourd'hui, vol.12, 1987, pp.139-148. |
| A. POULARD, R. REBERTEAU | Chaîne technologique de la vinification en blanc sec dans la région nantaire, vol.12, 1987, pp.8-21 |
| G. SAINDRENAN | Le développement industriel de l'aluminium jusqu'en 1900, vol.31, 1995, pp.19-28. |
| J.P. SAINT AUBIN | Les enjeux architecturaux de la didactique stéréotomique de Desargues, vol.29/30, 1995, pp.363-370. |
| J. SAKAROVITCH | Le fascicule de stéréotomie : entre savoir et métiers, la fonction de l'architecte, vol.29/30, 1995, pp.347-362. |
| D. SENN | Chimie minérale : les dérivées du sel, vol.12, 1987, pp.120-138. |
| C. SERVENT | Un exemple de production contemporaine : Salins de la Méditérannée, vol.12,1987, pp.73-83. |
| R. SINISGALLI, S. VASTOLA | Desargues e la gnomonica, vol.29/30, 1995, pp.341-346. |
| A. THEPOT | Aspects économiques de la production de soude (procédé Leblanc) : le cas marseillais, vol.12, 1987, pp.169-177. |
| U . ZELBSTEIN | Des roues à chiens et de quelques métiers disparus, vol. 20, 1992, pp. 77-96. |

## Histoire de la théorie musicale

| | |
|---|---|
| P. BAILHACHE | Valeur actuelle de l'acoustique musicale de Hemholtz, vol. 11, 1987, pp. 152-174. |
| P. BAILHACHE | Tempéraments musicaux et mathématiques, vol. 26, 1990, pp. 81-112. |
| F. BUZON | L'expérimentation dans la constitution de la théorie musicale, vol. 16, 1990, pp. 113-131. |

## Sciences et Société

| | |
|---|---|
| A. BEAULIEU | Après Galilée : l'attitude de la France, vol. 10, 1986, pp. 78-89. |
| C. BLANLŒIL | Liste d'articles se rapportant à l'agriculture et publiés dans les *Annales de la ociété Académique de Loire-Inférieure* de 1798 à 1825, vol. 22, 1992, pp. 218-220. |
| M. CHABOUD | Desargues lyonnais, vol.29/30, 1995, pp.433-452. |
| G. CUER | Le notariat lyonnais au XVIIème siècle, vol.29/30, 1995, 453-460. |
| A. C. DERE | L'évolution des sciences pharmaceutiques à Nantes la Révolution (1791-1803)- Regards sur la corporation des apothicaires nantais et ses activités, vol. 17, 1990. |

| | |
|---|---|
| A. C. DERE, J. DHOMBRES | Economie portuaire, innovation technique et diffusion restreinte: les fabriqu de soude artificielle dans la région nantaise (1777-1815), vol. 22, 1992, pp. 176. |
| J. et N. DHOMBRES | Popularité de la science autour de 1800 : une science "utile", vol.1, 1982, pp.1-26. |
| J. DHOMBRES | La gloire de la science : culture et poésie vers 1800, vol. 19, pp. 91-117. |
| J. DHOMBRES | Le langage de l'œil: le dessin dans la diffusion du savoir scientifique en Bretagne, vol. 22, 1992, pp. 177-189. |
| J. DHOMBRES | L'image du monde arabe dans bilan des activités scientifiques dressé par l'Institut de France sous l'Empire, vol. 20, 1992, pp. 151-164. |
| N. DHOMBRES | Une communauté scientifique ? , vol.1, 1982, pp.155-189. |
| N. DHOMBRES | Les scientifiques proches du pouvoir napoléonien, vol.2, 1983, pp.85-141. |
| G. EMPTOZ | Ingénieurs militaires et travaux hydrauliques : l'énergie hydraulique et les hommes au cours de la première industrialisation française, de 1820 à 1850, vol.19, 1991, pp. 41-53. |
| H. GISPERT | Le milieu mathématique français et ses manuels (1870-1900), vol. 16, 199 pp. 46-53. |
| V. et O. JULLIEN | Commentaires esthétiques et épistémologiques sur la fresque deRaphaël "l'Ecole d'Athènes", vol. 20, 1992, pp. 97-136. |
| J.-P. KERNEIS | Liste de thèses concernant des médecins et chirurgiens bretons(1750-1825), vol. 22, 1992, pp. 208-217. |
| L. LAMY | Le *Journal de l'Ecole Polytechnique* de 1795 à 1831 : un journal institutionnel et un journal savant, vol.32. |
| P. LAMANDE | La mutation de l'enseignement scientifique en France (1750-1810) et le rôle des écoles centrales : l'exemple de Nantes; vol. 15, 1989. |
| J. PENNEC | Liste des polytechniciens bretons et de leurs publications(1794-1815), vol. 22, 1992, pp. 191- 07. |
| A. PICON | Les ingénieurs et l'idéal analytique à la fin du XVIIIème siècle, vol.13, 198 pp. 70-108. |

## Journaux scientifiques

| | |
|---|---|
| A.C. DERE | Où les chimistes publiaient-ils de 1700 à 1789 ? , vol. 28, 1994, pp. 2-23 |
| B. DODY | La *Corrrespondance sur l'Ecole polytechnique* (1804-1816), un journal multidisciplinaire au service d'une Ecole, vol. 28, 1994, pp. 24-178 |
| S. DUVINA | Le *Journal de mathématiques pures et appliquées* sous la houlette de Liouville (1836-1874), vol. 28, 1994, pp. 179-286 |
| D. HANRIOT, C. LAMBERT, S. LEBERRE | Le *Journal du Muséum d'histoire naturelle* : quelques aspects de l'évolution des sciences naturelles en France entre 1802 et 1914, vol. 28, 1994, pp. 287-356. |
| L. LAMY | Le *Journal de l'Ecole Polytechnique* de 1795 à 1831 : un journal institutionnel et un journal savant, vol.32. |
| M. LETTE | Les *Annales de chimie et de physique,* quatrième série. Un journal au servic de la science ofifcielle, vol. 28, 1994, pp. 218-286. |
| E. TELKES | La base de données bibliographiques d'histoire des sciences et des technique du C.D.H.S., vol.2, 1983, pp.40-42. |

Achevé d'imprimer sur les presses de l'université de Nantes

le 24 avril 1995

Dépôt légal : 2e trimestre 1995

SCIENCES ET TECHNIQUES EN PERSPECTIVE

Revue produite par le

Centre François Viète

*Sciences et Techniques en perspective* est une revue à parution semestrielle portant sur l'histoire et la philosophie des sciences et des techniques.

Cette revue prend sa source dans les exposés hebdomadaires du séminaire du Centre François Viète le mardi d'Octobre à Juin, mais elle accueille aussi bien les publications d'une autre provenance.

Chaque numéro est disponible moyennant un chèque de 75 F. (60 F. + port). On peut commander à l'adresse suivante :

P. Lamandé, Centre François Viète

2, rue de la Houssinière

44072 NANTES Cedex 03

Chèque à l'ordre de l'Agent comptable de l'Université de Nantes.

Fax : 40 93 38 78

**Centre François Viète**
**Université de Nantes/UPR 21 du CNRS**
2, chemin de la Houssinière
44072 Nantes Cedex 03
tél. 40. 37.30.08.
Fax : 40 93 38 78

Créé en 1985, le Centre d'Histoire des Sciences et des techniques est abrité par la Faculté des Sciences de l'Université de Nantes. Constitué comme département commun à la Faculté des Sciences et à la Faculté des Lettres, il a pris la dénomination de Centre François Viète en 1994.

Son but est de promouvoir des travaux de recherche en histoire des sciences et des techniques, d'assurer un enseignement de cette discipline à différents niveaux et de regrouper des spécialistes aussi bien scientifiques que littéraires. L'un des objectifs est de permettre l'utilisation de points de vue historique et épistémologique dans les différents cursus universitaires, aussi bien en sciences exactes qu'en sciences humaines. Le centre est responsable d'un cycle d'études doctorales et dispose d'un enseignement de troisième cycle. Un séminaire hebdomadaire réunit les chercheurs tous les mardis à 17 heures.

Dirigé par Jackie Pigeaud, membre de l'Institut universitaire de France, avec comme directeur-adjoint Gérard Emptoz (professeur d'histoire des techniques à l'Université de Nantes), le Centre François Viète est composé de Patrice Bailhache (professeur d'histoire des sciences à l'Université de Nantes, responsable du séminaire), Jean Dhombres (directeur de l'UPR 21 du CNRS), Jacques Gapaillard (professeur de mathématiques à l'Université de Nantes), Philippe Hesse (professeur de droit à l'Université de Nantes). Pierre Lamandé (maître de conférences en mathématiques à l'Université de Nantes et responsable de la revue *Sciences et Techniques en Perspective*), Goulven Laurent (directeur de la Bibliothèque de l'Université catholique d'Angers), Marco Panza (maître de conférences en histoire des sciences à l'Université de Nantes), Guy Saindrenan (professeur en science des matériaux à l'ISITEM), François Schmitz (maître de conférences en philosophie à l'Université de Nantes), Michel Spiesser (maître de conférences en chimie à l'Université de Nantes, Bernard Vitrac (chargé de recherche au CNRS). Auxquels sont associés notamment des docteurs en histoire des sciences (Jean-Bernard Pécot, Nicole Dhombres, Jean-Pierre Peneau) et des chercheurs ou doctorants (Anne-Claire Déré, Loïc Barbo, Hubert Billemont, Anne Boyé, Hugues Chabot, Charles Dubois, Sylvain Duvina, Damien Hanriot, Loïc Lamy, François Loget, Christian Perrein).