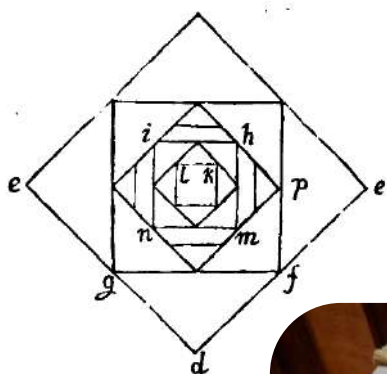
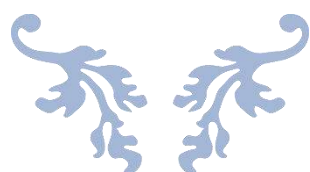


Tracés de Bâtisseurs



Philippe Henri LEROY
6 Juillet 2020 ©



Introduction

Il n'y a pas de construction qui ne soit précédée de tracés, de plans voire de gabarits, pour établir la passerelle entre l'étape du concept issu de la pensée géométrique, et celle de la réalisation par la mise en forme de la matière :

Prolongation de l'esprit par les mains !

De longue tradition de bâtisseurs, les méthodes de tracés furent un secret transmis par les Passeurs de savoir-faire, traversant les siècles et les diverses civilisations pour arriver jusqu'à nous, à l'aube de ce 3ème millénaire. Quelques-uns des principaux tracés de base, réalisés principalement au compas, au cordeau (parfois à la corde à 13 nœuds), à la règle ou la pige (aussi appelée virga), sont décrits de façon opérationnelle, afin de comprendre les clefs simples de la géométrie utilisée de tout temps par les bâtisseurs et les tailleurs de pierre.

C'est grâce à cette longue chaîne humaine, soudée par les maillons de Bâtisseurs : architectes, maîtres d'œuvre, appareilleurs et tailleurs, tels que Vitruve (-I^{er}), Suger (XII^e), Hugues Libergier et Villard de Honnécourt (XIII^e), Hans Hosch & Mathias Roritzer (fin XV^e), Léonard de Vinci (début XVI^e), plus près de nous Viollet Le Duc, porteurs d'un perfectionnement et d'un partage perpétuel que, depuis l'aube des civilisations et dans le respect des traditions du Métier, il nous est permis de reproduire les traits originels des Bâtisseurs, et d'apporter ainsi, notre pierre à l'édifice contemporain.

Ainsi, nous allons de façon pratique, découvrir les joies de la construction géométrique progressive en poussant à la main des traits de bâtisseurs ; avec simplicité, efficacité, et dans la tradition : un compas, une règle non graduée. Figures tracées l'aide d'un stylographe... Et sans support de logiciels DAO !

Si nous donnons une histoire à la pierre, la pierre, elle, porte bien au-delà de l'échelle d'une vie, l'Histoire des Hommes.



Sommaire

A- Perpendiculaires

B- Figures géométriques

C- Divisions de segments

D- Tracés d'arcs et d'ogives

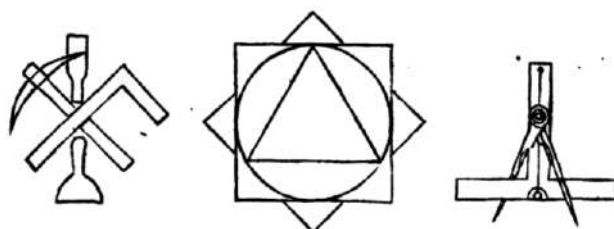
E- Divisions d'arcs

F- Tracés d'anses pour arcade ou voute

G- Tracés de rosaces

H- Tracés de la Bauhütte XIII^{ème}-XVI^{ème}

I- Mesures, toises et proportions.



A - Tracés de Perpendiculaires -

1-Perpendiculaire en pleine droite :

Dans tous les tracés présentés dans ce traité, l'équerre n'a jamais été utilisée : les tracés qui suivent permettent aisément de s'en passer !

1.1- Passant par un point de la droite définie :

- φ Sur une droite d, choisir le point H où la perpendiculaire est désirée ;
- φ Piquer le compas en H, et faire 2 arcs de cercle de part et d'autre en coupant la droite en deux points C1 et C2
- φ Piquer le compas en C1 et choisir une ouverture plus grande que C1H; tracer l'arc de cercle c1 de part et d'autre de la droite et dépassant la trace de H ,
- φ Avec la même ouverture, piquer le compas en C2 et tracer l'arc de cercle c2 coupant le premier arc c1 en un points P1 situé d'un côté de la droite d.
- φ La perpendiculaire en H est la droite qui relie P1 à H.

1.2- Passant par un point quelconque non défini sur une droite :

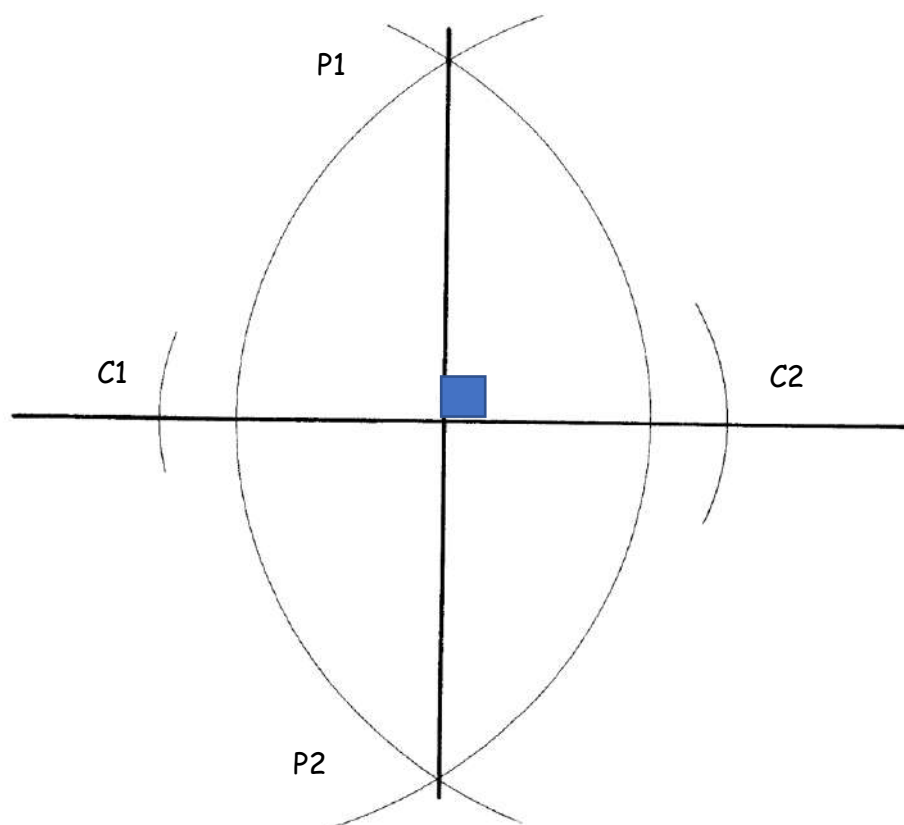
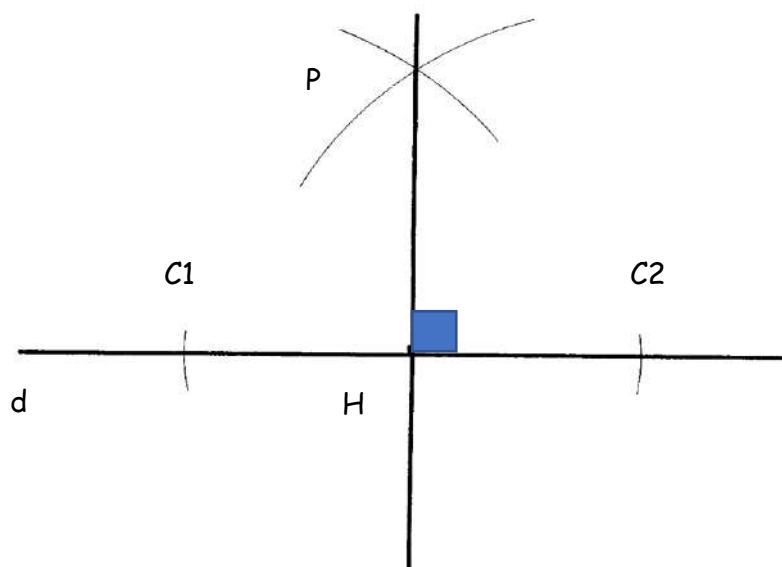
- φ Piquer le compas, n'importe où sur la droite d, et tracer deux arcs de cercles de part & d'autre du point piqué, qui coupent la droite en C1 et C2
- φ Piquer le compas en C1 et choisir une ouverture, plus grande et tracer un arc de cercle c1 traversant la droite d ;
- φ Avec la même ouverture, piquer le compas en C2 et tracer l'arc de cercle c2 coupant le premier en deux points P1 et P2 situés de part & d'autre de la droite d ;
- φ La perpendiculaire à la droite d, est portée par la droite qui relie P1, et P2,

1.3- Passant par un point extérieur à la droite :

- φ Depuis un point P extérieur à la droite d, piquer le compas avec une ouverture permettant de couper la droite en deux endroits avec l'arc de cercle tracé créant ainsi deux points P1 et P2 ;
- φ Depuis ces deux points P1 et P2, tracer deux arcs de cercle qui ont la même ouverture, et qui se coupent mutuellement en Q ;
- φ La perpendiculaire abaissée depuis le point P est portée par la droite reliant P à Q, elle-même perpendiculaire à d.

- TRACE de PERPENDICULAIRES -

1-1 & 1-2



2-Perpendiculaire en bout de droite :

C'est un tracé très utile quand il est nécessaire de définir une perpendiculaire à l'une des extrémités d'un terrain ou sur des blocs de pierre non équarris.

- φ Sur la droite d qui porte le point d'extrémité E, piquer en E le compas, choisir une ouverture et tracer un arc de cercle dont l'angle au centre est d'au moins 60 °, et qui coupe la droite d en A ;
- φ Avec la même ouverture de compas, piquer en A et tracer l'arc de cercle a, qui coupe l'arc de cercle tracé ci-dessus, en un point I ;
- φ Tracer la droite qui passe par A et I, en la prolongeant au-delà de I, de façon à pouvoir recevoir l'intersection d'un nouvel arc de cercle, piqué en I, et ayant toujours avec la même ouverture : le point défini est P ;
- φ La perpendiculaire en bout de E est obtenue en traçant la droite qui relie E et P.

NB : cette simplification d'utiliser trois fois la même ouverture du compas (ou de la longueur de corde), facilite l'utilisation de ce tracé en particulier sur des grandes longueurs.

3- Perpendiculaire par le Triangle des Arpenteurs :

Le tracé de l'angle droit se réalise par la concrétisation du théorème de Pythagore, caractéristique du triangle rectangle, et qui se résume de la façon suivante :

Dans un triangle rectangle de cotés a, b, c, dont les côtés a et b sont ceux de l'angle droit :

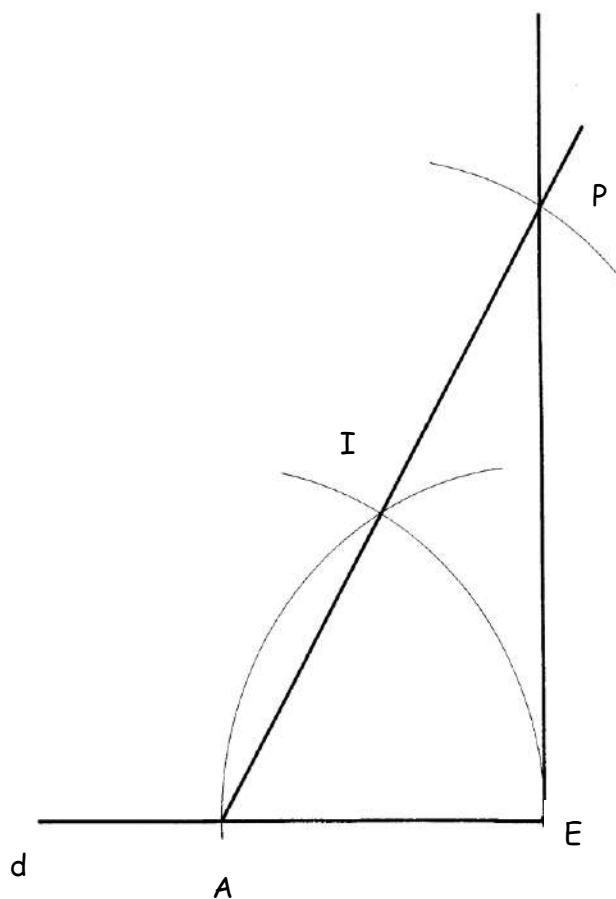
$$a^2 + b^2 = c^2$$

Les Bâisseurs ont très tôt utilisé cette caractéristique pour tracer un angle droit avec différents instruments. En effet, lorsque les côtés d'un triangle ont respectivement les longueurs de 3, 4, 5 fois le module choisi (ou des multiples communs de ce module unitaire), alors le triangle est rectangle : c'est le triangle de Pythagore ... mais aussi, le triangle Sacré ...

- φ Sur une droite « d », choisir un point A, et choisir avec le compas une ouverture correspondant au module choisi ; tracer à partir du point A, cinq arcs coupant la droite : ce sont les segments de relevé des ouvertures 3, 4, 5 modules du compas.

- TRACE de PERPENDICULAIRES -

2-



- φ Piquer le compas à partir du point A, avec une ouverture réglée à 3 fois (ou un multiple) le module choisi et tracer un arc de cercle a ; il coupe la droite « d » en un point nommé B ;
- φ Piquer le compas au point B, avec une ouverture réglée à 4 fois le module (ou au même multiple), et tracer un autre arc de cercle b,
- φ Repiquer au point A avec une ouverture réglée à 5 fois ce module idem précédemment (ou au même multiple), et tracer un arc de cercle c qui coupe l'arc de cercle b en un point C
- φ Les 3 points A, B et C forment un triangle rectangle.

NB : Les Bâisseurs utilisent encore de nos jours, cette propriété du triangle de Pythagore, pour contrôler la perpendicularité de deux murs entre eux.

En effet, il suffit de tracer depuis l'arête d'un côté de mur, un segment de 90 cm (3 fois le module de 30 cm) par exemple, puis sur le mur adjacent un segment de 120 cm (4 fois le module), et de mesurer que la distance qui relie les deux points tracés aux extrémités est bien de 150 cm, soit 5 fois le module.

Les maçons se contentent de 60 cm et 80 cm pour contrôler que l'hypoténuse fait bien 100 cm, donc vérifier que les murs sont ... d'équerre.

Vérification facile, et c'est bien pratique !

Dans le chapitre I, il est décrit l'utilisation de la corde à 13 nœuds (3 + 4 + 5 intervalles), qui constitue un outil de tracé très pratique pour les Bâisseurs, et peut être ceci depuis des temps reculés ; cela reste une supposition...agréable !

4-Perpendiculaire par un triangle rectangle

Est rappelé ici, la façon de construire deux droites perpendiculaires à l'aide du triangle rectangle, tout simplement à partir d'un cercle : il suffit que son hypoténuse soit le diamètre du cercle circonscrit.

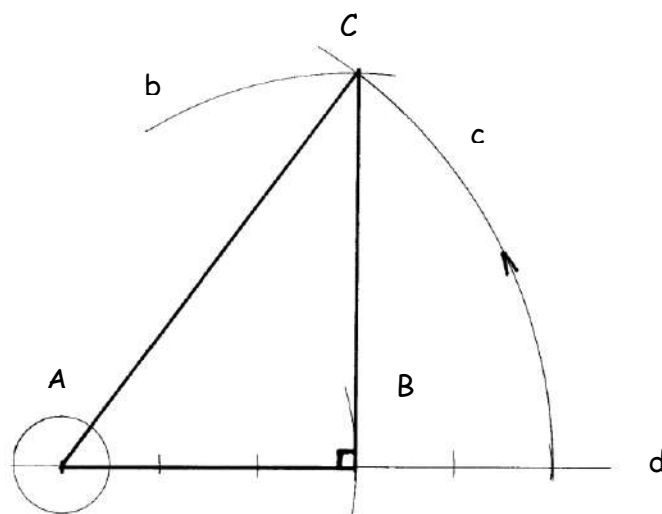
- φ Tracer un cercle dont le centre est pointé sur la droite qui porte le diamètre qui sera la future hypoténuse du triangle rectangle ;
- φ Avec, la même ouverture de compas ou une autre, piquer sur l'intersection du diamètre avec le cercle, et tracer un arc qui vient couper la circonférence du cercle : le point défini est le sommet de l'angle droit.
- φ Tracer à la règle les deux côtés de l'angle droit en rejoignant ce point aux deux extrémités du diamètre :

➤ Ce sont les PERPENDICULAIRES cherchées.

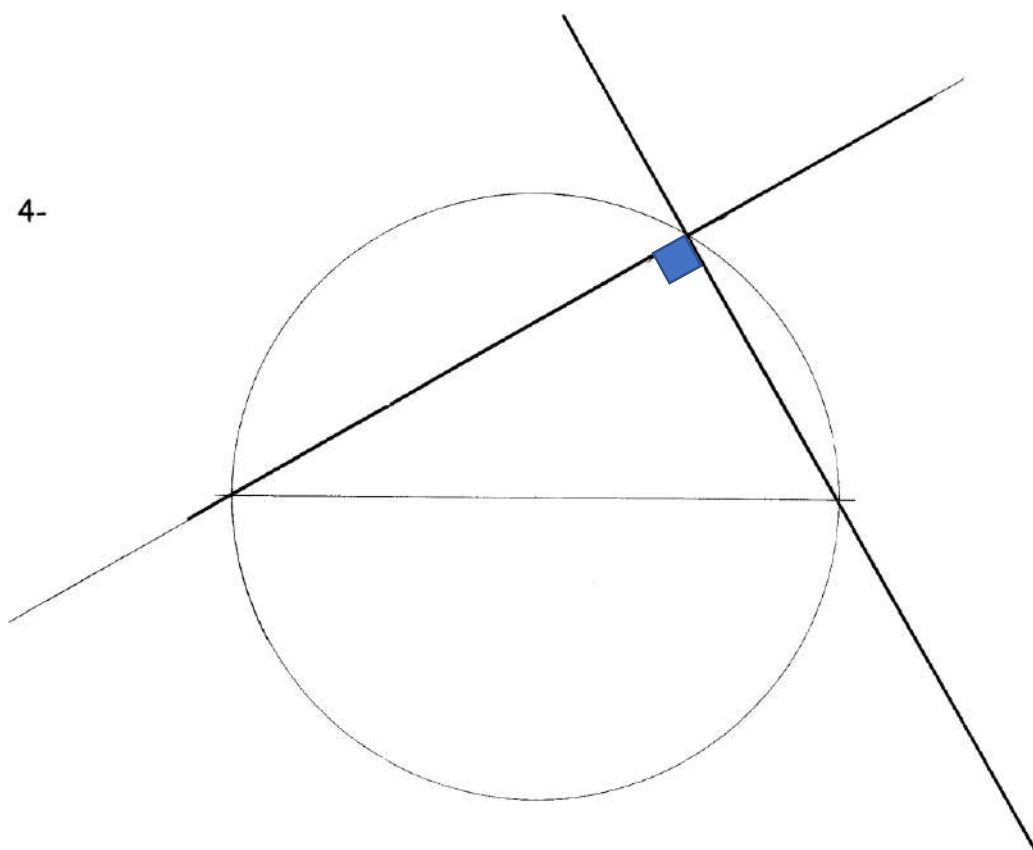
NB : Ou aussi , tracer la droite qui va porter la perpendiculaire ; tracer une autre droite sécante en un point ; de ce point, porter une ouverture de compas quelconque qui coupe cette dernière et donne le centre d'un cercle ; en ce point avec la même ouverture, tracer le cercle qui coupe des 2 droites en 2 points : la droite perpendiculaire cherchée passe par ces 2 points : simple et rapide !

- Tracés de perpendiculaires-

3-



4-



B- Figures géométriques -

5- Le Carré ayant pour côté une longueur a :

5.1 - Au compas seul :

- φ Sur une droite « d », positionner un point O ;
- φ Piquer le compas en O avec une ouverture $a/2$, et tracer des arcs a_1 et a_2 , qui coupent la droite d, respectivement en deux points A1 et A2. (Nb: l'ouverture du compas de $a/2$ s'obtient en traçant la médiatrice d'un segment a choisi) ;
- φ Tracer avec le compas la médiatrice m en O, en piquant successivement en A1 et A2, et tracer les arcs de part & d'autre de la droite « d »; ces arcs se coupent en M1 et M2: la médiatrice « m » est portée par le segment M1, M2 passant par O ;
- φ Piquer en O toujours avec une ouverture $a/2$ et tracer les arcs de part et d'autre de « d » sur la droite « m », qui coupent cette médiatrice m en P1 et P2 ;
- φ Toujours avec l'ouverture de compas $a/2$, tracer les arcs p1 et p2 en piquant sur P1 puis P2, de part et d'autre de la droite « m » ;
- φ En piquant à nouveau sur A1 et A2, avec la même ouverture $a/2$, on coupe les arcs p1 et p2, en Q1 et Q2, et en S1 et S2 :
 - S1-S2-Q1-Q2 sont les sommets du carré recherché de côté a !

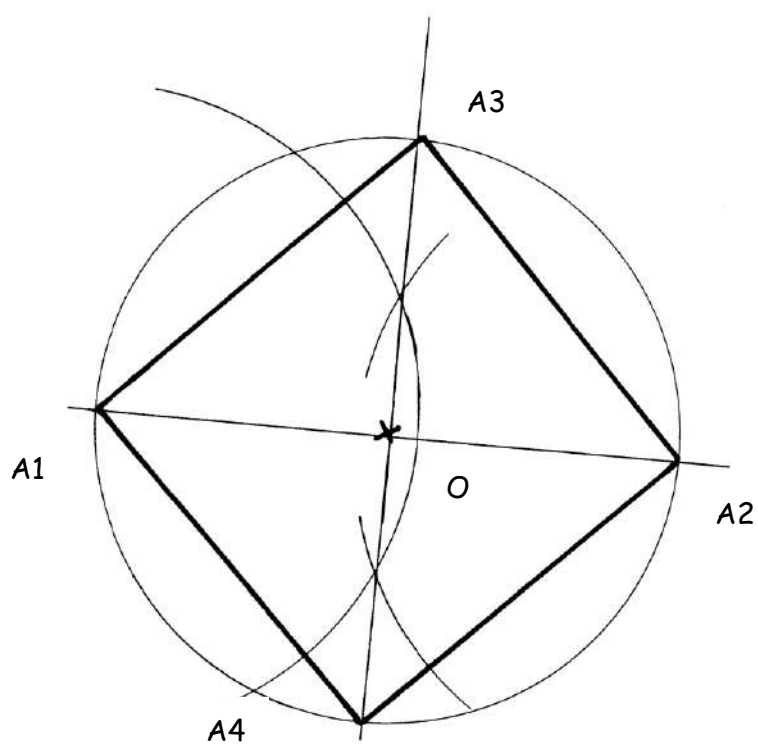
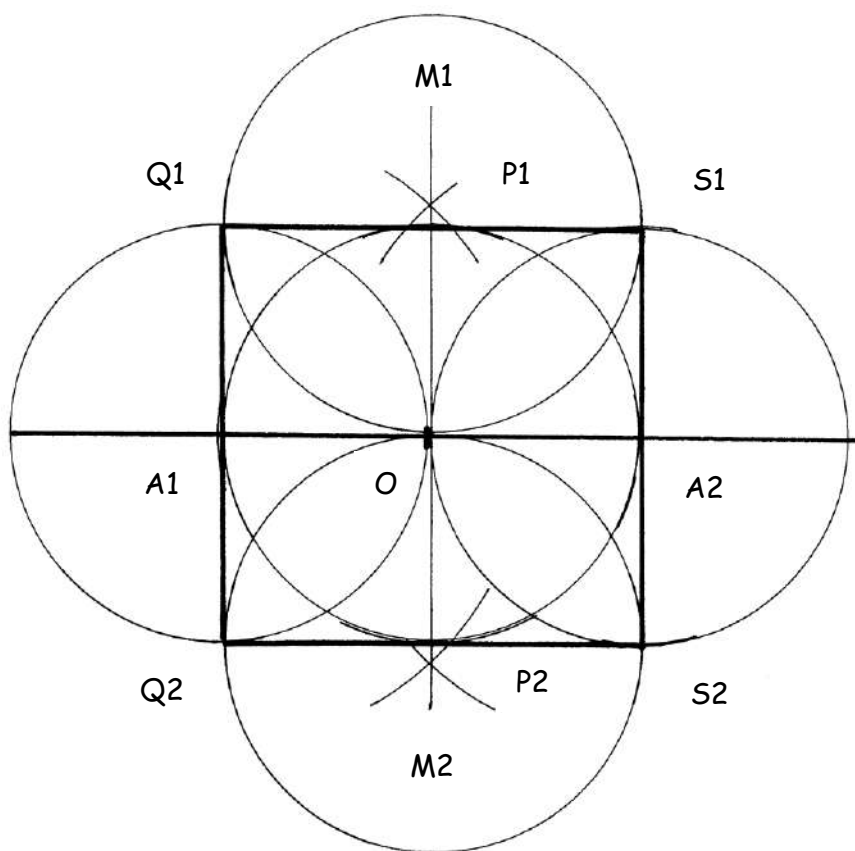
5.2- Carré dans un cercle :

- φ Tracer un cercle de centre O, et tracer avec la règle un diamètre porté par une droite qui passe par O et qui coupe le cercle en deux points A1 et A2 : c'est le diamètre d ;
- φ Tracer la médiatrice du segment A1-A2 : pour cela piquer le compas d'une ouverture supérieure au rayon, en A1, et tracer deux arcs de cercle a_{11} et a_{12} ; conserver la même ouverture et piquer le compas en A2, puis tracer les arcs a_{21} et a_{22} , qui coupent les deux arcs précédents a_{11} et a_{12} , respectivement en A3 et A4 ;
- φ Rejoindre à la règle des points A1, A2, A3, et A4, qui forment le carré recherché.

NB : pour mémoire au Moyen-Age, une façon de tracer un carré est d'utiliser la corde à 13 nœuds et de faire une figure avec 4 nœuds par côté. Cependant, attention de ne pas faire un losange, donc, nécessité de contrôler la longueur identique des ... diagonales ... Avec une seconde corde !

- TRACES de CARRES-

5-



6- Le Rectangle d'Or à partir du carré :

Le rectangle d'or est celui dont les proportions qui en régissent la forme, paraissent les plus « équilibrées » voire les plus esthétiques. Une des caractéristiques de ce rectangle est que le rapport entre la longueur et la largeur de ses cotés est égale au nombre d'Or : $\Phi = 1,618$; ou plus

exactement : $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$.

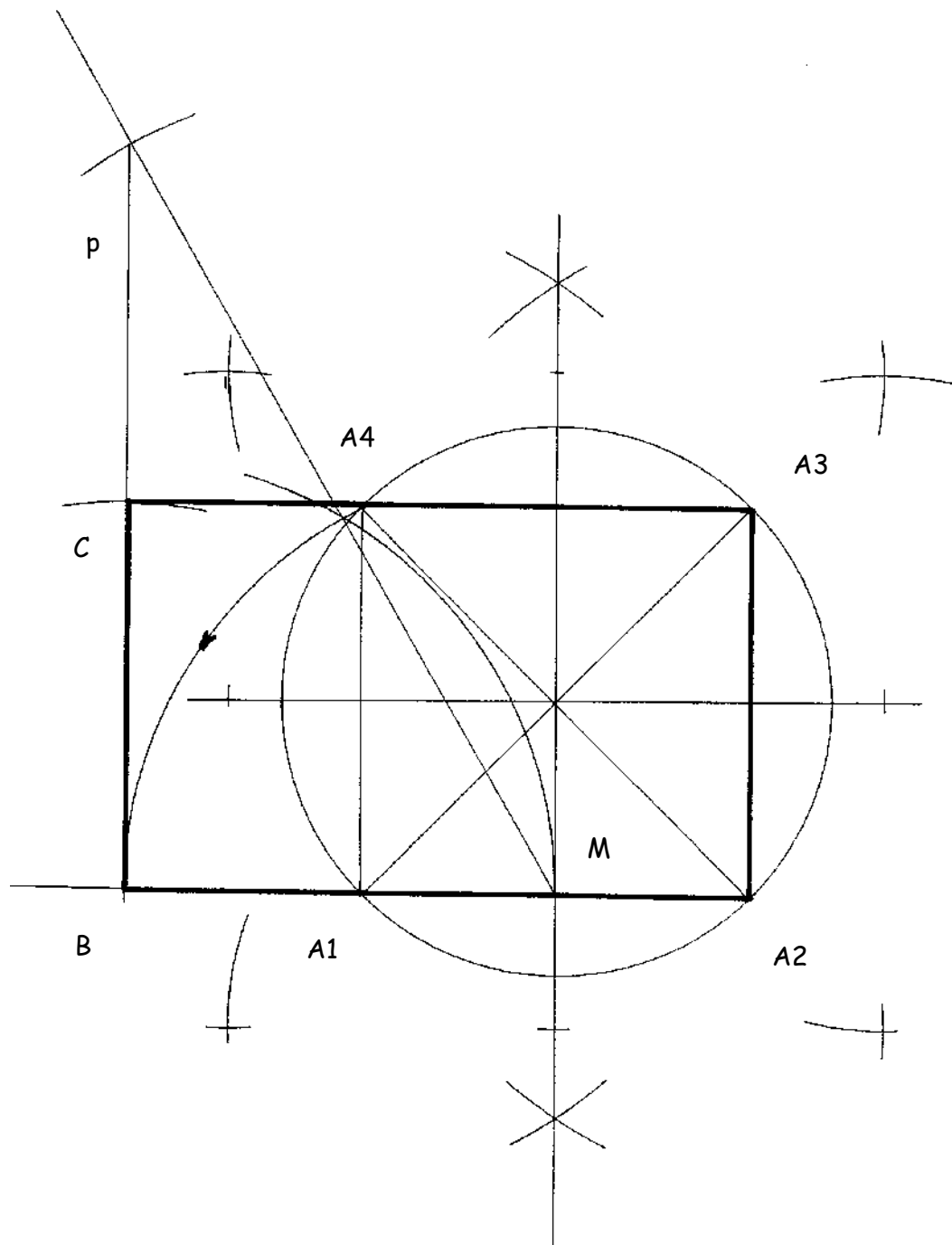
- φ A partir d'un carré A1, A2, A3, A4 issu de tracé précédant, de côté a, déterminer le milieu M d'un de ses cotés, A1 A2 par exemple, (que nous appellerons « base »,) en traçant la médiatrice de ce segment A1 A2 ;
- φ Prolonger le côté A1A2 par une demi droite issue de A2 par exemple ;
- φ Piquer le compas sur le point M avec une ouverture égale à la distance comprise depuis M jusqu'à l'une des extrémités A3 ou A4 du côté opposé ; tracer l'arc de cercle qui coupe la droite prolongeant le côté A1A2 (« la base ») en un point nommé B.
- φ A partir de B, tracer la perpendiculaire p « en bout », qui s'élève vers le côté opposé à « la base » ;
- φ Avec le compas, régler l'ouverture sur la longueur d'un côté du carré, et reporter cette distance sur la perpendiculaire p, en piquant sur B et en traçant l'arc de cercle de rayon a (côté du carré) ; celui-ci coupe la perpendiculaire p, en un point C ;
- φ Les points B et C constituent les deux nouveaux sommets du rectangle d'or A2, B, C, A3 ;
- φ Il suffit de joindre à la règle les points C en prolongement de A4 -A3, pour fermer le Rectangle d'Or A2, B, C, A3.

Les côtés de ce rectangle sont dans la proportion du nombre d'or Φ !

NB : les triangles M-A2-A3 et M-A1-A4 rectangles, sont 2 triangles des Bâisseurs (voir paragraphe 7.1)

-TRACE du RECTANGLE D'OR-

6-



7- Les Triangles :

Ces figures géométriques constituent bien souvent le module de base de beaucoup de constructions ou d'autres formes plus complexes comme nous le verrons avec le pentagone. (Voir au paragraphe 8.4)

Sans devoir rappeler toutes les formes de triangles existantes et les méthodes simples pour les tracer au compas, (rectangles - isocèles- isocèles rectangles - équilatéraux), seuls quelques triangles remarquables vont faire l'objet de rappel, ou de description.

7.1 - Triangle des Bâisseurs :

C'est le triangle rectangle dont l'un de ses côtés de l'angle droit est d'une longueur double de celle de l'autre côté de cet angle droit.

Il possède plusieurs particularités :

- Celle de se construire depuis deux carrés juxtaposés ;
- Celle d'avoir l'hypoténuse égale à $\sqrt{5}$ fois le petit côté.
- φ Tracer un carré ayant pour côté le module « a » choisi, et de sommets S1, S2, Q2, Q1 ; (voir au 5.1)
- φ Tracer un second carré S2, S3, Q3 Q2 identique et juxtaposé au premier avec un côté commun S2-Q2 : le rectangle obtenu S1S3Q3Q1 possède des côtés « a » et « 2a ».
- φ Tracer la diagonale Q1S3 de ce rectangle ;
 - **Le triangle Q1-S3-Q3, est le triangle des Bâisseurs** dont l'hypoténuse mesure « a » fois $\sqrt{5}$!

Mais non seulement lui... Q1-S1-S3 est aussi un triangle des Bâisseurs !

Le triangle des Bâisseurs permet la mesure du nombre d'Or Phi :

- φ Si on prolonge l'hypoténuse S3Q1, en une demi-droite Δ au-delà de S3 par exemple, piquer le compas en S3, avec une ouverture égale à S3Q3, soit la distance a ;
- φ Tracer l'arc de cercle qui coupe la demi-droite Δ en E
- φ Le segment Q1-E mesure « a » fois $2 \times \text{Phi}$: c'est une façon aisée de trouver la valeur de Phi, car la mesure de nombre irrationnel n'est jamais facilement atteignable.

NB : Façon simple de disposer de la valeur du Nombre d'Or Phi :

prendre une mesure de « a » égale à une unité (pied, pouce, mètre, etc.) ; les côtés de l'angle droit valent respectivement pour S3Q3= 1, Q1Q3 = 2 et pour l'hypoténuse Q1S3 = $\sqrt{5}$; alors le prolongement Q1E vaut 2 fois le Nombre d'Or Phi, soit $3,236 = 2 \times 1,618$ unité .

Facile de mesurer le Nombre d'Or !

Variante simple de tracé du Triangle des Bâisseurs :

- φ Sur un segment AB, tracer la médiatrice qui le coupe en M
- φ Tracer au point B la perpendiculaire en bout,
- φ Piquer en B avec l'ouverture réglée sur MB, et reporter un arc qui coupe la perpendiculaire de B en un point C qui est le 3ème sommet du Triangle des Bâisseurs ABC, rectangle en B.

On ne peut plus simple !

7.2 - Triangles d'Or (ou triangle sublime) :

Quelle est la caractéristique de construction commune à tous les triangles qui peuvent être définis comme triangle d'Or ?

C'est d'être isocèle et d'avoir un angle au sommet qui vaut la moitié de chaque angle formé d'un côté avec de la base : 36° degrés comparativement à 72° pour les 2 angles formés avec la base. ($36^\circ + 72^\circ + 72^\circ$ font bien 180° pour tout triangle). Dans ce cas, alors, la propriété commune à tous ces triangles est que le rapport entre un côté issu du sommet avec la base, a pour valeur le nombre d'or : Phi (la base ayant pour module : 1)

- φ Tracer un triangle de Bâisseurs ABC, avec $AB = 2BC$ et angle droit au sommet B.
- φ Prolonger la demi-droite BC au-delà du sommet C
- φ Piquer le compas en C avec une ouverture réglée sur AC, et tracer l'arc de cercle qui coupe la demi-droite BC en un point E
- φ Piquer en B avec une ouverture BE ; tracer l'arc de cercle proche de E
- φ Piquer en A avec la même ouverture et tracer l'arc de cercle qui coupe le précédent en un point D :

C'est le sommet du triangle d'Or isocèle ABD !

NB : vérifier que le rapport DB / AB est égal à Phi (1,618).

7.3- Triangles d'Argent :

Quelle est la caractéristique de construction commune à tous les triangles qui peuvent être qualifiés d'Argent ?

C'est d'être Isocèle, et d'avoir un angle au sommet de 108° , et donc chaque angle de la base est de 36° . Là aussi, la propriété commune à tous ces triangles, est que le rapport entre un côté du sommet avec sa base est de $1/\text{Phi}$, ou inversement, le rapport entre la base et l'un de ses côté est Phi.

Il procède du triangle d'or :

- φ Tracer la bissectrice de l'un des angles de la base du triangle d'Or ;
 - φ Elle coupe le côté opposé BD du triangle ABD en un point G :
- G est le sommet du triangle d'Argent AGD !

8- Le Pentagone :

C'est une figure délicate à définir dans le cercle circonscrit ; elle fait appel à des méthodes de tracés, mises au point à la fin du Moyen -Age, qui s'appuient sur des propriétés du triangle d'or dans le pentagone régulier. On retient qu'un pentagone peut toujours se décomposer en 3 modules élémentaires : un triangle d'Or et deux triangles d'Argent ; ces triangles d'Argent ont chacun pour base, une diagonale dont la valeur est « a » fois Phi, si l'arête du pentagone est de module « a ».

8.1 - Par la méthode Albrecht Durer (vers 1511) :

- φ Sur une droite, tracer un cercle O de diamètre AB, avec un rayon de module « m » choisi pour contenir le pentagone ;
- φ Tracer la médiatrice du rayon AO avec l'ouverture de compas « m » piqué en A et coupant le cercle de centre O en deux points portant la médiatrice : elle coupe le rayon AO en H ;
- φ Tracer la médiatrice de AB en O qui coupe le cercle au point E ;
- φ Piquer le compas en H et régler l'ouverture du rayon sur le segment HE ; tracer l'arc de cercle qui coupe le segment AB en F ;
- φ Piquer le compas en E, et tracer l'arc de cercle de rayon EF ;
Il coupe le cercle de centre O en K ;
 - EK est le côté du pentagone ;
- φ Il suffit de reporter 5 fois cette mesure sur la circonférence du cercle O ; les 5 sommets du pentagone sont définis !

NB : ce tracé efficace ne donne pas un pentagone mathématiquement régulier, mais très acceptable pour le Trait !

8.2 - Au compas.

- φ Tracer un cercle de centre O, et de diamètre AB avec un rayon « a » ;
- φ Tracer la médiatrice de AB qui coupe le cercle O en deux points : C, D ;
- φ Tracer la médiatrice de OB en F ;
- φ Tracer le cercle de centre F et de rayon OF ;
- φ Tracer la droite passant par les points D et F, qui coupe le cercle de centre F en deux points I et J ;
- φ Tracer le cercle de centre D passant par le point I ;
Ce cercle coupe le cercle de centre O, en deux points M et N
 - Le segment MN représente le côté du pentagone.
- φ Il suffit de reporter 5 fois la mesure de MN sur le cercle O pour définir les sommets du pentagone .

8.3 - la plus simple : tracé de la Bauhütte.

- φ Tracer le segment A-B correspondant à l'arête du pentagone désiré ; c'est la base du Pentagone cherché ;
- φ Piquer en A et tracer le cercle a de rayon AB
- φ Piquer en B et tracer le cercle b de rayon BA
- φ Les cercles a et b se coupent respectivement en deux points D et C ; tracer la droite portée par DC ;
- φ Avec la même ouverture de compas (segment AB), piquer en D et tracer l'arc de cercle qui coupe :
 - Le cercle a en F
 - Le cercle b en G
 - La droite DC en E
- φ Tracer la demi-droite FE qui coupe le cercle b en K
- φ Tracer la demi-droite GE qui coupe le cercle a en H
- φ Les points A, B, H, K, sont les quatre premiers sommets du pentagone recherché.
- φ Piquer en H ou en K et tracer l'arc de cercle de rayon AB, ou AH, ou KB, qui coupe la droite portée par DC en I : c'est le 5ème sommet.

➤ Facile en 4 coups de compas, et trois coups de règle !

NB : ici encore, le triangle isocèle ABI est un triangle d'Or, AHI et BKI, deux triangles d'Argent ...

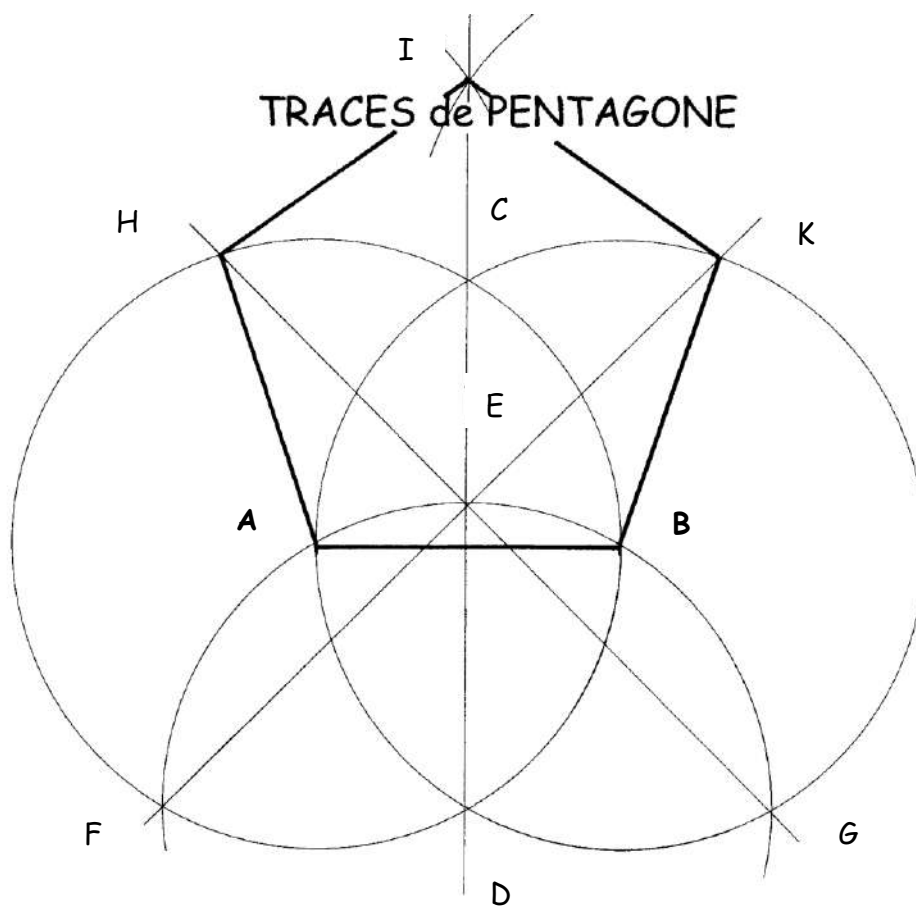
8.4- Double division de la Diagonale du pentagone :

Ce tracé repose sur une des propriétés du pentagone, dont les 2 diagonales issues d'un sommet coupent celle issue des deux sommets adjacents en deux points avec une division en rapport du nombre d'Or.

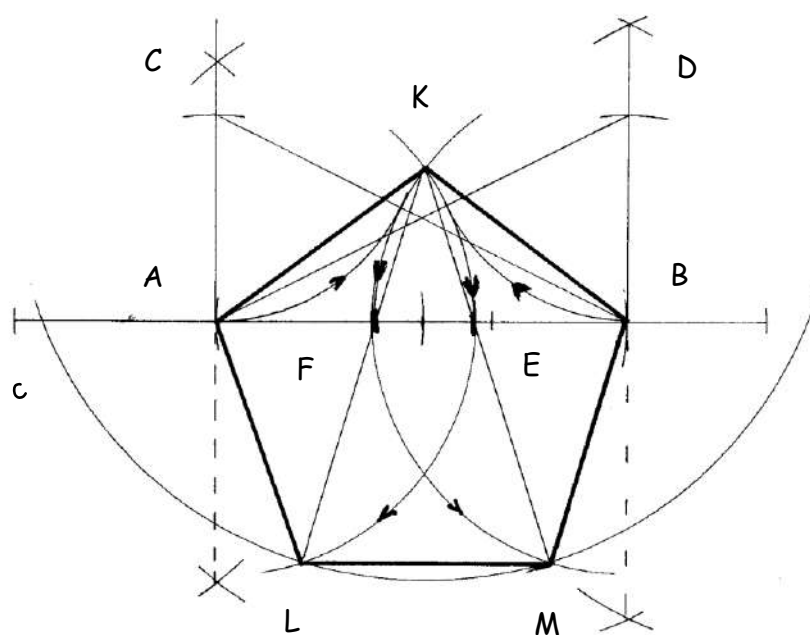
- φ Un segment AB est divisé en divine proportion par le tracé avec les deux triangles des bâtisseurs : ABC, et ABD, qui déterminent les points de divisions en rapports dorés E et F ;(voir tracé 14) ; Les segment AE et BF sont égaux entre eux, et sont aussi la mesure du côté du pentagone ;
- φ Piquer le compas en A, et tracer l'arc de cercle de rayon AE ;
- φ Piquer le compas en B, et tracer l'arc de cercle de rayon BF
- φ Ces deux arcs de cercles se coupent en un point K, étant avec les points A et B, le troisième sommet du pentagone ; et accessoirement le sommet du triangle d'or ... que nous allons tracer !

- TRACES du PENTAGONE (suite) -

8.3



8.4



- φ Tracer AK et KB, qui sont les deux premiers côtés du pentagone
 - φ Piquer en K, le compas avec une ouverture égale à AB, et tracer l'arc de cercle « c » qui va porter les deux autres sommets du pentagone ;
 - φ Piquer en A le compas avec l'ouverture égale à AK, et tracer un arc de cercle qui coupe l'arc de cercle « c » en un point L : c'est le 4ème sommet du pentagone cherché ;
 - φ De même au point B, piquer le compas et avec la même ouverture AK, déterminer sur l'arc de cercle « c » le point M : c'est le 5ème sommet recherché.
- Les 5 sommets AKBML du pentagone sont définis !

NB1 : Le triangle d'Or est formé par les points :

K le sommet, L et M les points de la base de ce triangle isocèle.

NB2 : Les côtés égaux KL et KM de ce triangle isocèle sont les 2 diagonales du pentagone, qui coupent la troisième diagonale AB, par les deux points E et F ; ces deux points divisent le segments AB en 3 segments qui sont deux à deux dans la divine proportion. (Voir au 14)

8.5- Extension du pentagone vers le décagone :

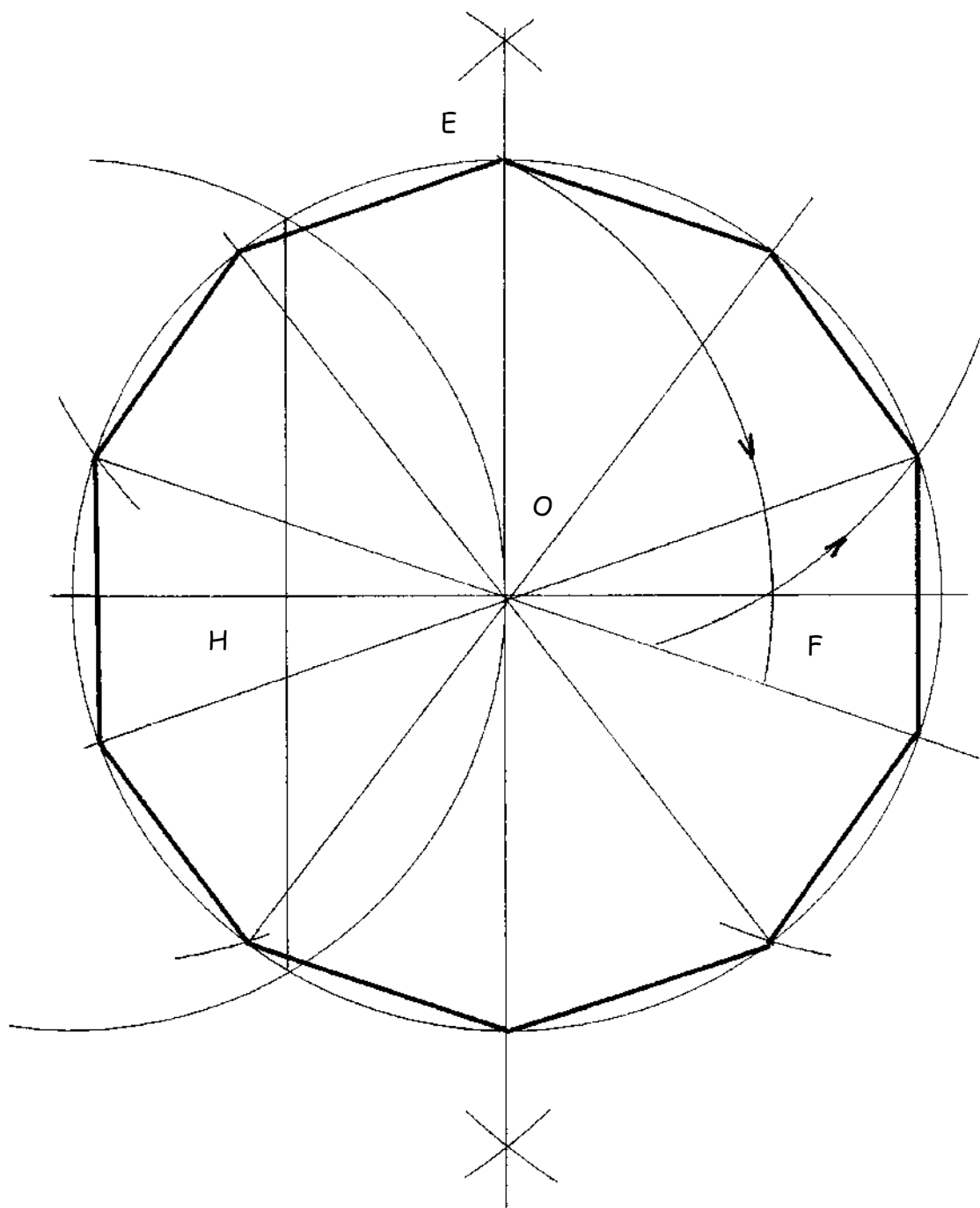
Pour obtenir facilement un décagone, ou un demi décagone souvent utilisé dans les chevets d'églises ou de cathédrales, il suffit de tracer le pentagone dans le cercle inscrit (voir tracés 8-1, ou 8-2) et de compléter le tracé de la façon suivante :

- φ Rejoindre chaque sommet du pentagone par une droite qui passe par le centre du cercle, et qui va couper la circonférence de ce cercle en un point diamétralement opposé à ce sommet de départ : ce point est un nouveau sommet du décagone.
- φ Relier consécutivement chacun de ces 5 nouveaux sommets respectivement aux 2 sommets adjacents du pentagone :

➤ Le décagone et ses 10 sommets sont tracés !

- TRACE de DECAGONE -

8.5



9- L'hexagone, polygone à 6 côtés :

C'est un tracé qui s'effectue très facilement au compas à partir de la construction d'un cercle :

- φ Tracer un cercle de centre O, et de rayon correspondant à la distance désirée entre les côtés de l'hexagone ;
- φ Piquer le compas avec ouverture réglée au rayon du cercle tracé, sur un point quelconque de la circonférence, si aucun point privilégié ou indexation n'est souhaitée ;
- φ Reporter 6 fois l'ouverture du compas sur la circonférence, en traçant à chaque fois l'intersection de l'arc créé avec le cercle ; les 6 sommets sont définis ;

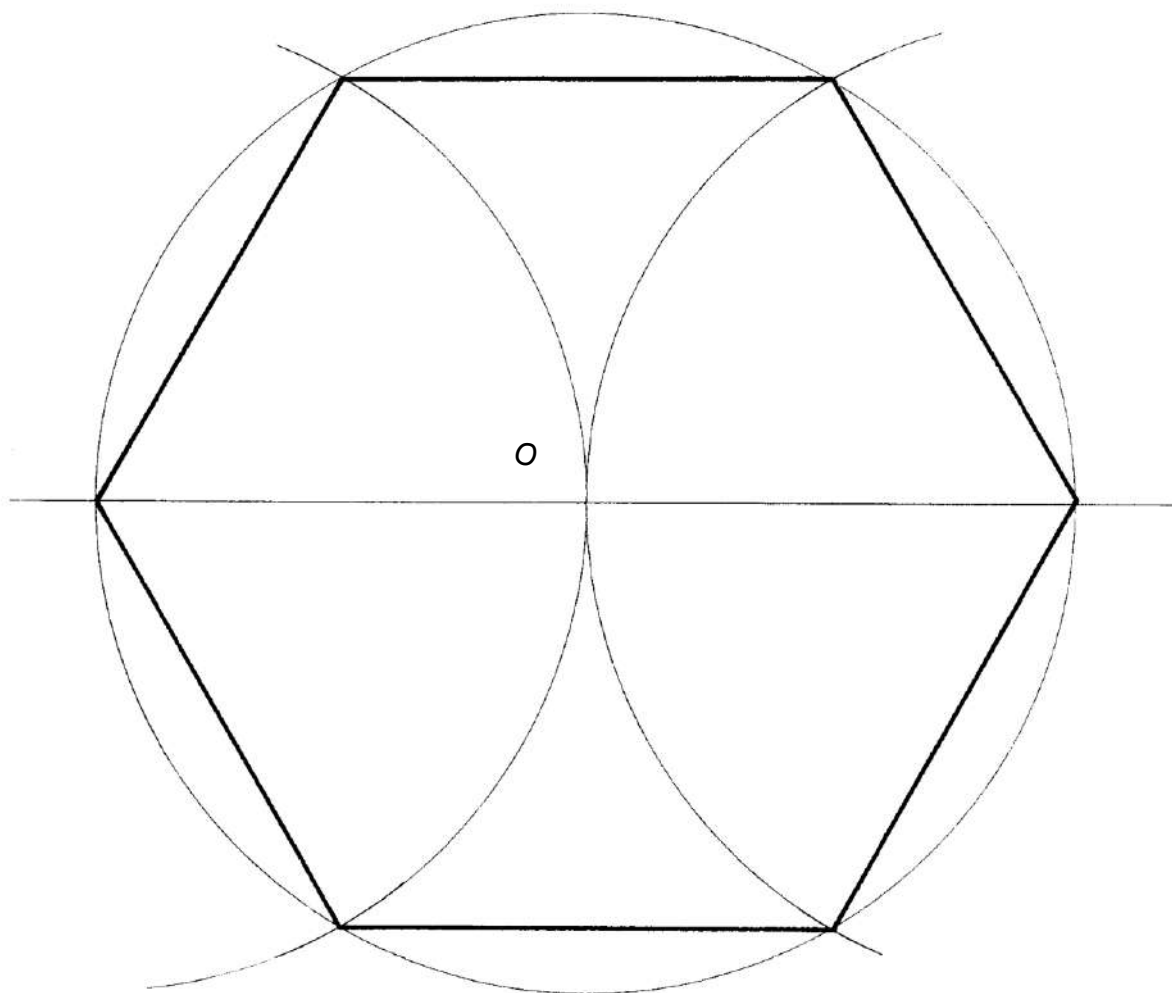
NB : lors de ce tracé, les arcs de cercle définissent le dessin d'une rosace inscrite dans l'assemblage par le sommet de 6 triangles équilatéraux (Les 3 angles à 60°) de côtés égaux au rayon R.

- φ Si l'on veut un hexagone posé sur sa base, tracer le diamètre horizontal, qui coupe le cercle en 2 points ;
- φ Piquer successivement le compas réglé au rayon du cercle sur chaque point d'extrémité du diamètre, qui sont les deux premiers sommets de l'hexagone, et tracer les deux arcs de cercle qui déterminent les 4 autres sommets ;
- φ Relier les 6 sommets de l'hexagone inscrit dans le cercle.

C'est une figure sympathique et bien équilibrée !

- TRACE de l'HEXAGONE -

9 -



10- L'Heptagone, polygone régulier à 7 côtés :

L'heptagone ne peut se tracer sous une forme exacte avec la règle et le compas. Toutes les méthodes utilisées jusqu'alors sont approximatives ; Les tracés ci-dessous produisent une forme approchée de l'heptagone mais tout à fait acceptable pour les Bâtitseurs.

10.1- Tracé dans le cercle circonscrit : (précision 2,15 ‰)

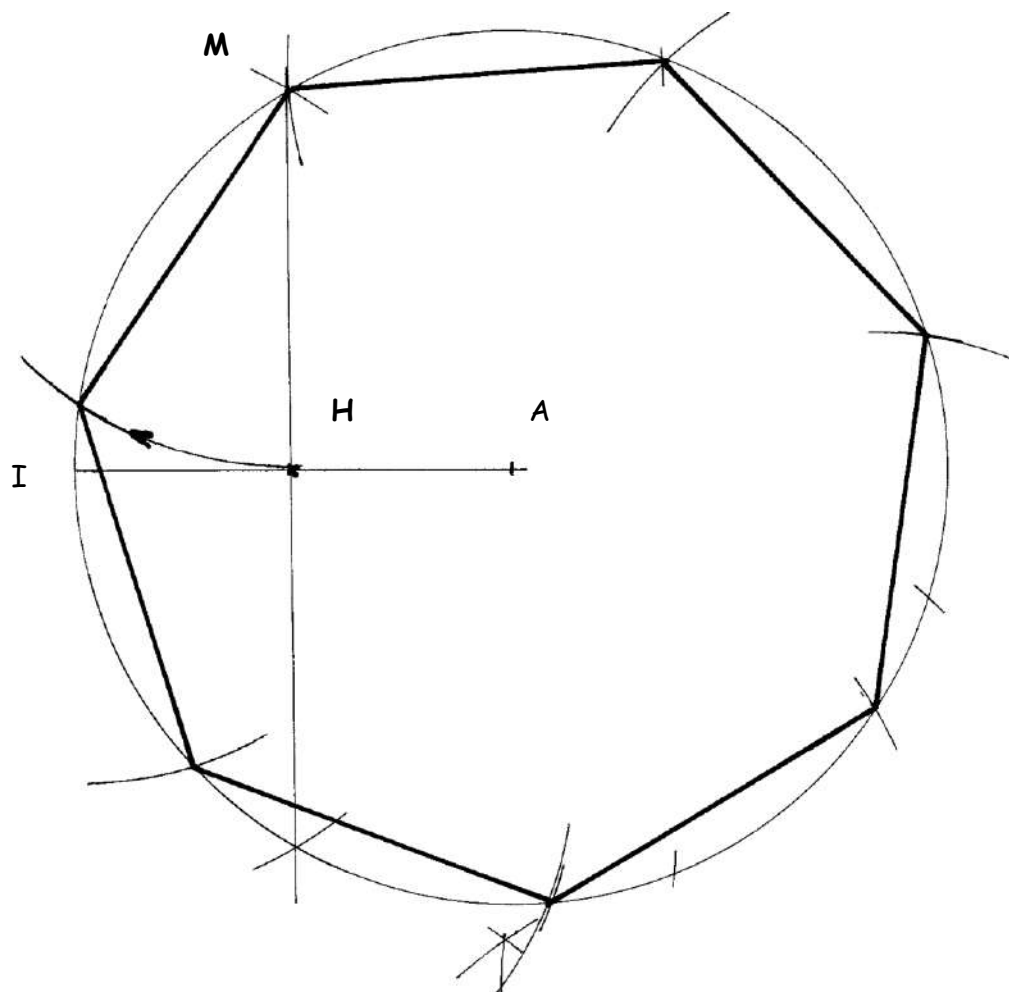
- φ Tracer un cercle a de centre A, et de rayon choisi pour contenir l'heptagone
- φ Tracer un rayon AI
- φ Tracer la médiatrice du rayon AI au point H en conservant par exemple la même ouverture de compas que pour le cercle ;
- φ La médiatrice coupe le cercle en un point M
- φ La distance HM, représente le module approché du côté de l'heptagone
- φ Prendre cette distance avec le compas, et reporter 8 fois cette ouverture sur le cercle.
- φ Les Points obtenus sont les 7 sommets de l'heptagone recherché.

10.2- Tracé dans le cercle inscrit dans un carré:(précision700ppm)

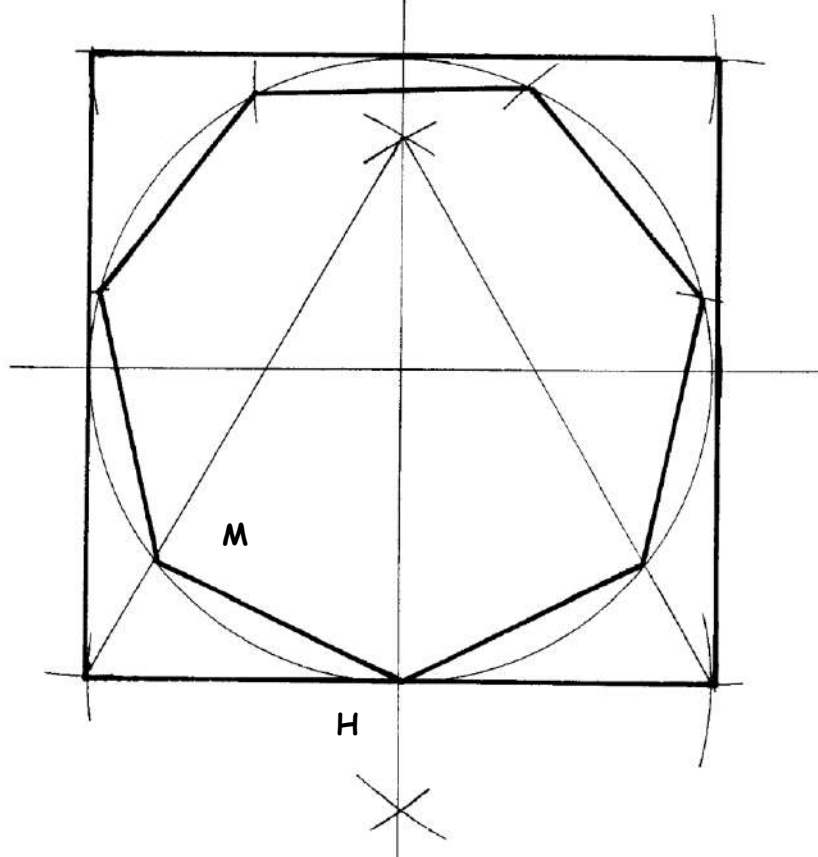
- φ Tracer le carré devant contenir l'heptagone par les méthodes déjà vues précédemment ;
- φ Avec le compas réglé à l'ouverture égale au côté du carré, tracer le triangle équilatéral dans le cercle ayant pour base un côté du carré ;
- φ Tracer au compas la médiatrice de la base du triangle qui coupe la base en H
- φ Tracer le cercle inscrit dans le carré ; il coupe le côté du triangle équilatéral en M ;
- φ La distance HM correspond à la distance approchée du côté de l'heptagone.
- φ Reporter 7 fois au compas cette distance sur le cercle :
- φ Les 7 points d'intersection de chaque arc tracé et du cercle sont les 7 sommets de l'heptagone recherché.

- TRACES de L'HEPTAGONE -

10.1



10.2



11- Octogone : polygone à 8 côtés.

Les tracés d'octogones réguliers, sont un pur régal de simplicité, dans la mesure où ils peuvent procéder des deux figures-mères fondamentales : le carré, et le cercle.

11.1 - Dans un cercle :

- φ Tracer un cercle de centre *O* et de rayon égal à la demi-diagonale de l'octogone recherché ;
- φ Tracer le carré inscrit dans le cercle, selon la méthode déjà vue ;
Cela détermine les 4 premiers sommets *A-C-E-G*
- φ Tracer les médianes du carré qui coupent le cercle respectivement en deux points chacune : *B* et *F*, d'une part, et *D-H* d'autre part ;
- φ Relier les 8 sommets et le tour est joué !

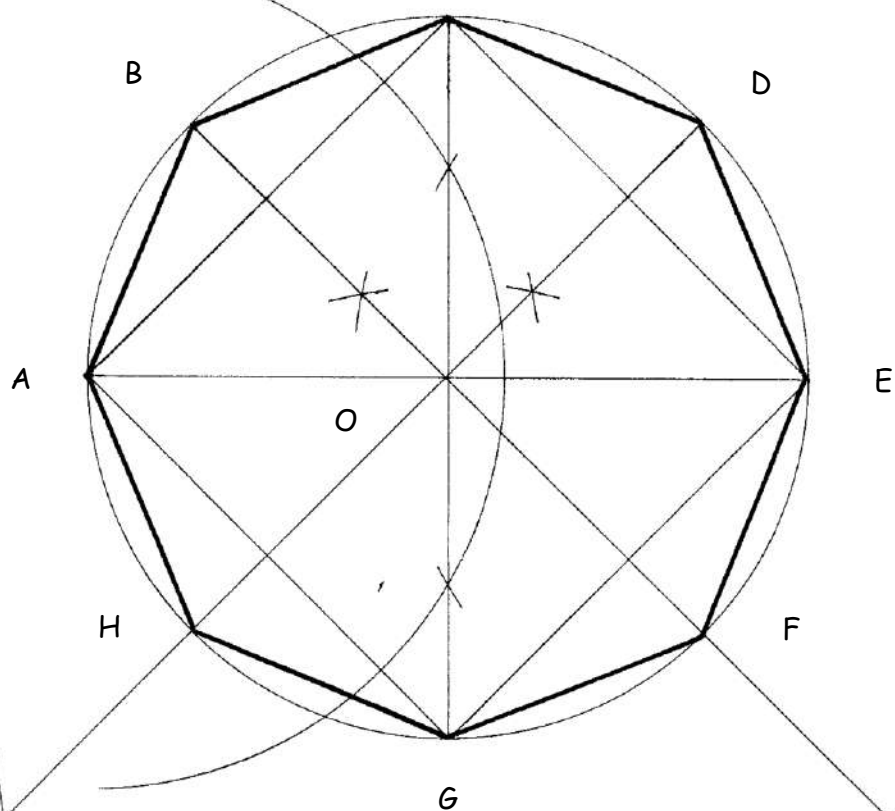
11.2 - Dans un carré avec proportion de UN.

- φ Après avoir tracé un carré par une méthode vue précédemment, positionner les deux diagonales pour déterminer son centre *C*
- φ Piquer le compas sur un sommet et fixer l'ouverture égale à une demie diagonale *AC* par exemple ;
- φ Tracer les arcs de cercle qui coupent les côtés adjacents au sommet piqué en deux points ;
- φ Reproduire cela sur les 3 autres sommets : les 8 points sont les sommets de l'octogone inscrit dans le carré ;
- φ Rejoindre les 8 points : ceci détermine le tracé de l'octogone recherché.

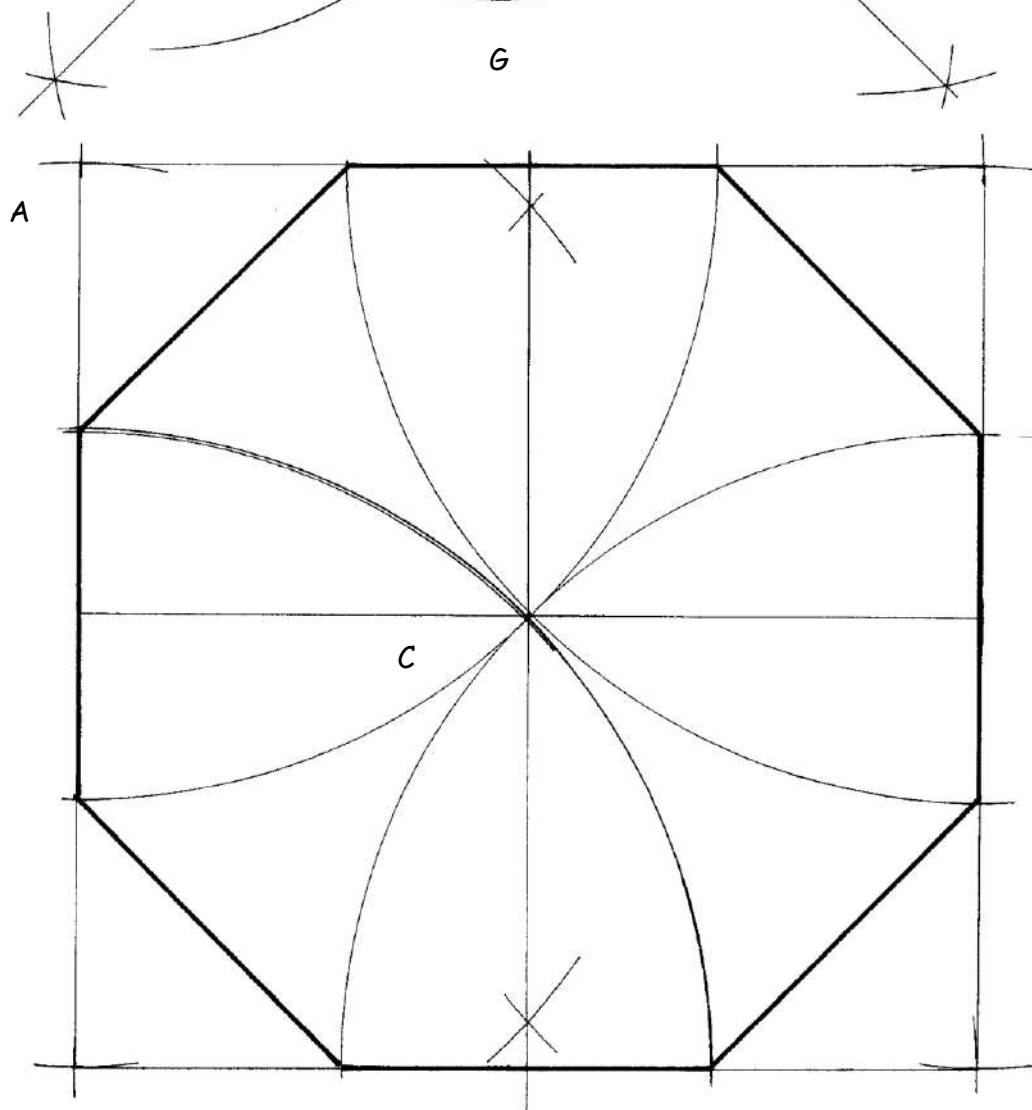
NB : Ce tracé est un fondamental des Bâisseurs. Nous verrons dans la partie consacrée aux tracés du Bâisseur Roritzer, l'utilisation abondante de ces figures pour définir les sections de flèches en particulier.

C
- TRACES de L'OCTOGONE -

11.1



11.2



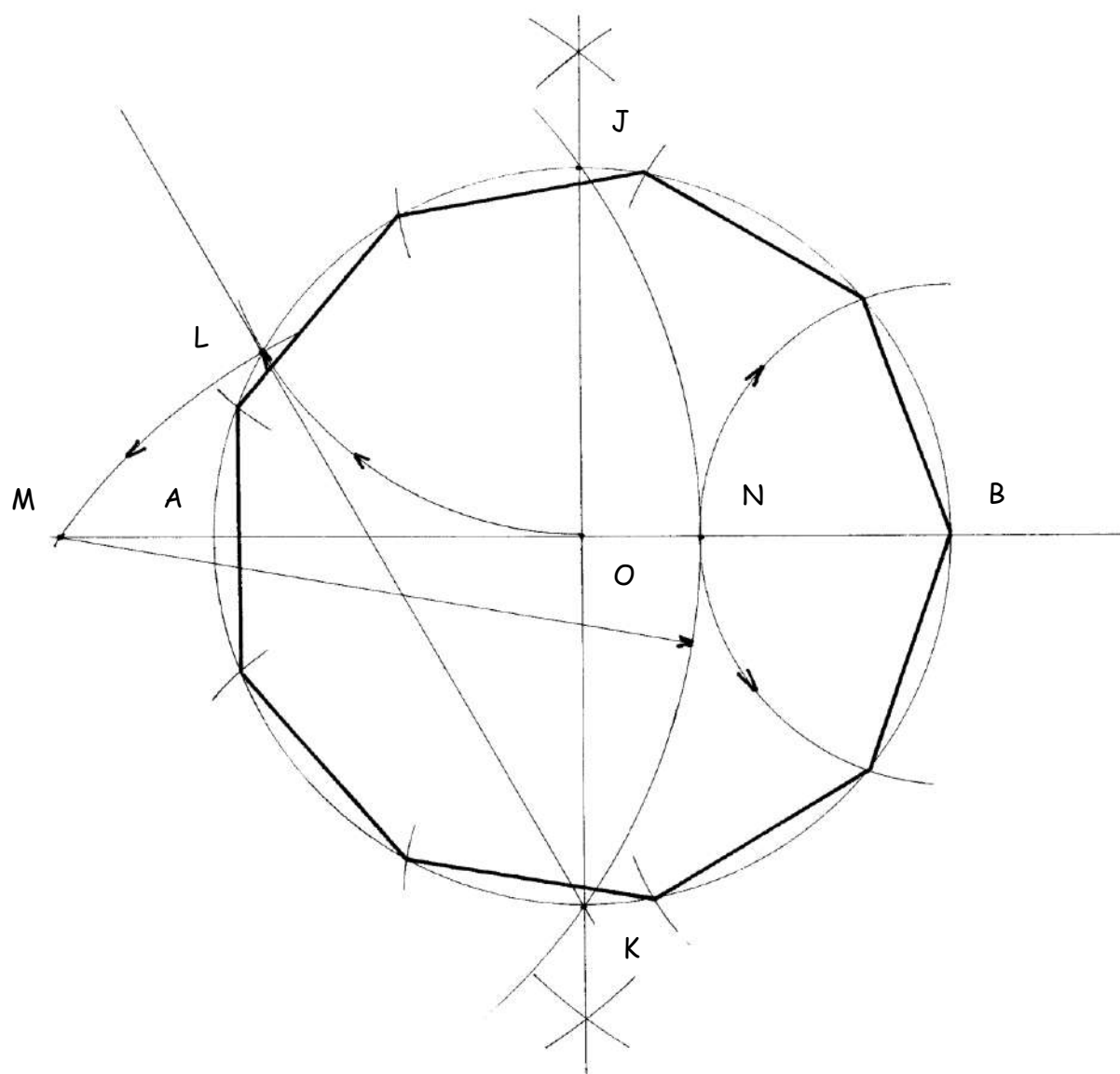
12- Ennéagone ou nonagone : polygone régulier à 9 côtés.

Le nonagone, tout comme l'heptagone, ne peut se tracer sous une forme exacte avec la règle et le compas. Les méthodes utilisées jusqu'alors sont approximatives mais bien suffisantes pour les Bâtisseurs. Le tracé du nonagone part aussi du principe qu'il peut s'inscrire dans un cercle comme tous les polygones réguliers.

- φ Tracer le cercle de centre O et de rayon correspondant à la grandeur du nonagone désiré ;
- φ Tracer un diamètre qui coupe le cercle O en deux points A et B
- φ Tracer le diamètre perpendiculaire au premier, en traçant la médiatrice, c'est-à-dire, en piquant successivement en A et en B le compas avec une ouverture plus importante que le diamètre du cercle, puis tracer les arcs qui se coupent mutuellement en deux points ; joindre ces points : le diamètre perpendiculaire est tracé ;
- φ Ce diamètre perpendiculaire coupe le cercle en deux points J (en haut) et K (en bas) ;
- φ En J, piquer le compas à l'ouverture réglée sur le rayon du cercle O, et tracer l'arc qui coupe le cercle O en L
- φ En K piquer le compas avec une ouverture correspondant à LK ; et tracer l'arc qui coupe la droite portant le diamètre AB en un point que l'on nomme M ;
- φ En M, piquer le compas et régler l'ouverture correspondant à la distance MK et tracer l'arc de cercle qui coupe le diamètre AB en N ; (pour vérification du tracé : l'arc passe aussi par J et K)
- φ **MIRACLE** : la distance du côté du nonagone correspond à la longueur du segment NB !
- φ Régler l'ouverture du compas sur la distance NB, et piquer en B pour tracer l'arc de cercle qui coupe le cercle O en 2 points de part et d'autre du diamètre horizontal : avec le point B, ce sont les trois premiers sommets du Nonagone, et forment ses deux premiers côtés ;
- φ Reporter à partir du point B, 9 fois cette ouverture : les arcs tracés coupent le cercle en chaque point qui sont les sommets du Nonagone.
 - Voici une belle figure qui donne envie de tracer des chevets nouveaux !

- TRACES du NONAGONE -

12-



13 - Dodécagone : polygone régulier à 12 côtés.

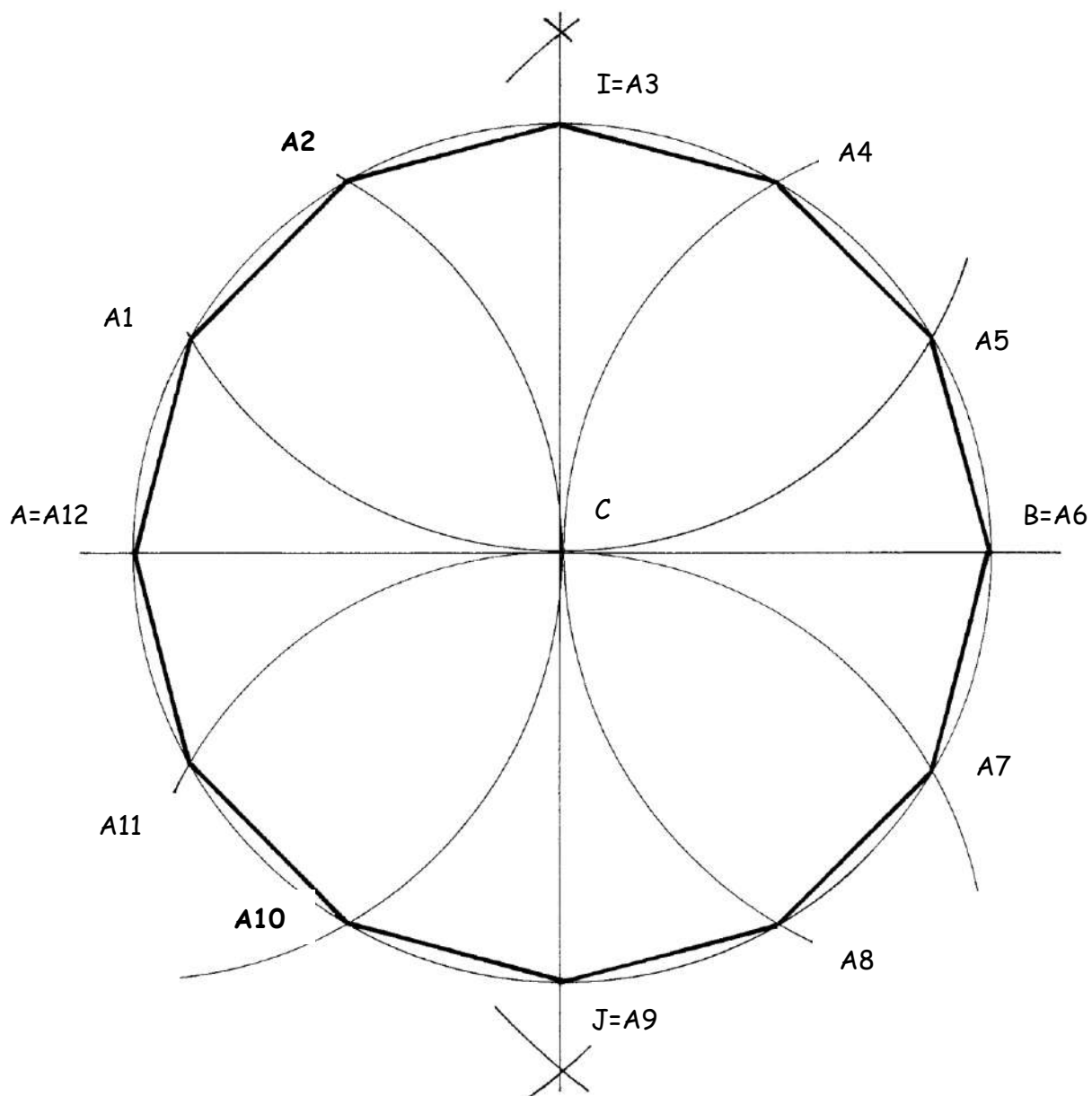
Le dodécagone inscrit dans un cercle se trace aisément. C'est une figure géométrique qui a servi, en particulier, à positionner les jours de défense dans les tours d'enceintes au XIII^e siècle.

- φ Tracer une droite « d », choisir 2 points A et B, qui forment le segment représentant le diamètre du cercle circonscrit au futur dodécagone ;
 - φ Tracer la médiatrice du segment AB qui détermine le point C, centre du cercle circonscrit, et du dodécagone ;
 - φ Tracer le cercle « c » de centre C et de rayon AC ; il coupe la médiatrice du segment AB en I et J, 2 autres des futurs sommets du dodécagone ;
 - φ Piquer le compas en A en conservant la même ouverture que celle du rayon du cercle « c » tracé, et tracer des arcs de cercle de part et d'autre de AB, qui coupent le cercle en A2, et A10 ;
 - φ Renouveler ce tracé d'arcs en piquant successivement aux sommets I , B , J .
- Ainsi, sont déterminés les 12 sommets du dodécagone, Ai.

NB : Le principe de tracé utilisé permet ainsi de diviser l'arc plein cintre de la demie circonférence ayant pour ouverture AB, en 6 segments d'arc égaux, et de tracer les éventuels voussoirs le cas échéant.

- TRACES du DODECAGONE -

13-



C- Divisions de segments -

14- Division en divine proportion par le triangle des bâtisseurs :

Ce triangle rectangle a pour caractéristique de pouvoir construire facilement la division d'un segment dans le rapport du nombre d'or, Phi (1,618), appelé la divine proportion par Pacioli ou partage en moyenne et extrême raison. Sur le premier tracé situé en haut de page :

- φ A partir d'un point A situé sur une droite « d », piquer le compas avec une ouverture de module « a », ceci étant une valeur choisie, et tracer l'arc de cercle qui coupe la droite « d » en un point X ;
- φ Reporter une deuxième fois l'ouverture du compas à partir de X, l'arc obtenu coupe la droite « d » en un point B: le segment réalisé est de module 2 a (« a » correspondant à l'ouverture du compas),
- φ Tracer en B la perpendiculaire « p », sur laquelle on reporte avec le compas une ouverture « a », qui coupe la perpendiculaire « p » en C ;
- φ En joignant A, B, C on trace le triangle des bâtisseurs.

➤ Pour diviser le segment AB dans la Divine Proportion :

- φ Piquer le compas en C avec une ouverture égale au côté BC (soit de module « a »), et couper le côté AC avec un arc qui détermine le point I ;
- φ Piquer au point A le compas qui a l'ouverture correspondant à AI, et construire l'arc de cercle qui vient couper le segment AB en un point E : celui-ci est le point de partage du segment AB dans le rapport Phi = 1, 618.

=> $AB / AE = AE / EB$: C'est la divine Proportion du nombre D'or !

NB 1 : la mesure du grand côté AC du triangle rectangle, a sa valeur qui est égale au module $a \times \sqrt{5}$.

Sur le second tracé situé en bas de page :

On peut aussi déterminer par symétrie du point E, le point F, qui divise aussi le segment AB dans « la divine proportion » ; il suffit de reporter l'ouverture de compas AE, en piquant en B et tracer l'arc de cercle qui coupe AB en un point F ; il est le symétrique de E et divise aussi le segment AB en divine proportion !

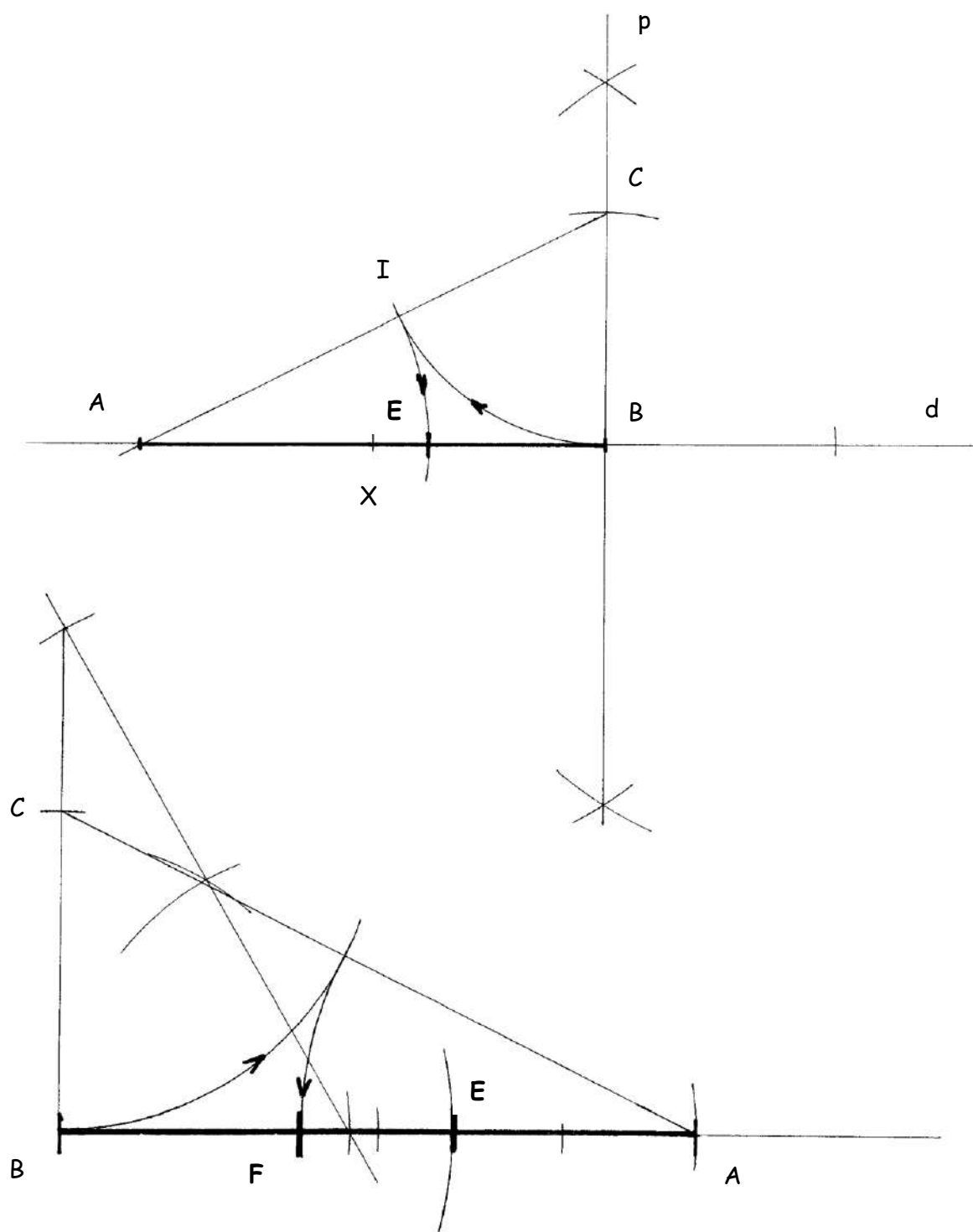
$AB/AE=AE/EB = BA/BF=BF/FA$ soit Phi 1,618 !

Ce segment fractionné en sections dorées, permet de tracer un pentagone, car les 3 diagonales du pentagone se coupent dans la divine proportion. (Voir tracé Pentagone 8.4 par double division de la diagonale)

NB2 : sur cette figure, c'est le tracé de la perpendiculaire en bout au point B qui a permis de tracer ce triangle des Bâtisseurs. Petite révision de tracé 😊

- TRACES de la DIVISION d'un SEGMENT en 2 - Divine Proportion

14-



15- Division de segment en 7 modules : Principe de la herse.

La division d'un segment en un nombre de sous-segments choisis, s'appuie essentiellement sur les principes de Thalès, éclairant que des droites parallèles coupent des droites concourantes en segments proportionnels.

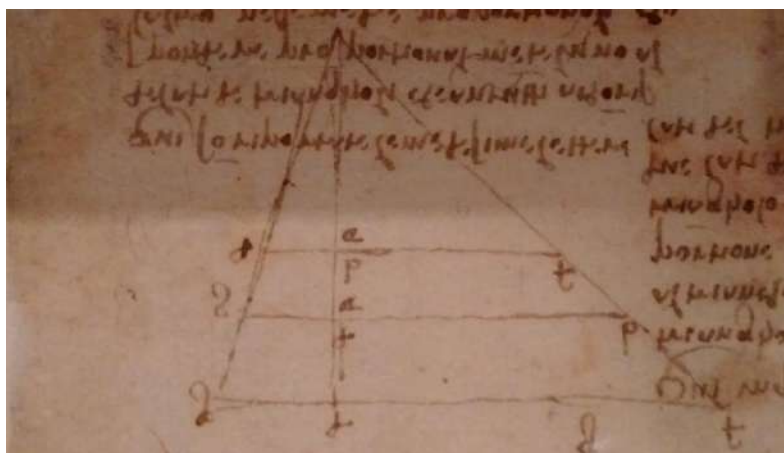
NB : Tracer des parallèles, revient aussi à tracer des perpendiculaires à une même référence.

C'est la méthode pour diviser les plates-bandes en claveaux avec un nombre pair sans clef, (deux demi-clefs symétriques) ; mais aussi avec un nombre impair pour avoir une clef.

Pour diviser un segment AB en 7 parties égales (ou un nombre n choisi) :

- φ Tracer horizontalement le segment AB à diviser ;
- φ Tracer une demi-droite Ax issue de A, qui fera un angle compris entre 30 et 45 degrés avec le segment AB ;
- φ Diviser cette droite Ax en nombre de segments souhaité par la méthode de report d'ouverture de compas (7 dans l'exemple); choisir l'ouverture du compas pour rester dans l'épure de tracé de la plate-bande ;
cela détermine les points A1 à A7 sur la droite Ax ;
- φ Tracer la droite « d » passant par l'extrémité B, et le dernier point A7 du segment tracé ; la prolonger au-delà de A7 ;
- φ Tracer une perpendiculaire à cette droite « d » : c'est la droite des perpendiculaires communes (passant par A ou pas nécessairement) ;
- φ Tracer sur cette droite, les perpendiculaires passant par chacun des points de division Ai, (donc parallèles à ce segment A7-B) ; chaque perpendiculaire coupe le segment AB à diviser en un point correspondant à la division cherchée pour ce segment.

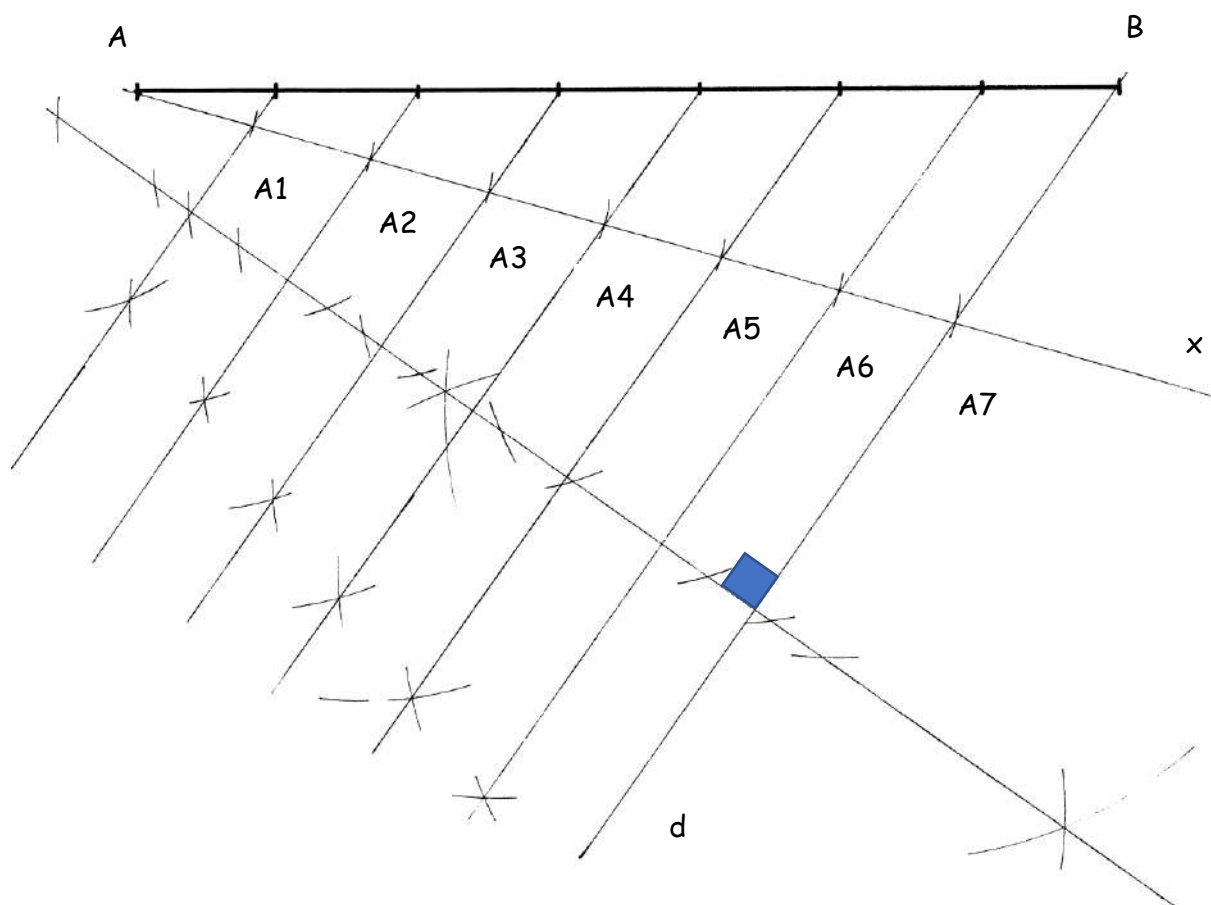
La Division du segment est faite ...sans reste !



Carnet de Léonard de Vinci- © Photo PH LEROY -

- TRACES de la DIVISION d'un SEGMENT -
 « La division d'un segment AB en 7 sous-segments égaux »

15



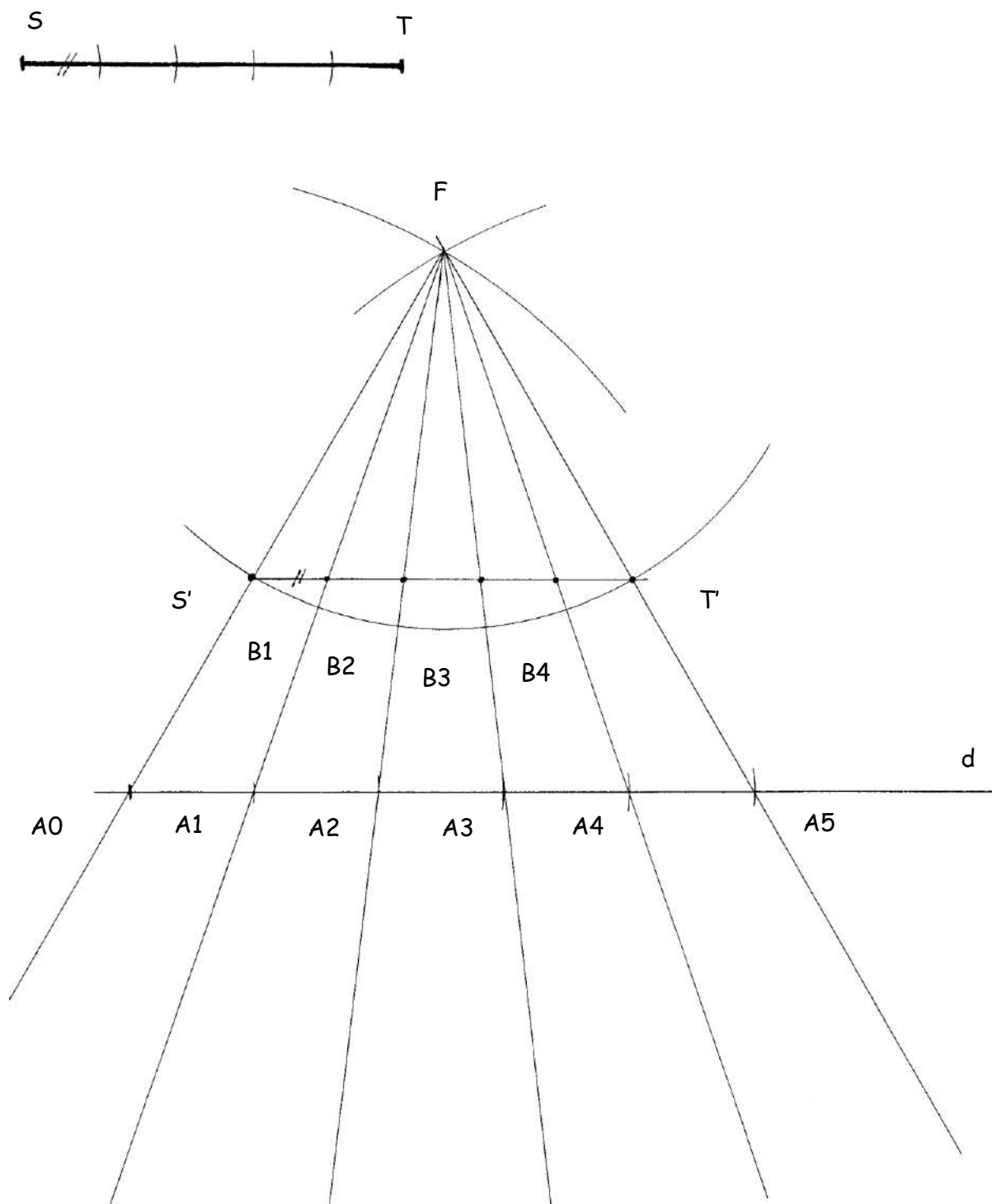
16- Division de segment en 5 modules : Principe du point de fuite.

En s'appuyant toujours sur les propriétés des théorèmes de Thales, on pourra diviser un segment de longueur donnée en 5 parties égales sans calcul et sans autre outil que la règle et le compas, en pratiquant un tracé qui s'apparente à un point de fuite formé par un faisceau de droites convergentes.

- φ Identifier le segment ST qui est à diviser en 5 parties
- φ Tracer une droite « d » quelconque d'une longueur supérieure à ST, et porter un point A0.
- φ Piquer en A0 le compas avec une ouverture approximativement supérieure à la 5ème partie de ST : tracer l'arc qui coupe « d » en un point A1,
- φ Reporter 4 fois cette même ouverture de compas à partir du point A1, et ainsi les points A2 A3 A4, A5, divisent le segment de droite A0 -A5 en 5 parties égales.
- φ Piquer en A0 le compas avec une ouverture égale à A0-A5
Et tracer l'arc « a » au-dessus de la droite « d » : il portera le point de fuite F
- φ Avec la même ouverture, piquer le compas en A5, et tracer l'arc « b » qui coupe l'arc « a » en un point F : C'est le sommet d'un triangle équilatéral, mais aussi le point de fuite recherché, d'où va partir le faisceau des droites FAi .
- φ Tracer les 6 droites F-A0 à F-A5;
- φ Régler le compas à une ouverture égale au segment ST que l'on veut diviser ;
- φ Piquer le compas en F et tracer un arc de cercle qui coupe chacun des côtés du triangle FA0 et FA5, en deux points, appelés S 'et T 'par similitude avec le segment ST, car en effet, ces 2 segments ont la même longueur ; et c'est la base du triangle lui aussi équilatéral S 'FT' ;
- φ Le faisceau de droite FA1 à FA4 coupe la base du triangle en B1, B2, B3, B4 : ce sont les points de la division parfaite du segment S'T' en 5 parties égales.
- φ Reporter 5 fois avec le compas, cette longueur identique, sur le segment originel ST, et voilà, la division est faite !

- TRACE de la DIVISION DE SEGMENT en 5 -

16



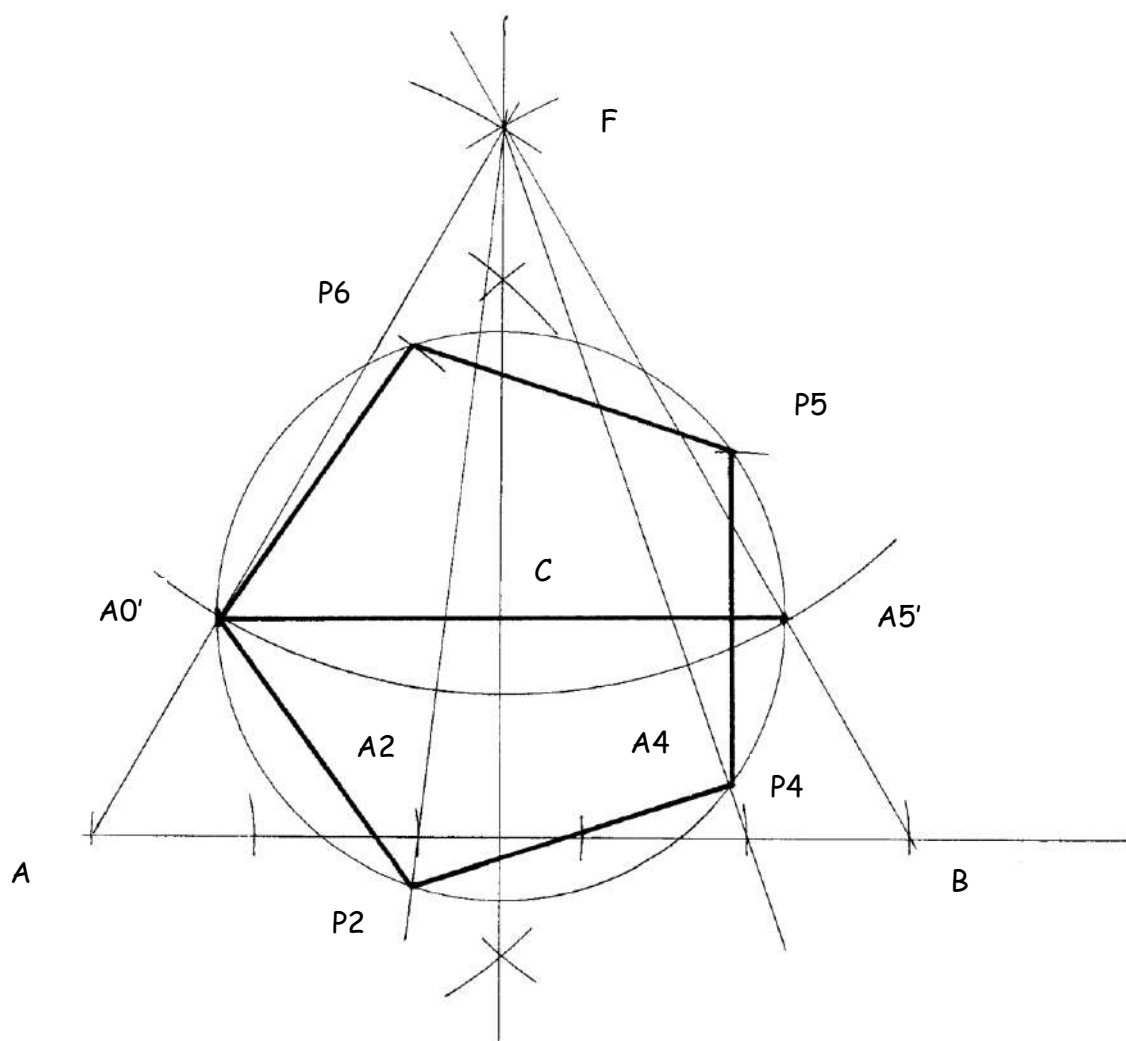
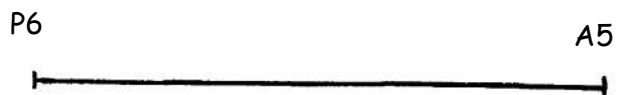
16-NB : ce tracé peut être utilisé pour diviser le diamètre d'un cercle en 5 segments afin de construire à l'intérieur de ce cercle ...un pentagone !

- φ Dans un premier temps, il est nécessaire de construire un triangle équilatéral FAB ayant pour base un segment AB divisé en 5 parties par report de 5 fois l'ouverture du compas réglée au module choisi ; Ainsi est défini le faisceau à point de fuite F dans lequel on va tracer le pentagone ;
- φ Régler le compas à l'ouverture du segment A0 A5 choisi ; puis piquer en F et tracer l'arc de cercle qui coupe les côtés FA et FB du triangle en 2 points A0' et A5' :
- φ Tracer le segment A0'-A5' : c'est le diamètre du futur cercle circonscrit au pentagone cherché, et A0' est son premier sommet ;
- φ Tracer la médiatrice de A0' A5' et ainsi trouver le milieu de ce segment qui est le centre C du cercle circonscrit au futur pentagone ;
- φ Tracer ce cercle ;
- φ Les droites F-A2, F-A4, coupent le cercle respectivement en P2 et P4 : ce sont deux autres sommets du pentagone ;
- φ Les cordes A0'-P2 et P2-P4, sont les deux premiers côtés du pentagone dont les 3 premiers sommets sont A0, P2, P4 ;
- φ Reporter au compas, 3 fois cette corde à partir de P4 ; les points P5 P6 sont les 2 autres sommets du Pentagone.

Ndlr : Si cette méthode n'est d'une rigueur mathématique absolue, (précision à 2 ‰), elle permet un tracé très simplifié pour définir de grands pentagones , bien utiles dans le monde des Bâisseurs .

- TRACE de la DIVISION DE SEGMENT en 5 -
Application approchée pour PENTAGONE

16-NB



17- Tracé d'une Plate-bande en application de la division de segment :

En alliant la division d'un segment par le tracé de la herse et la division par faisceau de demi-droites issues d'un point de fuite, on construit le tracé de division des claveaux constituant la plate-bande (linteau appareillé).

C'est un tracé fondamental qui permet aux Bâtitseurs de préparer les épures des constituants d'un linteau qui, dans le cas d'une ouverture importante, ne peut être appareillé en monolithe. Ce tracé très utilisé à partir du XVIIème, définit les coupes des claveaux, soit en nombre pair, soit impair (clef, contre-clef, voussoir, contre-sommier, sommier).

- La division du segment inférieur de plate-bande (la herse) :

- φ Tracer le segment AB inférieur de la plate-bande à diviser en 5
- φ Tracer la demi -droite issue de A et la diviser en 5 modules avec le compas déterminant ainsi cinq points M1 à M5 ;
- φ Joindre le point B au point M5 par une demi-droite, prolongée au-delà de M5
- φ Tracer la perpendiculaire commune à cette demi-droite BM5, à partir du Point M5 et la prolonger au-delà de l'extrémité A du linteau ;
- φ Tracer les hauteurs abaissées en chacun des points M1 à M5 sur la perpendiculaire commune, et les prolonger jusqu'à créer les points d'intersections avec le segment AB, appelés P Q R S :
 - Ce sont les 4 points de division du segment inférieur de linteau en 5 parties égales.

- Le tracé des claveaux de la plate-bande (le faisceau) :

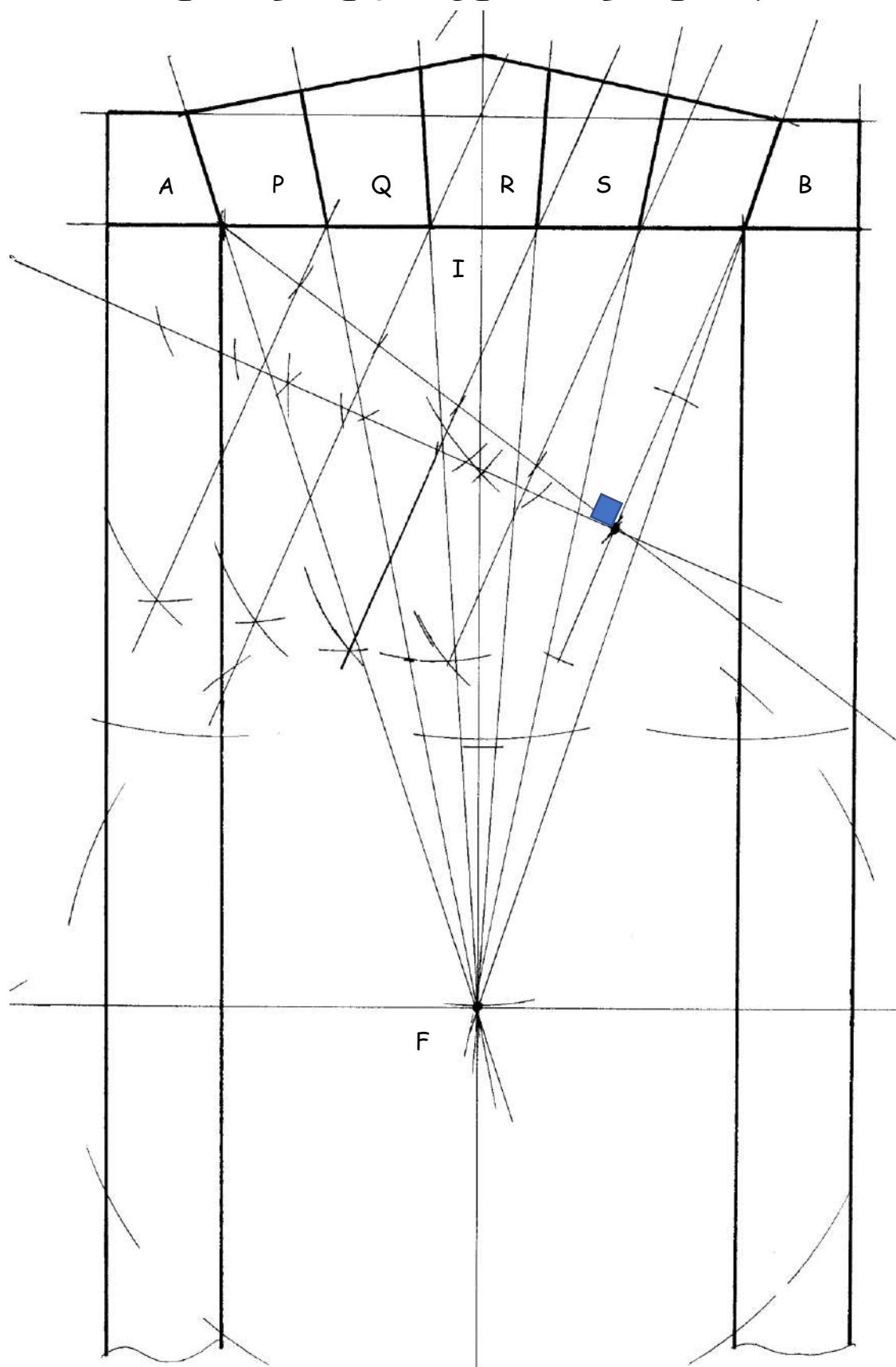
- φ Tracer la médiatrice du segment AB : soit I le point milieu du segment ;
- φ Déterminer avec le compas le point de rayonnement en reportant 1,5 fois le segment AB depuis le point I sur la partie inférieure de la médiatrice : c'est le point F de départ du faisceau ;
- φ Tracer les droites passant par F et par chacun des points de division A, P,Q,R,S,B ; elles coupent la géométrie supérieure (arase) de la plate - bande dans la forme choisie (plate-bande parallèle ou à deux pans bâtière).

➤ Les contours de chaque claveau de la plate-bande sont définis !

Il n'y a plus qu'à tracer les gabarits de taille, sans oublier la largeur du joint de mortier ...

- TRACE de PLATE-BANDE en 5 CLAVEAUX -

17-

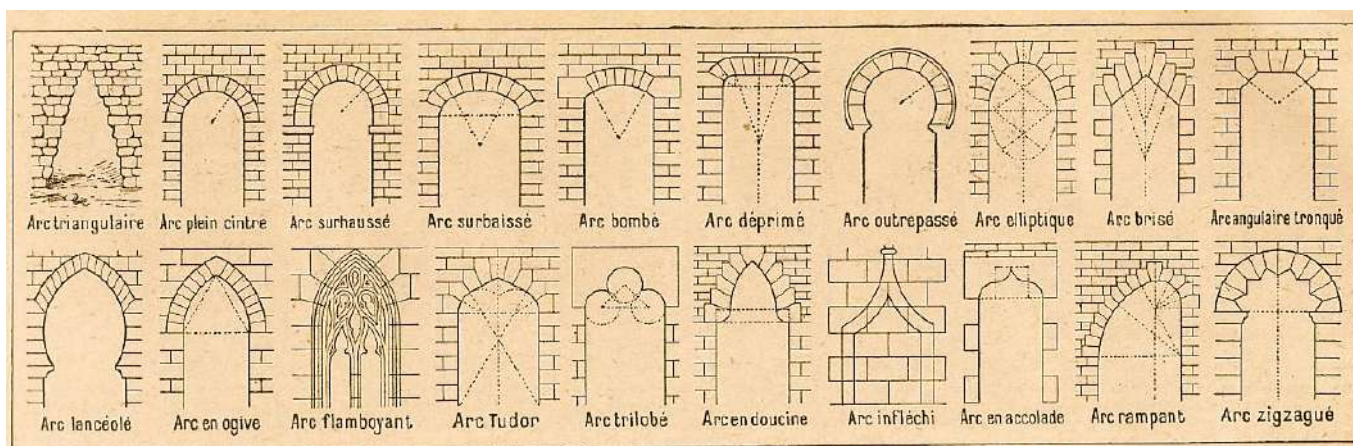


D- TRACES d'ARCS et d'OGIVES -

Les différentes formes d'arcs portent la signature de la civilisation de chaque bâtisseur qui les trace. Ces éléments géométriques apportent l'élégance aux voûtes, arcades et autres ouvertures (baies, portes) qui organisent les édifices quel qu'en soit l'appareillage mis en œuvre : pierres taillées, moellons ou briques.

Les principes de tracés d'architecture en ogives ont révolutionné les formes des ouvertures (baies - portes) à la période du Moyen-âge. Les Bâisseurs ont sublimé ce tracé par l'introduction de la croisée d'ogives, cœur d'architecture des édifices majestueux, bijoux de notre histoire occidentale.

Voici un tableau qui résume différentes géométries d'arcs qui furent utilisées jusqu'au présent. La période d'architecture néogothique du XIX^{ème} siècle fut très florissante dans l'adaptation des concepts de tracés issus du Moyen-âge et de la Renaissance.



Les tracés qui suivent se concentrent essentiellement sur les Arcs qui dérivent directement de l'Arc Plein Cintre, en incluant une brisure en sommet, dont l'angle va évoluer en se refermant progressivement suivant le dessin recherché : ce sont les arcs Ogifs, ou ogives (augive, autrefois)

Ils sont caractérisés par leurs 2 points de naissances, appelés A et B, situés aux extrémités de l'ouverture, par leur flèche qui positionne le sommet, et par la position des centres des rayons d'arc de cercle qui les composent.

18 - Arc Plein Cintre :

Le plus ancien connu, puisque c'est l'archétype des voutes romanes ;
son tracé est des plus simples :

- φ Tracer la droite qui va porter l'ouverture de l'arc
- φ Porter l'ouverture choisie en fixant les points A et B
- φ Tracer la médiatrice de ce segment AB afin de déterminer le centre C de l'arc "c";
- φ Piquer en C, avec une ouverture égale à AC, ou BC, et tracer l'arc de cercle partant de A, et rejoignant B.
C'est l'arc le plus simple à construire ! Et aussi à diviser.

19 - Arc Plein Cintre Brisé :

Les arcs plein cintre brisés sont une évolution naturelle de l'arc roman voulue par les bâtisseurs ; ils apparaissent vers le XII^{ème} siècle.
Le principe de tracé s'appuie toujours sur un choix de positionnement des centres des 2 arcs de cercle composant l'ogive à l'intérieur de l'ouverture, selon une division en nombre de segments de ladite ouverture :

- Dans le cas de l'**ogive Obtuse ou Mousse**, cette division peut être choisie à 8 segments :
 - φ Tracer la droite «d » qui va porter le segment d'ouverture choisie avec ses naissances A et B ;
 - φ Diviser l'ouverture en 8 modules selon le principe de la "herse", on obtient les points C1 à C7 en partant du point A et finissant au point B
 - φ Piquer en C3, et fixer l'ouverture sur le segment C3B (soit 5 fois le module) ;
 - φ Tracer l'arc de cercle c3 partant de B dépassant le milieu de l'ouverture ;
 - φ Piquer en C5, avec la même ouverture de 5 modules, et tracer un arc de cercle c5 partant de A, et coupant l'arc précédent c3 en un point I qui est le sommet de l'arc ogif formant une Ogive dite "Mousse".

NB1: la division de l'ouverture est réalisée en 8 modules ; le positionnement des centres d'arc sont dans un rapport de segments $5/3$... Soit 1,66 !

NB2: Bien que les instruments de mesures ne soient pas de mise, le rapport entre ouverture et flèche du sommet de l'arc a pour valeur : 1,6 !!

- Dans le cas de l'**ogive cistercienne**, la division de l'ouverture est en 13 modules, et on obtient les points C1 à C12, en partant du point A et en finissant au point B.
 - φ Piquer en C5 et fixer l'ouverture sur le segment C5 B (soit 8 fois le module)
 - φ Tracer l'arc de cercle c5 partant de B
 - φ De même, piquer en C8 avec la même ouverture de 5 modules
 - φ Tracer l'arc c8 partant de A et coupant l'arc c5 précédent en un point I, qui est le sommet de l'arc plein cintre brisé :

Ainsi une élégante ogive de type cistercienne a pris forme !

NB 1 : la division de l'ouverture est réalisée en 13 modules ; les positionnements des centres d'arc sont dans un rapport de segments 8/5 ... Soit 1,6 !

NB 2 : Bien que les instruments de mesures ne soient pas davantage de mise, le rapport entre ouverture et flèche mesurée au sommet de l'arc a pour valeur : 1,65 !!

20 - De l'Arc Plein Cintre, vers l'arc Tiers point et l'arc équilatéral :

La famille des arc ogifs, ou ogives, se décline autour d'une « clef » géométrique de tracé : suivant les positions des 2 centres formant les arcs latéraux de l'ogive sur la droite de la base portant l'ouverture, le Bâtitseur détermine les différentes formes d'ogives : depuis les plus étroites appelées ogives à lancette dont les centres sont rejetés à l'extérieur des points de naissances, vers les plus obtuses dont les centres sont quasi côte à côte de part et d'autre du centre de l'ouverture. Entre ces deux positions extrêmes, il y a toute latitude de diviser l'ouverture en un nombre de segments permettant de choisir la forme de l'ogive, en passant bien sûr, par la plus facile à tracer : l'ogive équilatérale dont les centres d'arc coïncident avec les naissances d'ouvertures.

« Tracé de Villard »

Ce Bâtitseur -Tailleur du XIII^{ème}, a représenté dans ses cahiers, une figure bien particulière pour effectuer le tracé de trois formes d'arcs, conciliant de façon astucieuse et bien pratique l'usage **d'une seule ouverture de compas**.

- φ Tracer un cercle « c » de centre C et d'une ouverture choisie
- φ Piquer le compas avec la même ouverture sur un point B choisi sur le cercle « c »
- φ Tracer l'arc passant par le centre C et qui coupe ce cercle « c » en deux points I et H :
- φ Les arcs ogifs CIB et CHB sont équilatéraux.

- φ Tracer la droite qui passe par B et C et qui coupe le cercle « c » en A : AB, est le diamètre de ce cercle ;
- φ Tracer la droite qui passe par I et H, elle coupe le segment AB en un point D ;
- φ Toujours avec la même ouverture, piquer le compas en D, et tracer le cercle qui coupe AB en E et la circonférence du cercle « c » en J :
- φ L'arc EJB est l'arc ogif Tiers points :
en effet, son ouverture EB est divisée en 3 segments EC, CD, DB, et les deux parties d'arc de cercle EJ, et JB qui le constituent ont pour rayon 2/3 de cette ouverture EB .

NB : on retrouve des tracés similaires dans les cahiers de Léonard de Vinci ...A-t-il été inspiré par ses prédécesseurs ???

21- Arc en Quint point :

De la même façon, en divisant l'ouverture de l'arc en 5 segments égaux, on peut tracer l'ogive en Quint Points. Pour ce faire, on utilisera le tracé de division de segments vu au paragraphe 14, avec le nombre désiré de segments : 5 dans ce cas.

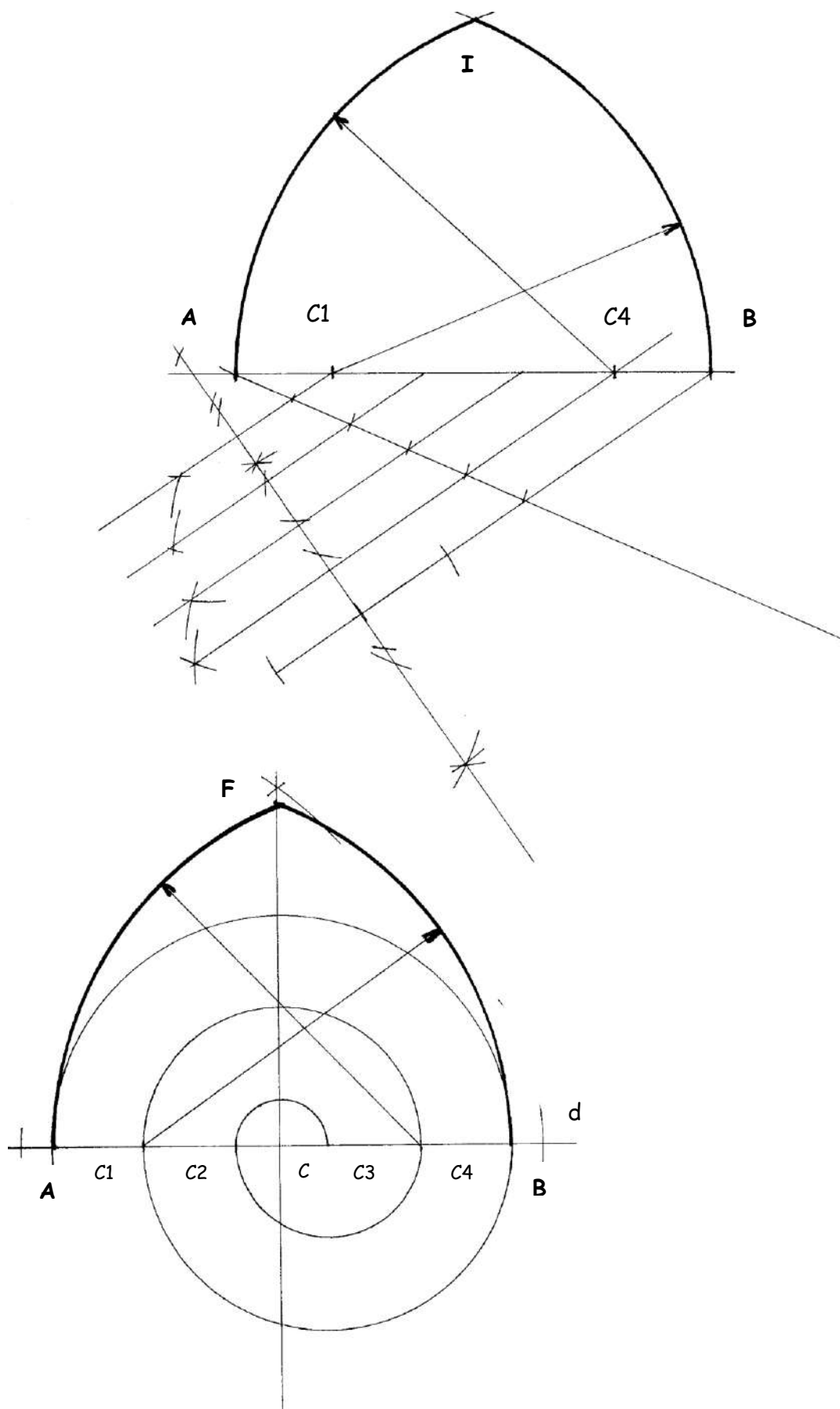
- φ Tracer le segment AB définissant l'ouverture de l'ogive choisie ;
- φ Diviser le segment en cinq parties ; les points C1, C2, C3, C4, déterminent la division en 5 parties du segment AB ;
- φ Piquer le compas en C1 avec une ouverture correspondant à C1B ;
- φ Tracer l'arc de cercle partant de B : il portera la première partie de l'ogive ;
- φ De même, piquer le compas en C4 avec la même ouverture, et tracer l'arc de cercle partant de A et coupant l'arc précédent en un point I, étant le sommet de la flèche de l'arc Quint Points
- φ L'ogive obtenue avec ces rayons d'arc égaux à 4/5 de l'ouverture est une ogive en Quint Point.

Ici encore, une méthode de tracé de l'arc Quint Point décrite par Villard de Honnecourt; elle construit en premier les points de divisions de l'ouverture par 5 segments de module choisi (pseudo spirale), puis l'ouverture :

- φ Tracer la droite « d » qui portera le segment d'ouverture cherchée ;
- φ Tracer une perpendiculaire passant par un point C choisi comme étant le milieu de l'arc à tracer ;
- φ Piquer en C avec une ouverture de compas choisie comme étant le module représentatif du 1/5 eme de l'ouverture pour l'arc résultant, et tracer le demi-cercle supérieur, qui débute au point C2 et s'arrête au point C3 sur la droite « d » ;
Le diamètre C2 C3 représente le **module** de la division du segment qui sera l'Ouverture.
- φ Piquer en C3 et ajuster l'ouverture du compas sur le segment C3-C2, qui sera le rayon du demi-cercle inférieur tracé, de centre C3 qui coupe la droite « d » en un point C4
- φ Revenir piquer en C, en ajustant l'ouverture du compas sur le point C4, et tracer le demi-cercle supérieur qui débute en C4 et se finit sur l'intersection de la droite « d » en un point C1;
- φ Revenir piquer en C3, et ajuster l'ouverture du compas sur le point C1, et tracer le demi-cercle inférieur de centre C3, qui part de C1 et va rejoindre la droite « d » en un point B ;

- TRACES d'ARCS OGIFS -

21-



- φ Revenir piquer en C, ajuster l'ouverture du compas sur le point B et tracer le demi-cercle supérieur de centre C qui part de B et va rejoindre la droite « d » en un point A:

Le segment AB représente l'ouverture de l'arc Quint Point recherché, et les points C1, C2, C3, C4 divisent le segment AB en 5 parties de module égal au diamètre du plus petit cercle, soit le segment C2 C3;

- φ Le premier arc de l'Ogive se trace en piquant en C4, et réglant l'ouverture du compas sur le point A ;
- φ De même, le second arc de l'ogive Quint Point se trace en piquant au point C1 et réglant l'ouverture sur le point B ; il coupe le premier arc en un point F, qui est le sommet de l'ogive correspondant à la flèche de l'arc brisé.

L'Arc brisé, ou Ogive Quint point, est ainsi le résultat de cette division d'arc tracée et imagée par Villard de Honnecourt, dans son Carnet .



Extrait des Carnets de Villard de Honnecourt

22 - Arc ogif équilatéral :

D'une façon générale, un arc ogif est caractérisé par son ouverture, et la position des centres des deux cercles qui le composent.

- φ Tracer un segment AB qui constitue la base : c'est l'ouverture de l'arc avec ses deux points de naissance A et B
- φ Piquer le compas au point A, avec une ouverture ajustée sur AB
- φ Tracer le demi-arc de cercle de rayon AB
- φ Piquer le compas avec la même ouverture en B, tracer le demi-cercle qui vient couper le premier cercle en I.

L'arc AIB ainsi créé dans un triangle équilatéral est l'archétype de l'arc brisé en ogive, que l'on retrouve dans les cahiers de tracés de Villars de Honnecourt au XIII^e siècle.

23 - Arc en lancette ou pointe aigüe :

Jusqu'à ce point, les arcs tracés possèdent toujours les centres des arcs de cercles formant les deux côtés de l'ogive, inclus dans la base (ouverture) et repartis en une division particulière de cette ouverture, ou positionnés sur la limite de chaque point d'extrémités de ladite ouverture (les naissances).

La caractéristique des Ogives lancéolées, esthétiquement très élancées, réside dans les positions des centres des cercles constituant les deux parties de l'arc d'ogive : elles se situent à l'extérieur de l'ouverture, à droite et à gauche, soit plus grande que l'ouverture de l'arc.

Dans le tracé de Villard de Honnecourt, l'ouverture de l'arc plein cintre est divisée en 4 segments déterminés par les points A, E, C, D, B ; l'ouverture de l'arc ogif équilatéral est composée de deux de ces segments avec les points CDB.

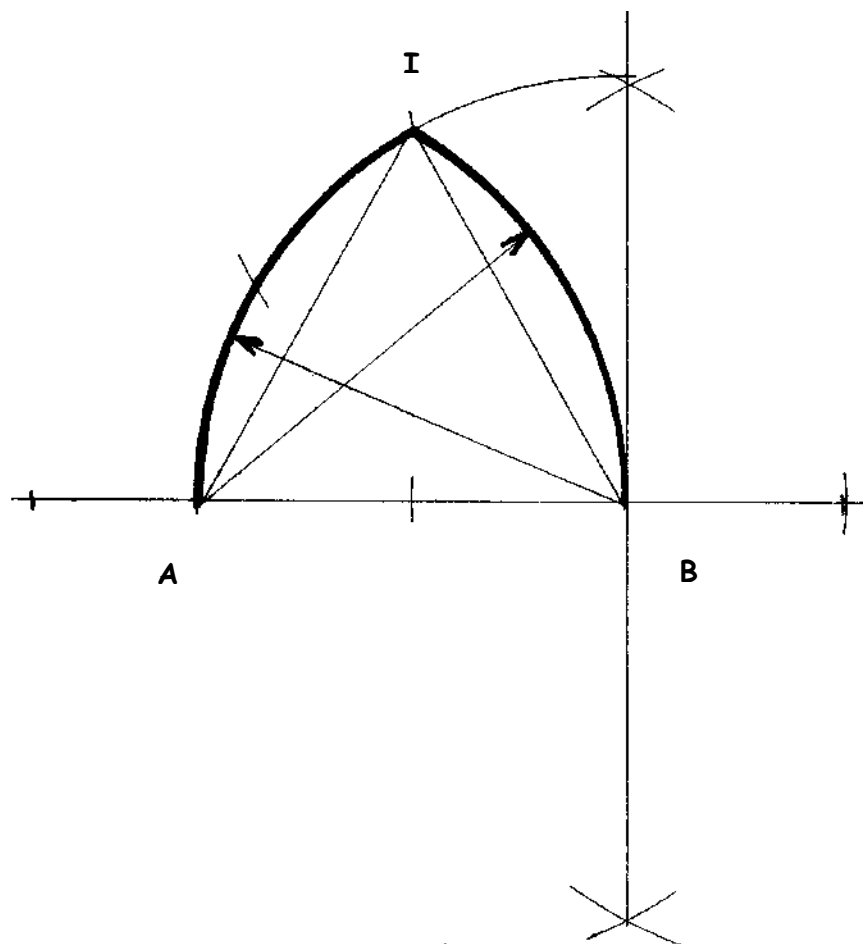
Pour l'Arc en Pointe Aigüe (en lancette), le tracé évolue de façon à ce que les 2 centres des cercles portant les arcs constituant l'ogive en lancette, se situent à **l'extérieur** des naissances de l'arc équilatéral, à une distance correspondant à 1/2 de l'Ouverture de l'arc équilatéral ; par conséquent, le rayon de l'arc de cercle a pour longueur : l'Ouverture de l'arc équilatéral + la moitié de cette Ouverture.

- φ Tracer le cercle "c" ayant pour centre un point C,
- φ Choisir un point B sur le cercle "c";

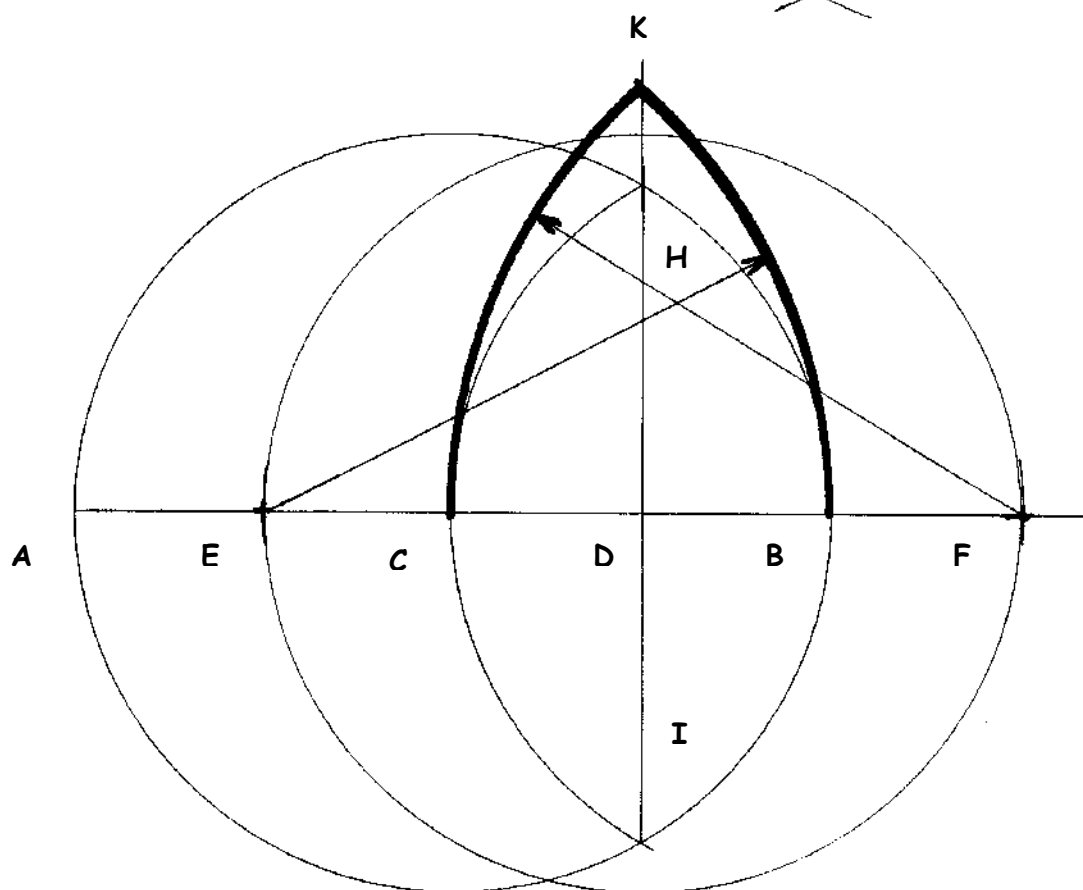
- φ Piquer le compas sur le point B, avec l'ouverture égale au rayon du cercle « c » (le compas est déjà ajusté à cette longueur, suite au tracé du cercle précédent)
 - φ Tracer l'arc qui passe par le point C et qui coupe le cercle "c" en deux points H et I ;
 - φ Tracer le segment H I, il coupe le segment BC en D ;
 - φ Prolonger le segment BC qui coupe le cercle « c » en un point A : AB est le diamètre du cercle "c"
 - φ Avec la même ouverture de compas, piquer en D et tracer le cercle « d » qui coupe la droite portant le diamètre AB en deux points :E à l'intersection du cercle et du segment AB, et F à la droite de B .Ces points se situent à une distance d'un demi rayon AC à gauche du point C et à droite du point B ;
 - φ Pour tracer une partie de l'arc en lancette ayant pour ouverture CB, piquer en E, régler l'ouverture du compas sur le segment EB (égale à $\frac{3}{2}$ du rayon du cercle "c"), et tracer l'arc passant par le point B, de part et d'autre de la droite portant le segment AB,
 - φ Avec la même ouverture de compas (soit $\frac{3}{2}$ du rayon du cercle "c"), piquer en F, et tracer le segment d'arc qui coupe l'arc précédent en un point K.
- Les deux arcs tracés CK et BK, avec l'ouverture CB, constituent un Arc CKB Ogif en lancette, ou pointe aigue.

- TRACES d'ARCS OGIFS -

22-



23-



E- DIVISIONS d'ARCS -

La division d'arc s'opère dès le début de la phase de construction de l'appareillage d'une voute ou d'une ogive. C'est l'étape indispensable pour démarrer la réalisation des gabarits nécessaires aux tracés et à la taille des clefs, claveaux et autres voussoirs constituant l'édifice.

24 - Division d'un Arc Plein Cintre en 5 parties "égales" :

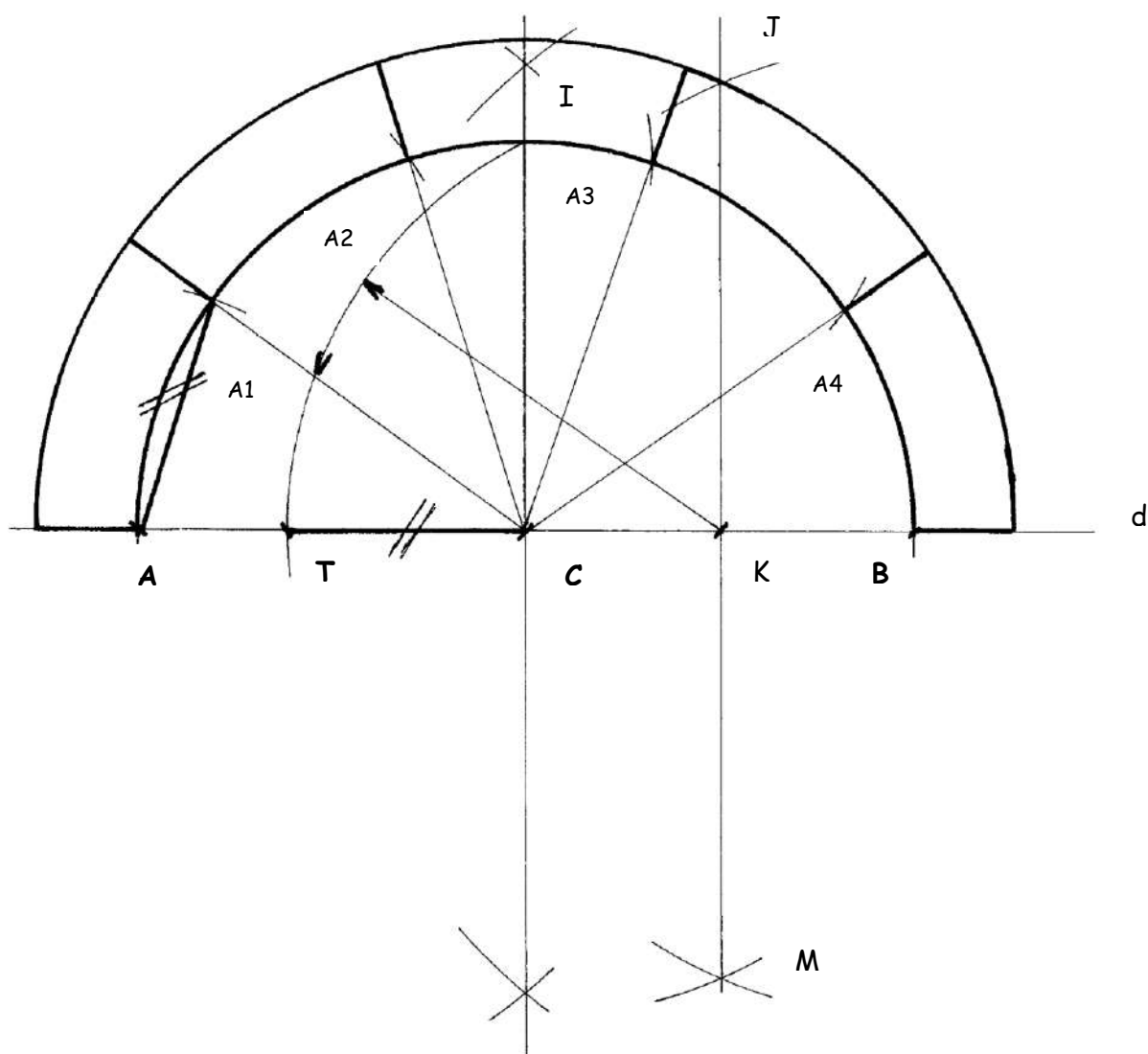
« *Tracé de Florent* »

- φ Tracer la droite "d" portant l'ouverture de l'arc
- φ Fixer 2 points de naissance A et B représentant l'ouverture choisie
- φ Tracer la médiatrice de ce segment AB, qui le coupe en C :
Ce point « C » est le centre de l'arc plein cintre ;
- φ Piquer en C, régler l'ouverture du compas sur le segment CA :
tracer le demi-cercle "c" passant par A et terminant à B :
c'est l'arc plein cintre, qu'il faut diviser ; il coupe la médiatrice en un point I, sommet de l'Arc Plein Cintre.
- φ Tracer la médiatrice de CB en piquant en B, avec l'ouverture du compas ajustée au rayon CB, et tracer le segment d'arc qui coupent le demi-cercle "c" en un point J ; et tracer un segment d'arc symétrique par rapport à AB, qui coupe l'arc du cercle centré sur C en un point M ; la médiatrice JM coupe AB en un point K.
- φ Piquer en K, et ajuster l'ouverture du compas sur le point I : tracer l'arc de cercle qui coupe le diamètre AB en T ;
Le segment TC représente le **Module de division** de l'arc plein cintre en 5 parties ;
- φ Avec l'ouverture de compas réglée sur TC, piquer en A et reporter 5 fois cela à la suite, pour définir les points A1, A2, A3, A4 jusqu'à rejoindre B, séparés chacun de l'autre par le « module » de tracé :
➤ la division de l'arc AB en 5 segments d'arc est faite !

NB : si on rejoint par le tracé, les points A à A2, A2 à A4, un début de tracé de pentagone inscrit dans le cercle "c" apparaît ... avec son incertitude !

- TRACES de DIVISION d'ARC PLEIN CINTRE en 5 -

24 -



25 - Division d'un Arc Plein Cintre en 7 parties "égales" :

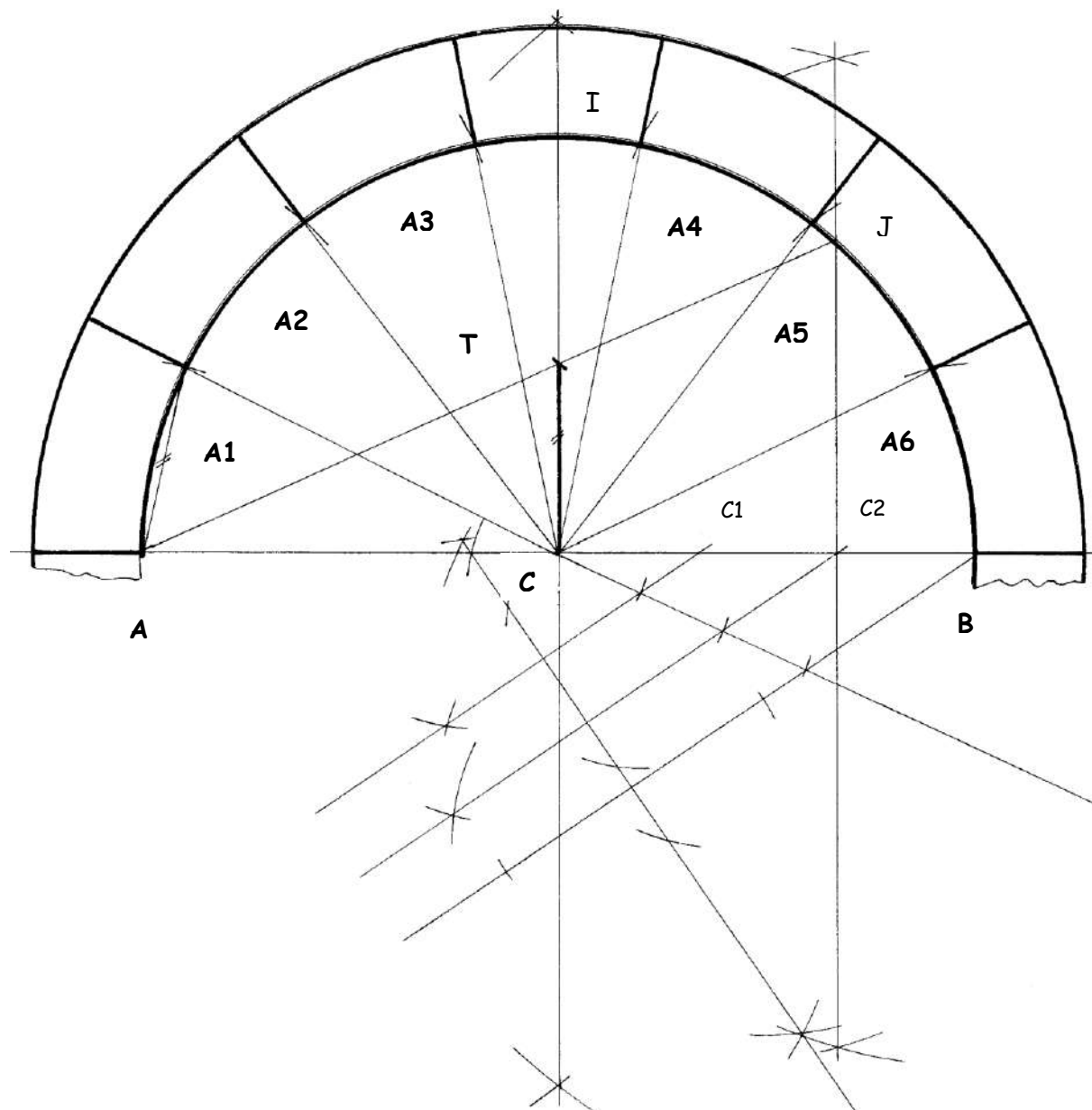
« Tracé de Florent »

Le tracé de l'arc plein cintre se fait comme déjà vu précédemment :

- φ Tracer la droite "d" portant l'ouverture de l'arc
- φ Fixer 2 points de naissances A et B représentant l'ouverture choisie
- φ Tracer la médiatrice de ce segment AB, qui le coupe en C :
Ce point C est le centre de l'arc plein cintre ;
- φ Piquer en C, régler l'ouverture du compas sur le segment CA :
tracer le demi-cercle "c" passant par A et terminant à B :
c'est l'arc plein cintre, qu'il faut diviser, en 7 parties ; il coupe la médiatrice en un point I, sommet de l'Arc Plein Cintre.
- φ Par la méthode de la herse, diviser le rayon CB de la demi -
ouverture d'arc en 3 parties : on obtient les point C1 et C2 qui, avec
les points C et B déterminent 3 segments :
C'est la division du rayon par tiers.
- φ Tracer la médiatrice du segment C1B, passant par C2 : elle coupe le
demi-cercle "c" en un point J ;
- φ Tracer le segment de droite qui relie le point A au point J ; ce
segment coupe la médiatrice CI en un point T :
- φ Le segment TC représente le **Module de division** de l'arc plein
cintre en 7 parties ;
- φ Avec l'ouverture de compas réglée sur TC, piquer en A et reporter 7
fois cette distance à la suite, jusqu'à rejoindre B, afin de définir les
points A1, A2, A3, A4, A5, A6 séparés par le module :

➤ La division de l'arc AB en 7 segments d'arc est faite !

- TRACES de DIVISION d'ARC PLEIN CINTRE en 7 -
25-



26 - Division d'un Arc ogif équilatéral en 7 parties :

Ce tracé est une méthode générique permettant de diviser la plupart des arcs ogifs, et de réaliser un calepinage des voussoirs assez équilibré.

La division en nombre impair permet de tracer une arcature avec clef en sommet.

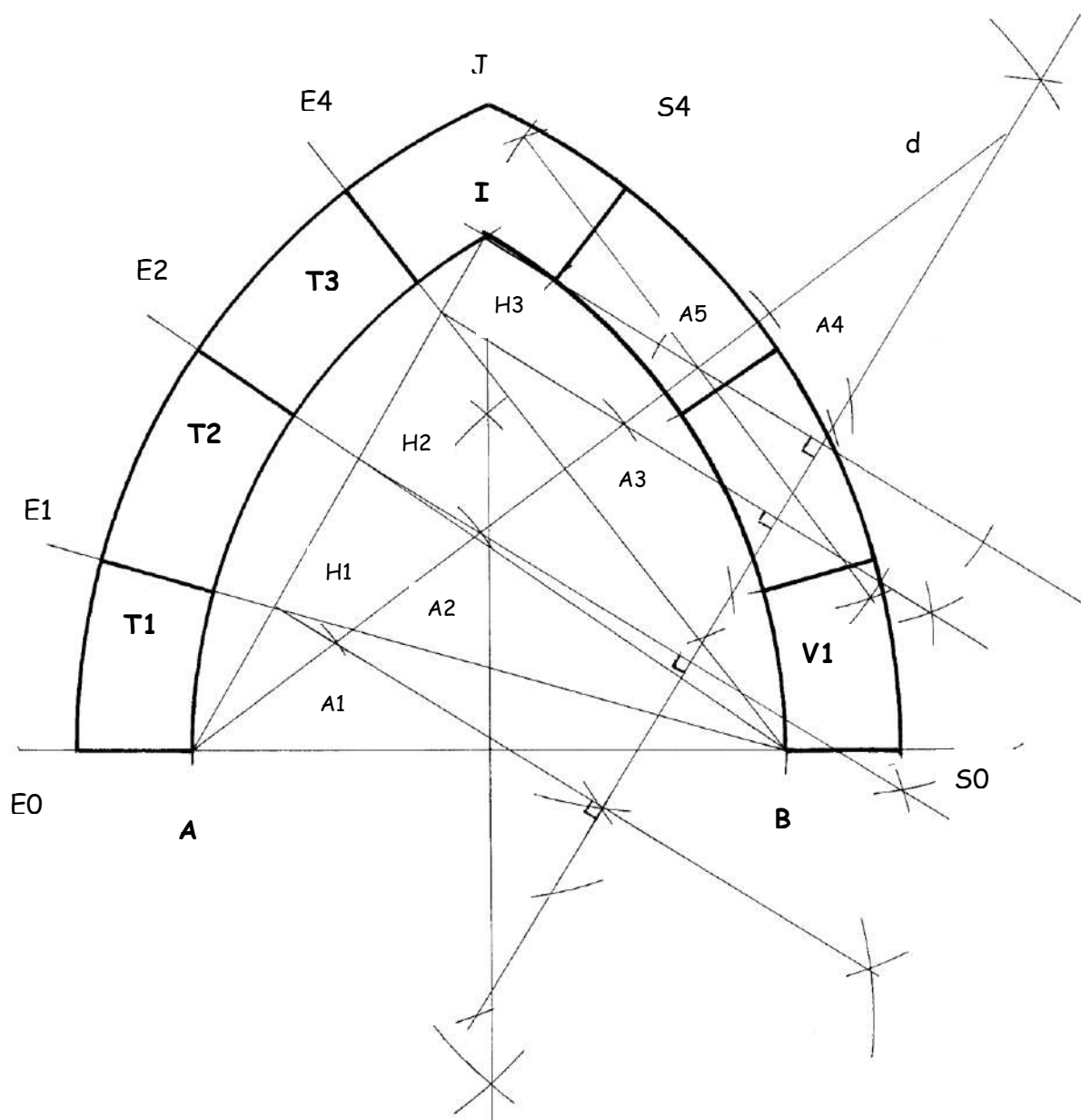
La division en nombre pair, simplifie la taille des voussoirs avec un joint en sommet d'arc au lieu d'une clef.

Ci-dessous la division en 7 parties avec clef :

- φ Tracer l'arc ogif équilatéral d'ouverture AB, et de sommet I suivant le paragraphe 21 ;
- φ Tracer la corde AI ;
- φ Diviser la corde AI en 3,5 segments par la méthode de la herse avec la particularité suivante :
 - Diviser la droite "d", issue de A, en reportant 4 fois au compas une ouverture de segment choisie déterminant ainsi les points A1, A2, A3, A4
 - Pour obtenir le demi-segment, correspondant à la division en 3,5, diviser le dernier segment A3 -A4 en deux parties égales, en traçant la médiatrice qui détermine son point milieu A5 ;
 - Joindre par une droite les points I et A5, et tracer en A5 la perpendiculaire à I -A5 : cela donne la perpendiculaire commune pour projeter les points A1, A2, A3, sur le segment AI, déterminant ainsi les points H1 H2 H3, qui avec A et I réalise la division de la corde AI en 3,5 segments.
- φ La division de l'arc AI en 3,5 parties s'obtient en traçant les faisceaux de droites issues du point B (naissance de l'arc) :
 - Tracer les demi-droites reliant le point B à chaque point H1 H3 H3 ;
 - La prolongation de ces demi -droites coupent l'arc AI en 3 points T1 ,T2 ,T3 , qui forment les segments d'arc recherchés .
- φ Reporter les unes après les autres, les longueurs de segments d'arcs prises avec le compas sur la première branche d'arc AI, en traçant ces segments sur la deuxième branche de l'arc BI :
 - Piquer en A et ajuster l'ouverture de compas sur T1 ;
 - Reporter cette ouverture en piquant sur B, et tracer l'arc de cercle qui coupe l'arc IB en V1
 - Reproduire ce tracé en reportant successivement au compas, le segment T1-T2, sur l'arc IB, en piquant en V1 pour déterminer le point V2 ;

- TRACES de DIVISION d'ARC OGIF en 7 -

26-

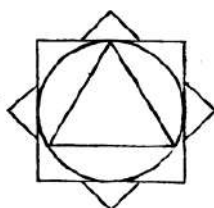


- Et ainsi de suite pour le report de T2-T3 sur l'arc IB, déterminant ainsi le point V3 et donc la division de la branche d'arc IB, symétrique de la division de l'arc AI.

NB1 : Les arcs A-T1, T1-T2, T2-T3, T3-I, forment une division en arcs inégaux mais d'aspect très harmonieux, tout en donnant à la partie sommitale, une dimension respectable pouvant permettre de tracer une clef d'arcade.

NB2 : Pour tracer le calepinage des 6 voussoirs et de la clef, tracer la partie extérieure de l'arc ogif, en choisissant l'épaisseur de l'arcature désirée, tracer les deux demi-arcs depuis les points de naissance A et B avec l'ouverture voulue, (soit EO et SO les points d'épaisseur à la naissance) ,dont le sommet est le point J intersection de ces deux arcs ; prolonger les demi-droites ayant servi à tracer les points Ti puis Vi : elles coupent les deux branches d'arc extérieur aux points Ei et Si ;

- Cela donne les tracés de face relatifs à chacun des voussoirs qui composent cette arcature.



27 - Division d'un Arc Tiers Point en 9 parties :

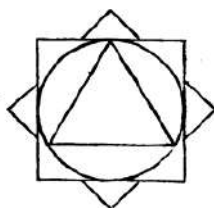
Le tracé proposé repose sur le principe de la division de l'arc en projetant la division (méthode de la herse) de la corde sur l'arc, en suivant le faisceau issu des points de centre des branches de l'arc tiers point.

- φ Tracer l'arc Tiers Point AIB ayant pour ouverture choisie le segment AB, et pour sommet le point I issus de l'intersection des arcs ayant pour centres les points C1 et C2, situés aux tiers du segment AB formant l'ouverture de l'arc, par le tracé de la médiatrice du segment C2-B au point C1 (Tracé de Villars item 19) ;
- φ Tracer la corde AI
- φ Diviser la corde en 4 segments et demi, par la méthode de la herse :
 - Diviser la droite "d", issue de A, en reportant 5 fois au compas une ouverture de segment choisie déterminant ainsi les points A1, A2, A3, A4, A5
 - Pour obtenir le demi-segment, correspondant à la division en 4,5, diviser le dernier segment A4 -A5 en deux parties égales, en traçant la médiatrice qui détermine son point milieu A6 ;
 - Joindre par une droite les points I et A6, et tracer en A6 la perpendiculaire à I -A6 : cela donne la perpendiculaire commune pour projeter les points A1, A2, A3, A4 sur la corde AI, déterminant ainsi les points H1 H2 H3 H4 qui, avec A et I, réalisent la division de la corde AI en 4,5 segments.
- φ Projeter chacun des points Hi par faisceau de demi-droites issues du point C2, sur la première branche de l'arc Tiers point : ce sont les points T1 , T2 , T3 T4 ; qui ,avec les points A et I , forment une segmentation de l'arc en 4,5 parties , certes inégales mais très bien proportionnées entre-elles ;

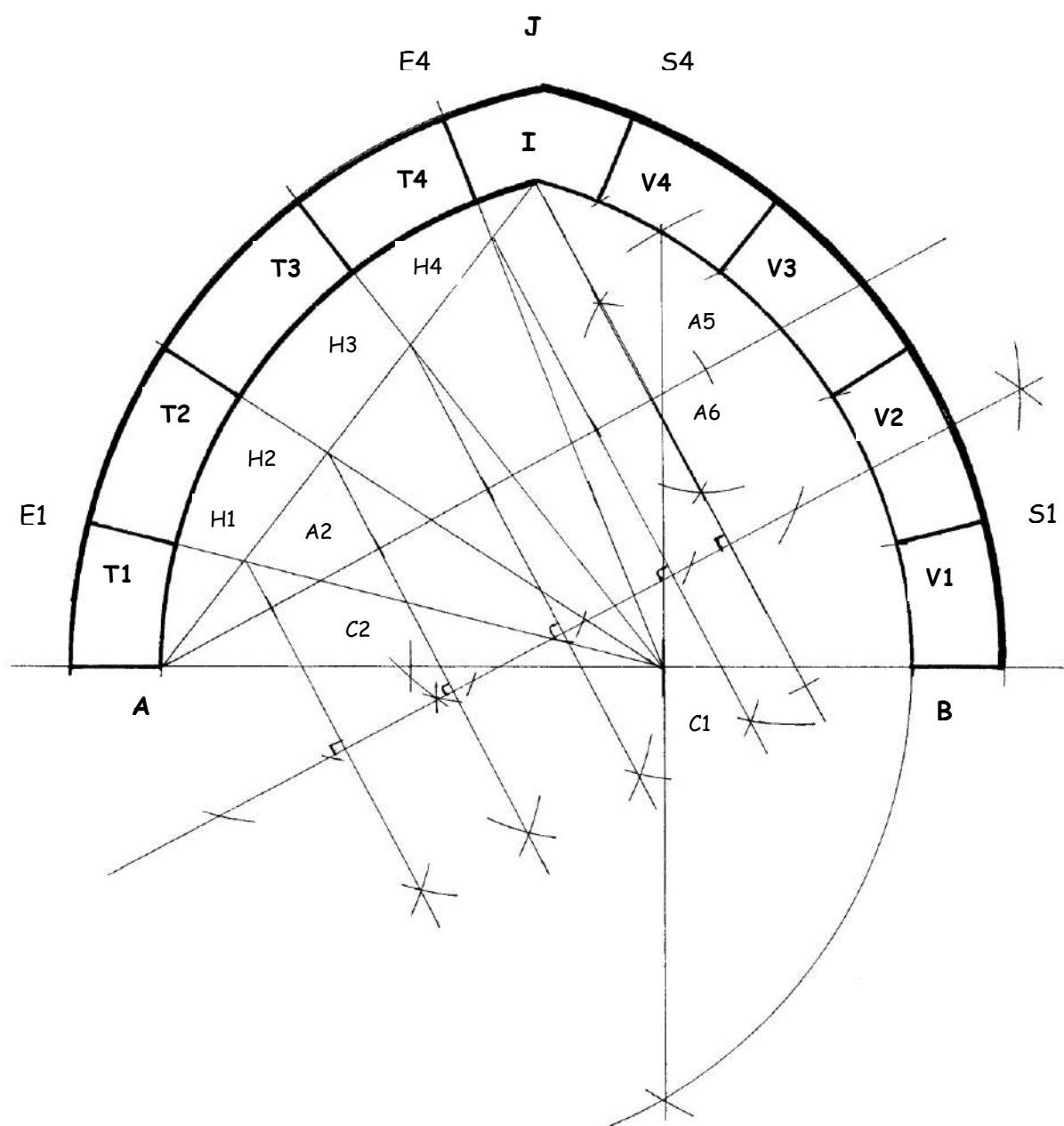
- φ Reporter les unes après les autres, les longueurs de segments d'arcs prises avec le compas sur la première branche d'arc AI, en traçant ces segments sur la deuxième branche de l'arc BI :
- Piquer en A et ajuster l'ouverture de compas sur T1 ;
 - Reporter cette ouverture en piquant sur B, et tracer l'arc de cercle qui coupe l'arc IB en V1 ;
 - Reproduire ce tracé 3 fois en reportant successivement au compas, les segments Ti, sur l'arc IB, en piquant en B avec les différentes ouvertures ATi pour déterminer les point Vi en intersection avec l'arc IB ; (i évolue de 1 à 4)
 - La division de la branche d'arc IB, en 4,5 parties est faite ; elle est symétrique de la division de l'arc AI. Bravo !

NB : Pour tracer le calepinage des 8 voussoirs et de la clef, tracer la partie extérieure de l'arc ogif, en choisissant l'épaisseur de l'arcature désirée ; tracer les deux demi-arcs depuis les points de centre C1 et C2 avec l'ouverture désirée pour l'épaisseur de l'arcature ; le sommet est le point J intersection de ces deux arcs ; prolonger les demi-droites ayant servi à tracer les points Ti et Vi : elles coupent les deux branches d'arc extérieur aux points Ei et Si ;

- Cela donne les tracés de chaque partie de chacun des voussoirs qui composent cette arcature, et aussi la géométrie de la clef de cette arcature



- TRACE DIVISION d'ARC TIERS POINT en 9 -
27-



28 - Division d'un Arc Tiers Point en 10 parties :

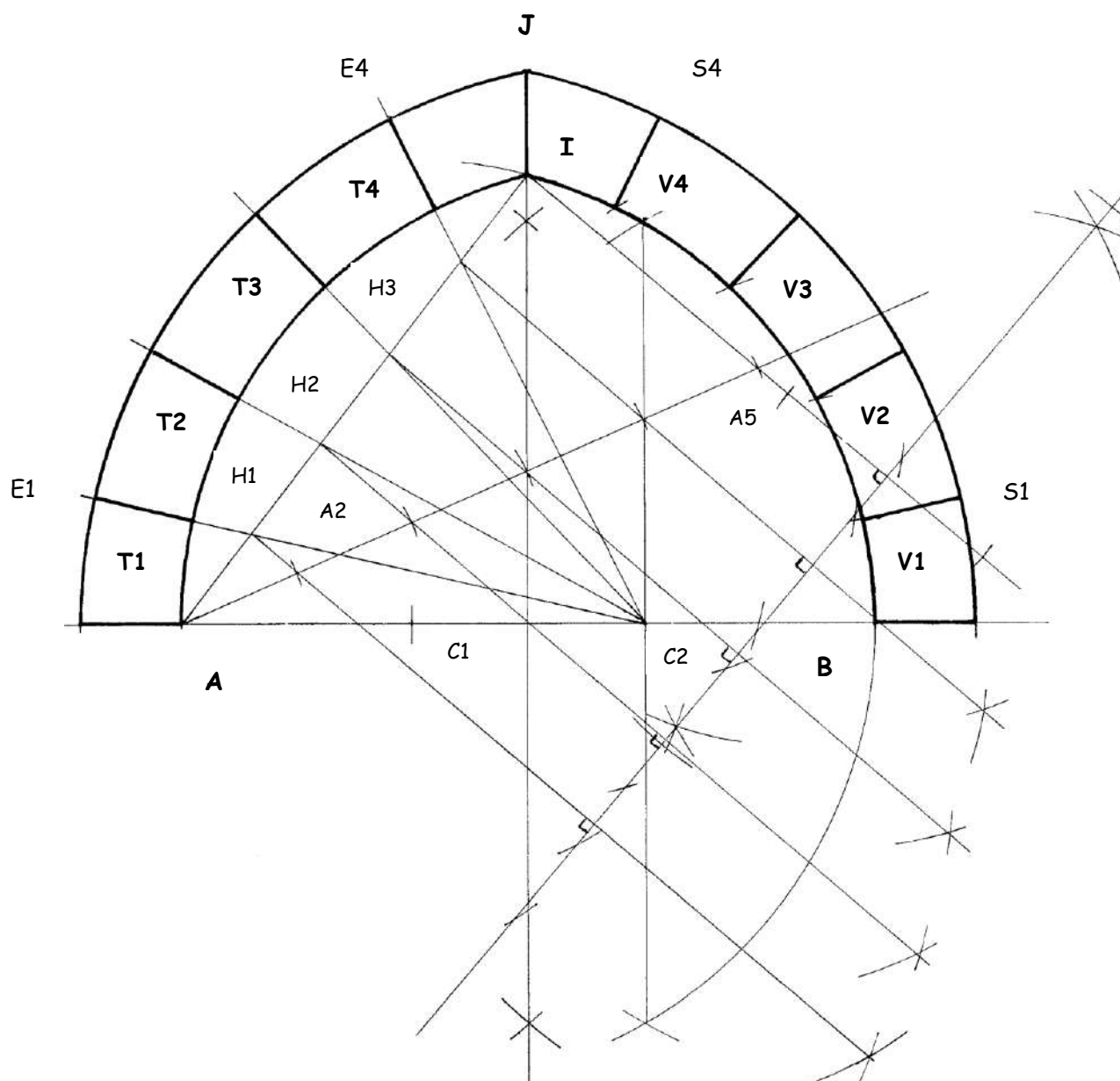
Dans le cas de la division d'un arc en nombre pair, la clef unique est remplacée par deux demi-clefs, apportant ainsi une simplification de taillage pour les voussoirs de sommet.

- φ Tracer l'arc Tiers point AIB ayant pour ouverture choisie le segment AB, et pour sommet le point I issu de l'intersection des arcs ayant pour centres les points C1 et C2, situés aux tiers du segment AB formant l'ouverture de l'arc, par le tracé de la médiatrice du segment C1-B au point C2 (Tracé de Villars item 20) ;
- φ Tracer la corde AI
- φ Pour diviser la corde en 5 segments par la méthode de la herse :
 - Diviser la droite "d", issue de A, en reportant 5 fois au compas une ouverture de segment choisie déterminant ainsi les points A1, A2, A3, A4, A5
 - Joindre par une droite les points I et A5, et tracer en A5 la perpendiculaire au segment IA5 : cela donne la perpendiculaire commune pour projeter les points A1, A2, A3, A4 sur la corde AI, déterminant ainsi les points H1 H2 H3 H4 qui avec A et I réalisent la division de la corde AI en 5 segments.
- φ Projeter chacun des points Hi par faisceau de demi-droites issues du point C2, sur la première branche de l'arc Tiers point : ce sont les points T1, T2, T3 T4 ; qui, avec les points A et I, forment une segmentation de l'arc en 5 parties, certes inégales mais très bien proportionnées entre-elles
- φ Reporter les unes après les autres, les longueurs de segments d'arcs prises avec le compas sur la seconde branche d'arc BI, en traçant ces segments sur la deuxième branche de l'arc BI :
 - Piquer en A et ajuster l'ouverture de compas sur T1 ;
 - Reporter cette ouverture en piquant sur B, et tracer l'arc de cercle qui coupe l'arc IB en V1
 - Reproduire ce tracé 3 fois en reportant successivement au compas, les segments ATi, sur l'arc IB, en piquant en B pour tracer les point Vi ;

Et ainsi, la division de la branche d'arc IB en 5 parties symétriques de la division de l'arc AI, est réalisée en toute simplicité !

- TRACE DIVISION d'ARC TIERS POINT en 10 -

28-

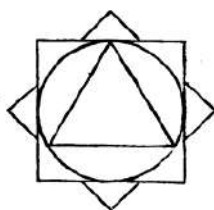


Pour tracer le calepinage des 10 voussoirs dont les deux demi-clefs, tracer la partie extérieure de l'arc, en choisissant l'épaisseur de l'arcature désirée ;

- φ Tracer les deux demi-arcs depuis les points de naissance A et B avec l'ouverture voulue, dont le sommet est le point J intersection de ces deux arcs ;
- φ Prolonger les demi-droites ayant servi à tracer les points Ti puis Vi : elles coupent les deux branches d'arc extérieur aux points Ei et Si ;

Cela produit les tracés de chaque partie de chacun des voussoirs qui composent cette arcature.

Penser aux maçons en prévoyant dans le tracé des gabarits, l'épaisseur du joint de mortier !



F - Tracés d'anses pour arcade ou voute -

La forme d'arcade en pseudo-ellipse dite « en anse de panier », déjà utilisée par les égyptiens, prolifère dans les constructions à partir de la Renaissance.

C'est un assemblage d'arcs de cercles tracés à partir de différents centres et dont les rayons se raccordent sans discontinuité apparente ; il existe des anses à 3 centres, 5, 7, 9, voire 11 et 13 !

Les anses sont définies par deux grandeurs fondamentales : l'ouverture (appelée aussi « portée »), et la flèche (aussi nommée « montée »).

29 - Anse de Panier à Trois centres :

Le tracé le plus simple a été décrit par Charles Bossut, mathématicien du XVIII^{ème}. Ce tracé permet de fixer le point de flèche (montée) et l'ouverture indépendamment l'un de l'autre.

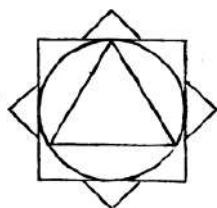
- φ Tracer un segment AB qui correspond à l'ouverture ou portée de l'arcade en anse de panier ;
- φ Tracer la médiatrice « a » du segment AB qui le coupe au point O ;
- φ Tracer sur cette médiatrice, la montée choisie qui détermine le point C ;
- φ Tracer le segment de droite AC
- φ Piquer au point O, et ajuster l'ouverture du compas sur le point C, et rabattre un arc sur le segment AO, qui le coupe au point D
- φ Piquer en D, et ajuster l'ouverture à la longueur du segment AD ;
- φ Reporter cette ouverture AD sur le segment CA en piquant en C : cela détermine le point D1 ;
- φ Tracer la médiatrice « d » du segment D1-A ; elle coupe le segment de la portée en O1, et la médiatrice « a » en O2 ;
- φ Tracer la première partie d'arc de l'anse en piquant au point O1, et en ajustant l'ouverture du compas au à la distance O1-A jusqu'à la médiatrice « d » définissant le point H : O1 est le premier centre de l'anse, dont le premier arc est le segment de cercle AH ;
- φ En symétrie, avec la même ouverture de compas, piquer en B et tracer l'arc de cercle qui coupe la portée AB en un point O3 : c'est le deuxième centre de l'anse ;
- φ Piquer en O3, et tracer la partie d'arc partant du point B, jusqu'au point K délimité par la droite O2- O3
- φ Piquer en O2, qui est le 3^{ème} centre de l'anse et ajuster le compas sur le rayon O2-C afin de tracer l'arc rejoignant les points H et K en passant par C.

- L'anse à 3 centres est ainsi définie avec une élégance bien personnalisée.

Cette construction est caractéristique de l'architecture Renaissance française.

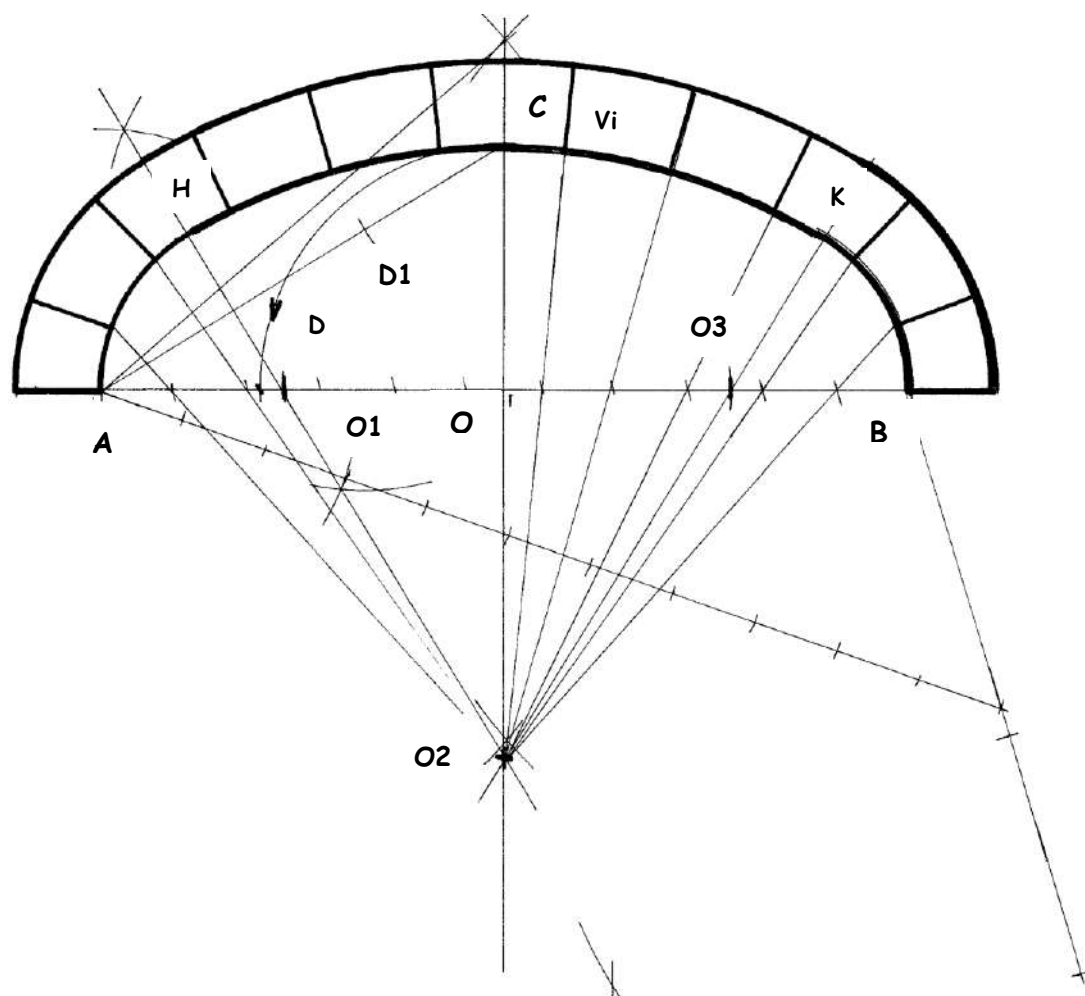
NB : L'anse tracée peut être extrapolée vers une arcature avec une épaisseur choisie correspondant aux valeurs de rayons choisis ; elle est appareillée en traçant les claveaux à partir d'une division de l'anse intrados.

- φ Diviser l'ouverture AB en autant de segments que de claveaux souhaités.
 - φ A partir du centre de rayonnement O2, tracer les faisceaux passant par chaque point de division de l'ouverture ; chaque faisceau coupe l'intrados de l'anse en un point V ; l'ensemble des points Vi réalise la division de l'anse.
 - φ Tracer chaque claveau en utilisant respectivement trois centres de rayonnement correspondant à l'arc de cercle où se situe les claveaux :
 - O1 : pour les claveaux porté par l'arc de A à H,
 - O2 : pour les claveaux portés par l'arc de H à K
 - O3 : pour les claveaux portés par l'arc de K à B.
- Les gabarits de taille de l'appareillage peuvent être tracés ;
(Toujours sans oublier l'épaisseur de mortier aux plans de joints !)



- TRACES d'ANSES à 3 CENTRES -

29-



30 - Anse à trois centres en Tiers point :

Ce tracé fixe naturellement la « montée » de l'anse, en fonction de son ouverture.

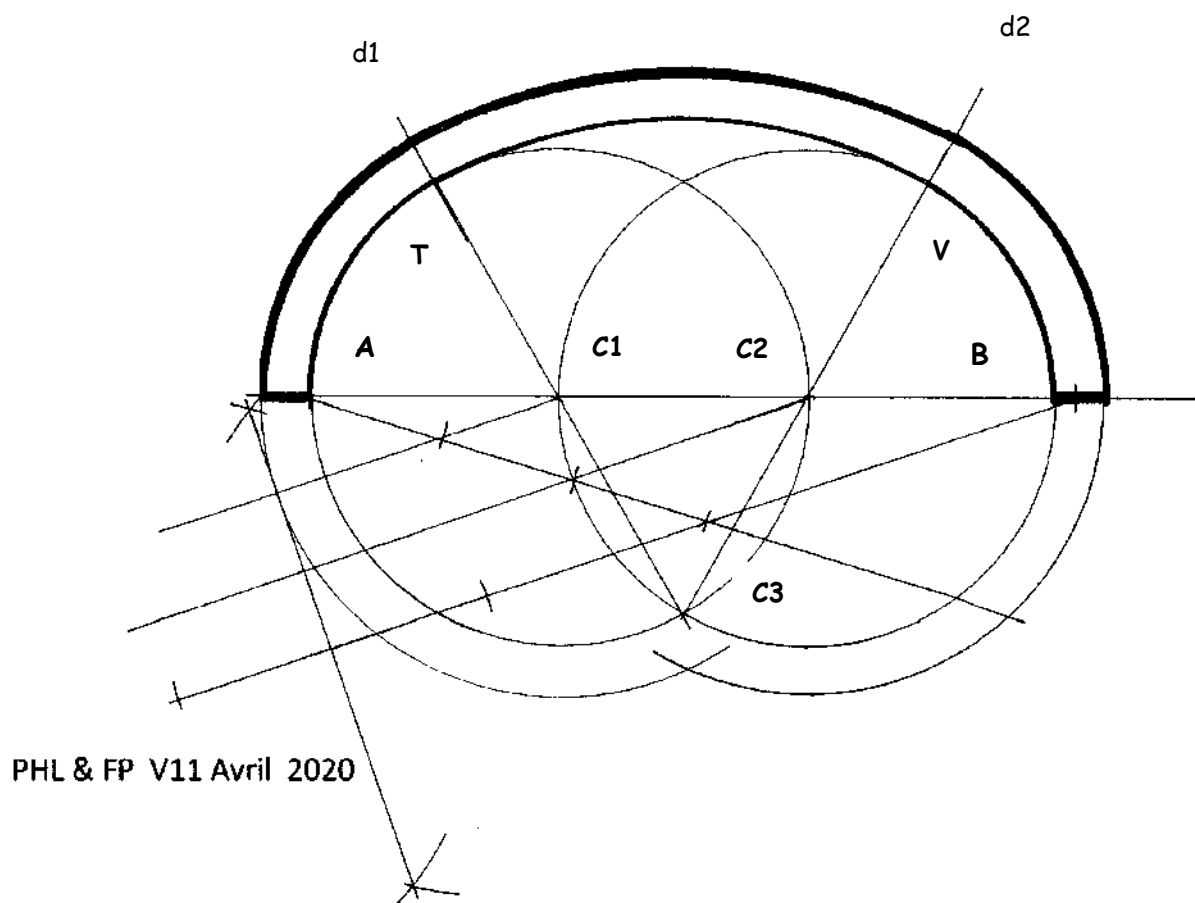
- Tracer un segment AB qui correspond à l'ouverture ou portée de l'arcade en anse de panier ;
- Diviser le segment AB en trois parties égales, par la méthode de la herse ou autre : les points de divisions sont C1 et C2, et le module correspond à chaque segment A-C1, ou C1-C2, ou C2-B ;
- Piquer en C1 et ajuster l'ouverture du compas à la longueur du module A-C1 par exemple, et tracer le cercle « c1 ». Il passe par le point C2 et c'est bien ainsi !
- Piquer en C2, et toujours avec la même ouverture, tracer le cercle « c2 », qui coupe le cercle « c1 » en un point C3 ;
- Depuis le point C3, tracer les deux droites « d1 » et « d2 » qui passent respectivement par le point C1 pour l'une et par le point C2 pour l'autre ; la droite « d1 » coupe le cercle « c1 » en T ; la droite « d2 » coupe le cercle « c2 » en V ;
- Les points C1, C2, et C3 sont les 3 centres des segments de cercles qui vont composer l'anse ;
en effet :
 - en piquant en C1 avec le rayon A-C1, tracer la naissance de l'anse depuis le point A jusqu'au point T ;
 - en symétrique, avec la même ouverture de compas , en piquant en B, tracer la naissance de l'anse depuis le point B jusqu'au point V ;
 - enfin, en piquant en C3 , et ajustant l'ouverture sur C3-T , ou C3-V , tracer l'arc de voute qui relie le point T au point V .

Nb : Pour tracer la voute, il suffit de choisir l'épaisseur voulue avec l'ouverture du compas en piquant en C1 et tracer en C1, puis en C2, les arcs de cercle qui se coupe en C3', nouveau centre pour tracer la partie supérieure de la voute.

Ce tracé supprime un degré de liberté, puisque les montées de chaque arc sont liées à la valeur du segment d'ouverture AB. Le Bâtitseur jugera de l'élégance relative obtenue ...

-TRACES d'ANSES à 3 CENTRES-

30-



31 - Anse à Cinq centres :

Tout comme le tracé de l'anse 3 points, ce tracé fixe naturellement la « montée » de l'anse, en fonction de son ouverture.

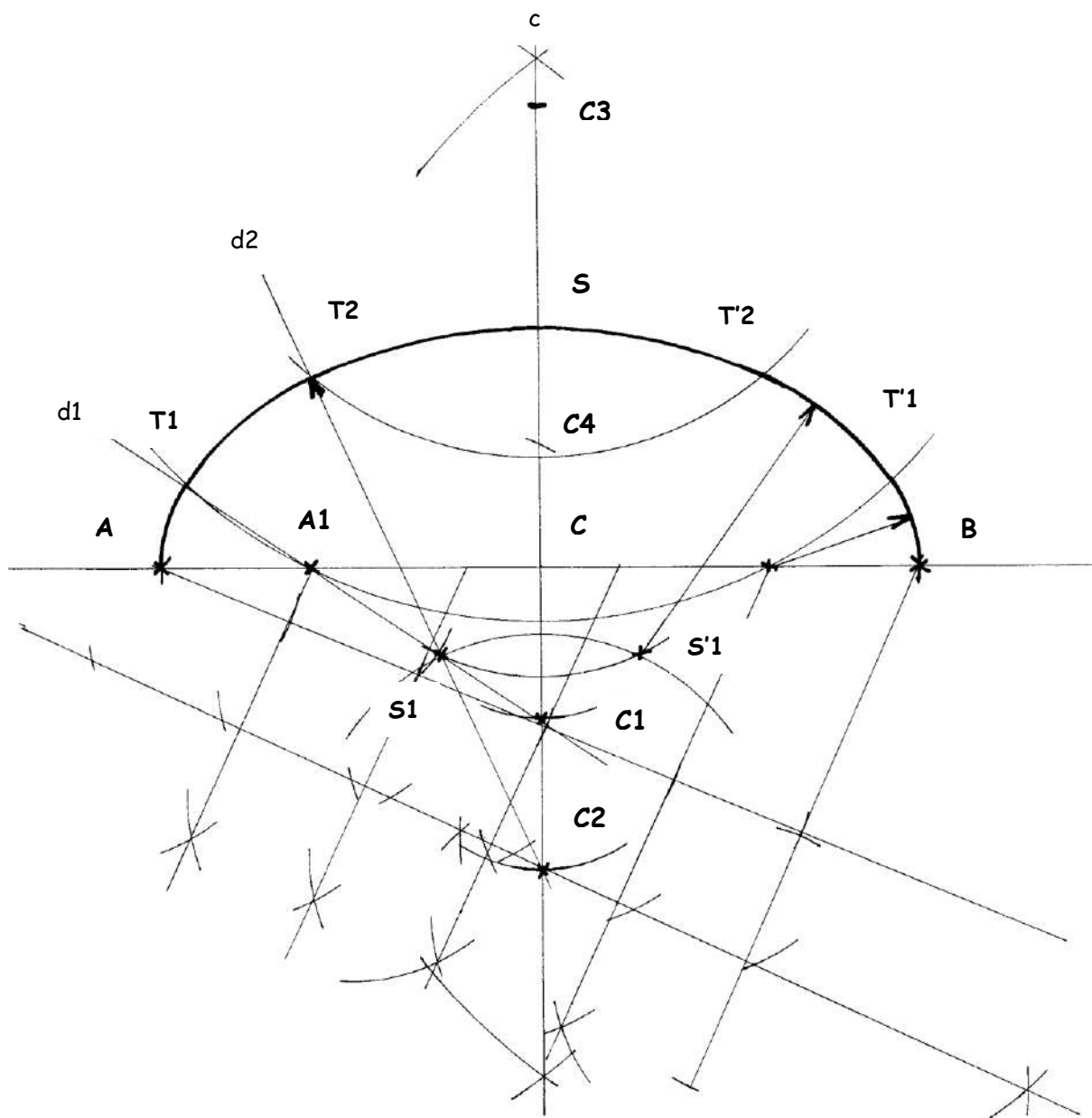
Cette anse est composée de 5 parties d'arc de cercle.

- φ Tracer un segment AB qui correspond à l'ouverture ou portée de l'arcade en anse de panier ;
- φ Diviser le segment AB en cinq parties égales, par la méthode de la herse ou autre : les points de divisions sont A1, A2, A3, A4 et le module correspond à chaque segment A-A1, ou A1-A2, ou A2-A3 ou A4-A4, ou A4-B ;
- φ Tracer la médiatrice « c » du segment AB, qui détermine le point milieu C ;
- φ Piquer le compas en C avec une ouverture égale au module A-A1, et reporter deux fois le module sur la partie inférieure de la médiatrice (partie sous-tendue par le segment AB) : cela détermine successivement deux points nommés C1 et C2 ;
- φ Tracer la demi-droite « d1 » passant par les points C1 et A1 ;
- φ Piquer le compas en A1 avec une ouverture toujours réglée sur le module A-A1, et tracer l'arc de cercle qui coupe la demi-droite « d1 », dans sa partie supérieure en un point T1 : **cette partie d'arc A-T1 est l'arc de naissance de l'anse au point A, et donc sa première partie qui débute en A et se termine en T1.**
- φ Toujours avec la même ouverture égale au module A-A1, piquer en A1, et tracer l'arc de cercle qui coupe la droite « d1 » dans sa partie inférieure en un point S1 ;
- φ Tracer la demi-droite « d2 » passant par C2 et S1
- φ Tracer l'arc de cercle ayant pour centre le point S1 et pour rayon S1-T1 ; cet arc de cercle coupe la droite « d2 » dans sa partie supérieure en un point T2 : **cette partie d'arc de cercle comprise entre T1 et T2 est la deuxième partie de l'anse recherchée, qui débute en T1 et se termine en T2, et dont le rayon est S1-T1**
- φ Piquer en C2 avec une ouverture réglée sur le point T2, et tracer l'arc de cercle à partir de T2 et qui passe par la médiatrice « c » en un point S qui détermine le point de flèche de l'anse. **Ce rayon d'arc C2-T2 correspond au troisième rayon constituant l'arc de la troisième partie de l'anse avec son point de flèche S.**

Pour la suite de la construction de l'anse, prolonger cet arc au-delà de la droite « c ».

- TRACES d'ANSES à 5 CENTRES -

31-



Il convient maintenant de définir par symétrie autour de la droite « c », les points de chaque extrémité des arcs constituant la branche droite de l'anse : soit procéder de la même manière par symétrie de construction des demi-droites C1-T1 et C2-T2, soit en traçant les points T1' et T2' étant les symétriques des points T1 et T2 par rapport à la droite « c ».

Pour varier les tracés, choisissons de définir les points T1' et T2' :

- φ Piquer en un point quelconque C3 choisi sur la partie supérieure de la médiatrice « c », et situé au-dessus du point de sommet de l'anse S, et régler l'ouverture de compas sur le point T2 ;
- φ Tracer l'arc de cercle qui va venir couper le troisième arc de l'anse en un point qui est le point T2' recherché : **l'arc T2 -T2' est le troisième arc de cercle composant l'anse recherchée.**
- φ Tout en restant piqué en C3, régler l'ouverture du compas sur le point T1, et tracer l'arc de cercle de rayon C3-T1 au-delà du point B ; cet arc va porter le lieu du futur point T1' ;
- φ Piquer en A4, et régler l'ouverture du compas sur un rayon égal au module de A4-B, et tracer l'arc de cercle partant de B : il coupe l'arc de cercle précédent au point recherché T1'. **L'arc B T1' est l'arc de naissance de l'anse au point B, et donc sa partie qui débute en T1' et se termine en B.**

Pour tracer la dernière partie d'arc intermédiaire, T2'-T1', il convient de déterminer le centre du rayon formant cet arc de cercle : le centre de ce cercle est le point S1' qui est le point symétrique du point S1 par rapport à la médiatrices « c » :

- φ Piquer sur le point C2 situé sur la droite « c », et régler l'ouverture du compas sur le point S1 : tracer l'arc de cercle « c2 » de part et d'autre de la médiatrices « c » ;
 - φ Avec la même ouverture, piquer en S1 et tracer l'arc qui coupe la médiatrice « c » en un point C4 ;
 - φ Avec la même ouverture, piquer en C4 et tracer l'arc de cercle passant par S1 et venant couper l'arc de cercle « c2 » tracé précédemment en un point S1' qui est le centre du rayon S1'-T1' recherché ;
 - φ Piquer en S1' et ajuster l'ouverture de compas sur le rayon S1'-T1' ou S1'-T2', et tracer le dernier arc de cercle T1'-T2' constituant l'arc manquant pour finir l'anse de panier à 5 centres, qui sont respectivement : A1, S1, C2, S1', et A4.
- Anse à 5 centres ...mais à 3 rayons !

G - Tracés de Rosaces -

Les motifs de rosaces dessinées à partir d'un cercle sont d'une inépuisable combinaison pour ceux qui ont envie de faire tourner le compas !

Roses et rosaces, (d'une plus grande dimension), ornent les ouvertures de baies, de jours perçant des murs et sur les balustrades. Elles inspirent énormément les réseaux des remplages des baies composant les édifices d'architecture gothique tardif et sont sources de dessins très appréciés dès le XIII-ème et jusqu'au XVI -ème siècle.

Les grandes roses des cathédrales sont des chefs d'œuvre d'élégance et de symétrie apparemment complexes mais remplies de rationalité imaginée par les bâtisseurs et tailleurs, dans un souci de standardisation des gabarits .

Mouchettes tournoyantes en spirales ou mouchettes fuselées, forment des ornements tourmentés et asymétriques qui apportent dans les baies, rosaces, et oculus, une dynamique aérienne de lumières dans les tracés des édifices d'architecture de style « Flamboyant ».

32 - Rosace à 3 mouchettes (flammes) :

- φ Sur une droite, tracer au compas avec une ouverture choisie, un segment AB ;
- φ En gardant la même ouverture, tracer le triangle équilatéral T1, en piquant sur les points A et B pour déterminer le troisième sommet C ;
- φ Tracer les médianes sur chacun des 3 côtés qui se coupent en O : centre du tracé (orthocentre du triangle T1), et les prolonger sur une bonne distance au-delà du point O ;
- φ Tracer le triangle équilatéral T2 inscrit dans le triangle T1 de sommets ABC en joignant les 3 points d'intersection de chaque médiane sur le côté du triangle ABC : ce sont les points D, E, F ;
- φ Tracer les trois cercles c1, c2, c3 en piquant sur chacun des sommets ABC , et réglant l'ouverture pour être tangent au chacun des côtés du triangle T2 ;
- φ Piquer sur un des sommets A, B C, et régler l'ouverture pour venir tangenter successivement chacun des cercles ci (i=1à3), situé du côté apposé sens horaire du point choisi, afin de tracer l'arc intérieur de la mouchette partant du point d'intersection de ce cercle avec le côté du triangle T1, jusqu'à proximité de la prolongation de la médiane ;
- φ Renouveler cela sur les 2 autres sommets ;
 - Les arcs intérieurs des 3 mouchettes sont tracés.
- φ Piquer au point O (centre du tracé), et régler le compas pour venir tangenter le diamètre extérieur des 3 cercles c1,c2,c3 ,et tracer successivement les 3 arcs de cercles qui sont les arcs extérieurs de la

mouchette , jusqu'à rejoindre chaque arc intérieur de chacune des mouchettes tracé précédemment ;

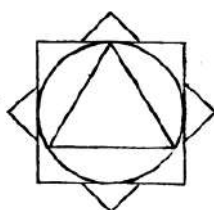
➤ Les flammèches de mouchettes sont avivées !

- φ Toujours en piquant en O et en réglant l'ouverture du compas à la distance esthétique choisie, tracer le cercle de contour extérieur de la rosace, en harmonie avec les contours des mouchettes.

NB : pour déterminer un tracé pour un gabarit de taille, incluant l'épaisseur de l'âme de la rosace, régler le compas pour tracer le diamètre d'ajour souhaité dans les mouchettes : pour cela piquer en O et régler d'ouverture sur le point de médiane D, E ou F des côtés du Triangle T2 ; tracer les 3 cercles d'ajour en piquant en A ,B puis C ; puis tracer les arcs de cercles intérieurs à chaque mouchette en tangentant l'arc intérieur et l'arc extérieur au cercle intérieur de mouchette , à partir de leur centre respectifs en répétant les deux opérations de tracés au compas faites précédemment(voir les trois avant derniers paragraphes φ).

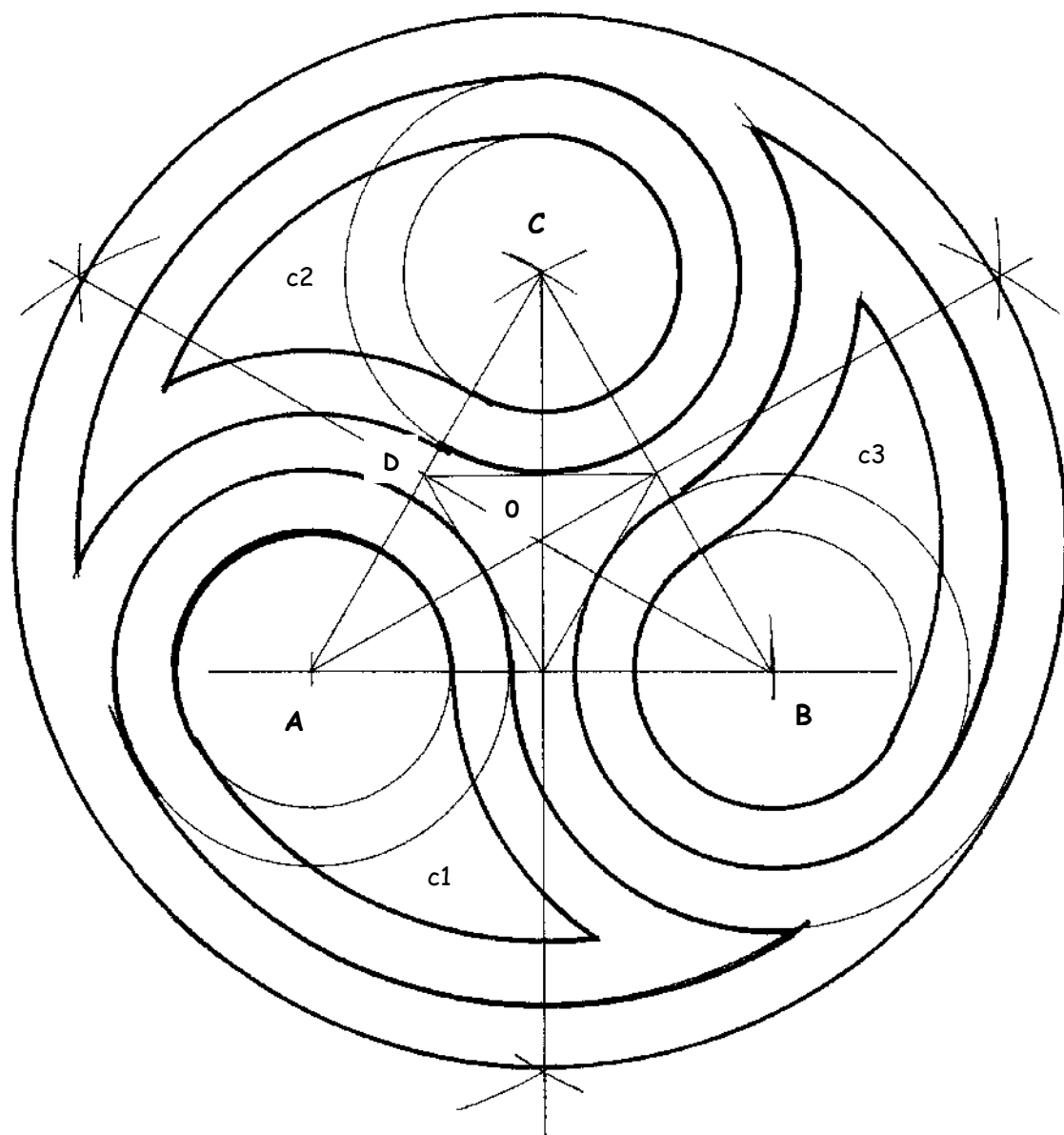
Bravo, la rosace est ornée de mouchettes tournoyant dans le sens horaire avec élégance ! Elle entraîne la lumière dans un rayonnement « dextrogyre ».

Et le tracé peut être construit avec un sens inversé pour les amateurs de flammes « lévogyres » !



- TRACE de ROSACES à MOUCHETTES -

32-



33- Oculus « quadrogival » ou quadrilobé :

Les bâtisseurs médiévaux ont été très prolifiques dans la production de formes d'oculi, très prisés dans les édifices religieux, en particulier à l'usage d'hagioscope ou « trou aux lépreux ».

Les formes utilisées rejoignent particulièrement celles définies dans les remplages de baies d'architecture « gothique flamboyant ».

Les formes de ce tracé ancien, se retrouvent parfois dans des édifices dès le XII-ème siècle.

Une particularité réside dans la définition du tracé des écoinçons :

- φ Sur une droite « d », fixer un segment A2 A4 (point A2 à droite) et tracer sa médiatrice « m » qui détermine le point C ;
- φ Piquer au point C et régler l'ouverture du compas sur le point A2, et tracer un cercle de diamètre A2A4 qui coupe la médiatrice « m » en A1 A3 ;
- φ Régler l'ouverture de compas sur le segment A1A2 et piquer le compas successivement en A1, A2, A3, A4 pour tracer les 4 arcs de cercles formant 4 ogives dans le cercle, et qui se coupent mutuellement aux points I1, I2, I3, I4 ;
- φ Tracer à la règle, le carré inscrit A1 A2 A3 A4 ;
- φ Tracer les diamètres passant respectivement par les points I2-I4 et I3-I1 ; ils coupent les côtés du carré en quatre points : T1, T2, T3, T4 ;
- φ Piquer en A1 et régler l'ouverture sur le point T4 (ou T3) et tracer deux arcs allant de T4 vers la droite « d » en la coupant en un point B4 ; de même en partant de T3, tracer l'arc qui va couper la droite « d » en un point B2 : ce sont les demi- arcs d'ogive fixant l'épaisseur du remplage ;
- φ Reproduire cela en piquant successivement en A2 A3 A4 ;
 - La forme « quadrogivale » est définie !

Tracé des écoinçons :

- φ Tracer le carré B1B2B3B4 ; chacun de ses 4 cotés coupe respectivement les 2 médianes du carré (portées par I1-I3 et I2-I4), en un point : les 4 points formés E3 F3 G3 H3 sont les centres des quatre écoinçons nommés E, F G H
- φ De même, chacun des 4 côtés du carré B1B2B3B4 coupe le cercle C en deux points : soit E1 et E2 pour l'écoinçon E, et de même pour les autres écoinçons : F1 et F2, G1 et G2, H1 et H2. Ces points délimitent les extrémités des arcs de chaque écoinçon ;

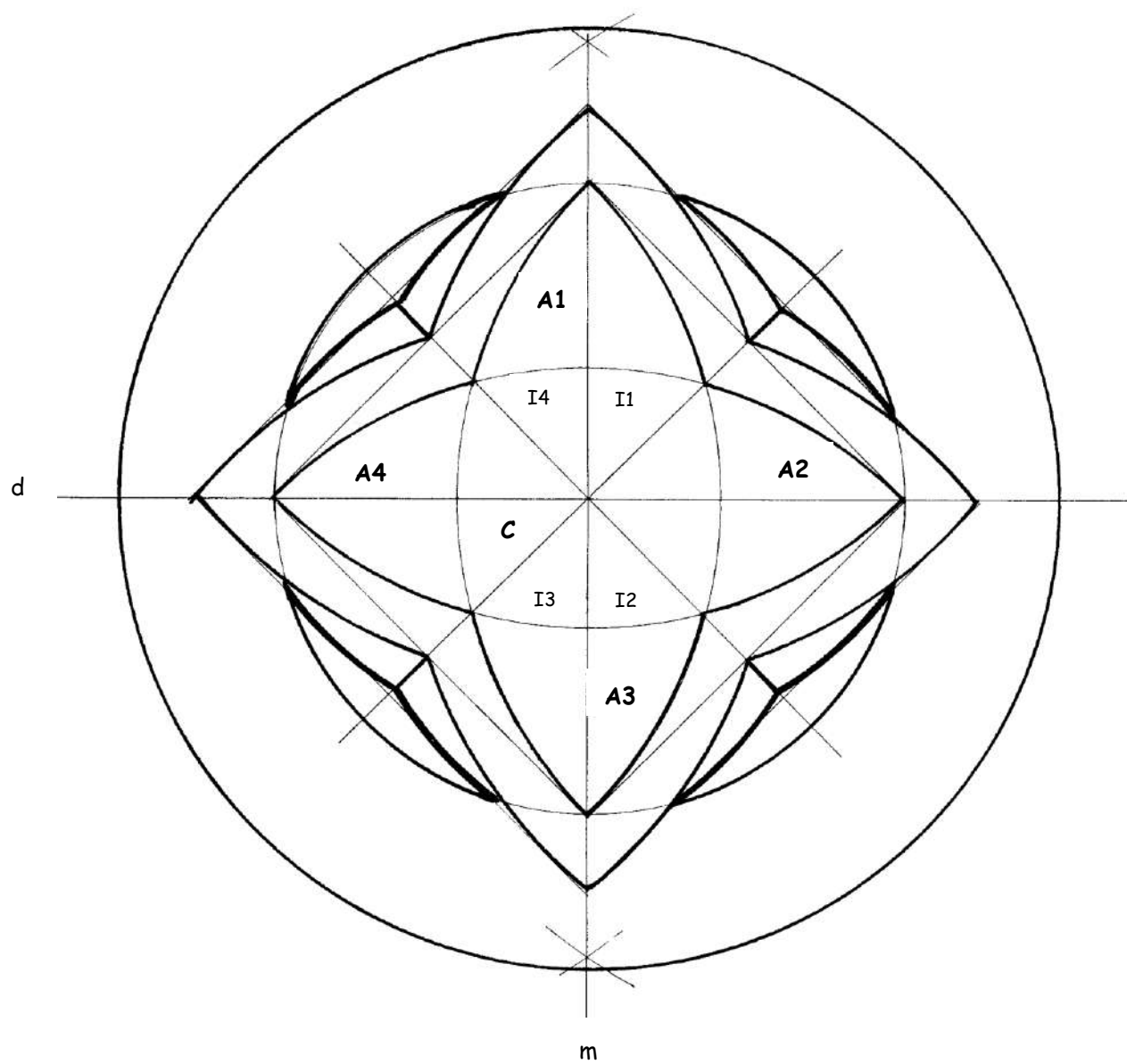
Pour tracer les arcs brisés intérieurs de chaque écoinçon, E3-E3-E2 par exemple, il est nécessaire de tracer les deux centres de chaque partie de l'arc brisé : l'intersection de l'arc A1 A3 avec la demi-droite C-B2 (partie de diamètre du cercle C coté A2) forme un point K1 : c'est le centre des arcs E1 E3 E2 !

➤ Et voilà un bel oculus pour passer un regard discret !

Nb : pour ne pas surcharger le tracé, les points (Ti,Bi,Fi,Gi,Hi) ne sont pas indiqués.

- TRACE d'OCULUS QUADRILOBE -

33-



34- Rose « penta-lancéolée » :

La construction d'une figure à cinq éléments procède bien souvent par le tracé préalable d'un pentagone dans lequel s'inscrit le tracé désiré.

La rose à 5 pétales en forme d'ogive, déploie une forme élégante qui n'est pas sans rappeler la superbe corole des étoiles égyptiennes. Elle porte parfois aussi la dénomination de Rosace Quintefeuille en langage héraldique ;

Une autre variante de tracé de pentagone est introduite en complément à celles vues à l'item 8.

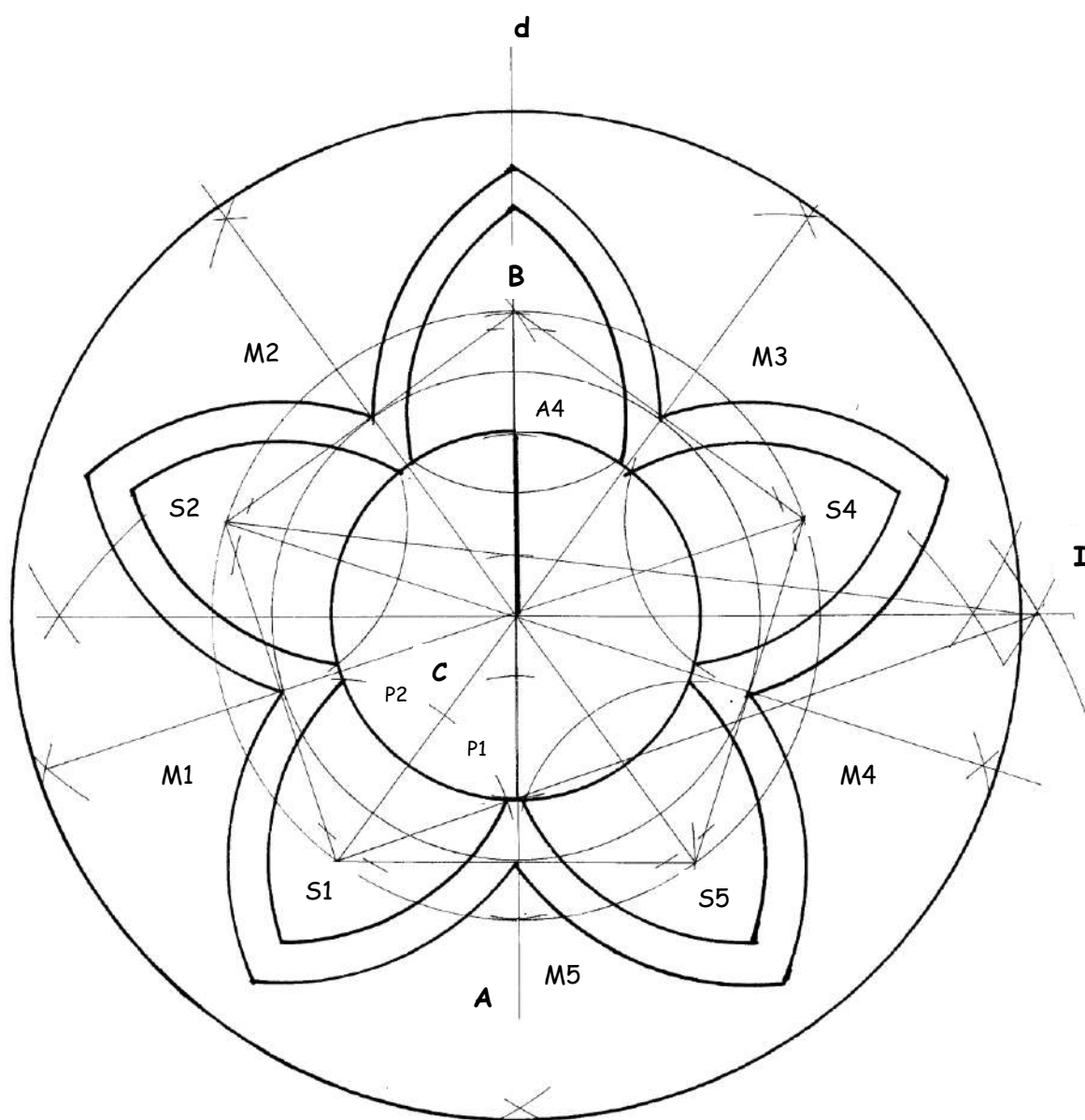
- φ Tracer un segment AB sur une droite « d », (verticale de préférence), en reportant 5 fois un module choisi (ou utiliser la division d'un segment en 5 sous -segments par la méthode de la herse) ; soit A1 A2 A3 A4 les points de division ;
- φ Tracer la médiatrice (horizontale) de ce segment le coupant au point C (milieu);
- φ Tracer le cercle C passant par les points A et B ;
- φ Piquer successivement en A et en B avec une ouverture égale au diamètre du cercle C (donc égale au segment AB), et tracer deux arcs de cercle du même côté à droite de « d » ; ces arcs se coupent en un point I, qui est le sommet d'une ogive équilatérale couchée ; ce point I est le centre du faisceau rayonnant de détermination de sommets du pentagone recherché ;
- φ Depuis le sommet I, tracer successivement les droites passant par chacun des points A1 et A3 ; elles viennent couper la circonférence du cercle C, en deux points S1 et S2 : ce sont deux sommets consécutifs du Pentagone, le point B étant le 3eme.
- φ Reporter l'ouverture du compas réglée sur le segment S1S2, et piquer successivement en B et en S1 : les deux points d'intersection avec le cercle C sont les 4eme et 5eme sommets S3 et S4 du Pentagone.

Le pentagone de la rose étant défini, il est nécessaire de tracer les éléments géométriques esquissant les contours des pétales ogivaux :

- φ Tracer le cercle inscrit dans le pentagone S1-S2-B-S3-S4, en traçant les médiatrices (une seule suffit mais les autres seront utiles ultérieurement) de chaque côté ; elles coupent les cotés en leur milieu, M1 M2, M3, M4 et M5 ; le rayon du cercle inscrit est fixé par l'ouverture CM1 par exemple, en ayant piqué en C ;
- φ Tracer le contour extérieur des pétales en piquant successivement en M1, M2, M3, M4, M5, avec une ouverture M1-M2 : tracer 2 arcs de cercle de part et d'autre de chaque point Mi (i de 1 à 4) ; ces arcs se coupent entre eux deux à deux et forment les 5 ogives extérieures des 5 pétales, les points Mi étant les naissances des ogives externes des pétales.

-TRACE de ROSE « PENTA- LANCEOLEE » -

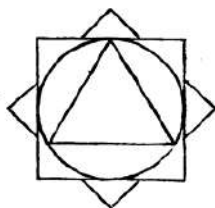
34-



Maintenant, donner de l'épaisseur au tracé des pétales par les étapes suivantes :

- φ Tracer le cercle ayant pour centre C en réglant l'ouverture du compas sur le segment $C-A4$; ce cercle va porter les naissances des ogives intérieures ; encore faut-il trouver les points !
- φ Piquer en chaque sommet $S1, S2, B, S4, S5$ avec le compas réglé à l'ouverture du segment $M1S1$ par exemple, et tracer l'arc de cercle dans la partie interne du pentagone délimitée par $M1M2$: cet arc coupe le cercle de rayon $C-A4$ en deux points $P1$ et $P2$: ce sont les naissances des arcs de l'ogive intérieure du pétale autour de $S1$; répéter cette construction sur les quatre autres points S_i : ainsi tous les points de naissances P_i ($i= 1$ à 10) sont définis ;
- φ Pour tracer l'ogive intérieure de chaque pétale, piquer successivement en $M1, M2, M3, M4, M5$, avec l'ouverture de compas réglée sur le segment M_iP_i , et tracer les 10 arcs de demi-ogives intérieures de pétales.

- La rose penta-lancéolée déploie toute sa grâce et peut être, son parfum ... de géométrie !



35- Rosace quadrilobée :

C'est une figure caractéristique d'ornement du style gothique ; elle orne les ajours de balustrade et les remplages de baies.

Première séquence : le quadrilobe de base :

- φ Tracer sur une droite « d » le cercle de base de la rosace de centre O et de rayon choisi ; ce cercle coupe la droite D en deux points I2 et I4 ;
- φ Piquer en I2 et I4 avec l'ouverture de compas au diamètre du cercle de base, et tracer deux fois deux arc de cercle qui se coupent de part et d'autre de la droite « d » : les points définis portent la médiatrice du diamètre I2 I4 :
- φ Tracer la droite « d' » passant par ces points ; elle coupe le cercle de base, en 2 points I1 et I3 ;
- φ Régler l'ouverture de compas sur celle du rayon du cercle de base, tracer les cercles en piquant aux points I1, I2, I3, I4 : ils se coupent en 4 points qui sont les sommets du carré circonscrit au cercle de base ; tracer ce carré ABCD:
- Le quadrilobe de base est défini.

Deuxième séquence : les ajours de remplage ;

Il est nécessaire de donner de l'épaisseur de matière au tracé de base ;

- φ Piquer en A avec une ouverture de compas réglée sur le côté du carré AB, et tracer un arc de cercle sur la droite « d » qui définit le point R1 ; (on peut vérifier le tracé en renouvelant cette opération au point B : si l'arc coupe la droite au même point, tout est bien !)
- φ Piquer en R1 ; et tracer l'arc de cercle passant par les sommets A, et B du carré ;
- φ Reproduire ce tracé sur les trois autres cotés ; les arcs de cercles définis se coupent en 4 lentilles situées sur les diagonales du carré ABCD ;
- φ Tracer les 2 droites qui tangentent les lentilles tout en étant parallèles à la diagonale AC ; reproduire ce tracé de deux droites parallèles tangentés à la lentille pour la diagonale BD : ce sont les couloirs d'épaisseur de la zone des 4 extrémités des quadrilobes.
- φ Tracer le carré inscrit reliant les sommets I1 I2 I3 I4 ; il coupe les diagonales AC et BD, dans la zone du couloir en H1 H2 H3 H4 et K1 K2 K3 K4 ;
- φ Tracer le cercle de centre O et de rayon OH1 par exemple, il délimite les extrémités des zones de raccordement des quadrilobes ;
- φ Tracer 4 cercles de rayon OKi, et en piquant en I1, I2 I3 et I4, et en limitant leur circonférence aux points K1 H1, K2 H2 K3 H3 K4 H4 :
- Le diamètre de l'ajour est défini pour l'intérieur de chaque lobe !

Toujours dans cette séquence, la largeur de l'extérieur de chaque lobe est définie par :

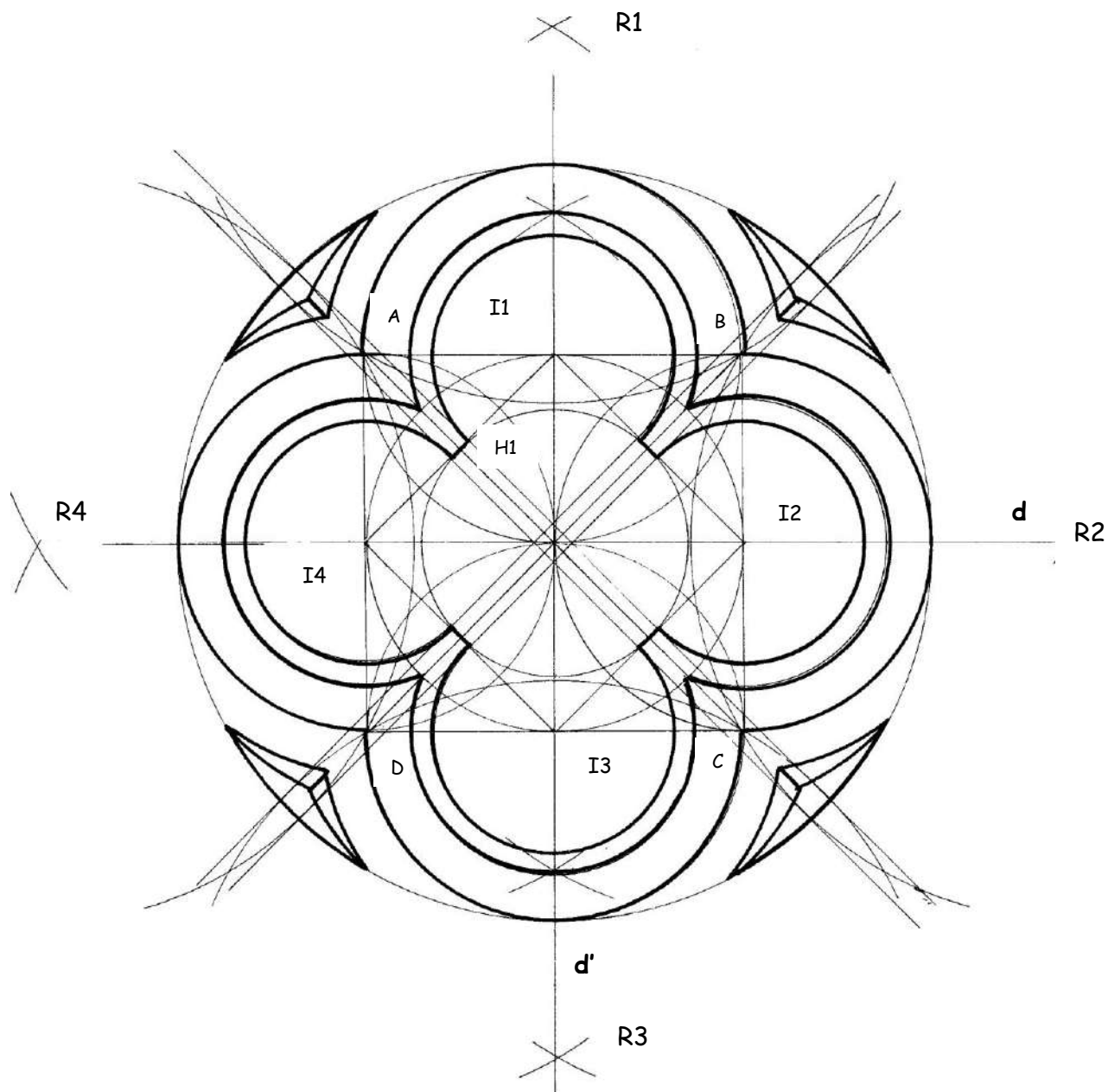
- φ Piquer en l'un des quatre point I_i ($i=1\text{à}4$), et régler l'ouverture sur l'intersection du cercle de base avec l'une des diagonales, et tracer l'arc de cercle partant de ce point et arrivant au point diamétralement opposé par rapport au point I_i choisi ; reproduire 3 autres fois ce tracé.
- La largeur du listel des lobes est tracée !

Pour l'Ecoinçon :

- φ Tracer le cercle de centre O en ayant réglé l'ouverture sur le côté du carré (AB par exemple) : c'est le cercle E extérieur à la rosace tangent à chaque lobe de la rosace ;
 - φ Pour tracer les demi-arcs **inférieurs** de l'écoinçon, piquer en I_i (i choisi entre 1 et 4), régler l'ouverture du compas sur, le point d'intersection du cercle intérieur avec soit la droite « d' » soit avec la droite « d » suivant le point I choisi ; tracer l'arc qui débute sur le cercle extérieur E, et s'arrête sur la diagonale ad hoc du grand carré ; reproduire cela encore 7 fois sur les points I_i ,afin de dessiner les vés inférieurs des écoinçons ;
 - φ Pour tracer l'arc **extérieur** de chaque écoinçon, qui est porté par le cercle E tangent à l'extérieur de chaque lobe ; tracer le morceau d'arc extérieur qui est limité par les deux points définis sur le cercle E lors du tracé précédant pour les arcs inférieurs, en ayant piqué en O ;
 - φ Piquer sur le cercle intérieur au point d'intersection avec la droite « d » (ou d' suivant l'écoinçon à tracer) , et régler l'ouverture sur le point de début de l'arc de l'écoinçons situé sur la portion de cercle circonscrit aux lobes ; avec ce rayon tracer la **demi arête de fond** de chaque écoinçon qui se limite à la diagonale située dans le « couloir de chaque lentille » ;
 - φ Tracer sur la portion de diagonale de chaque écoinçon, le petit segment qui détermine l'arête de raccordement du bas de cavet avec l'arête de fond de l'écoinçon ; à faire 4 fois !
- A ce stade, quatre écoinçons élégants sont prêts pour orner le contour de la rosace quadrilobée. Bravo pour cette réussite !

-TRACE de ROSACE QUADRILOBEE -

35-



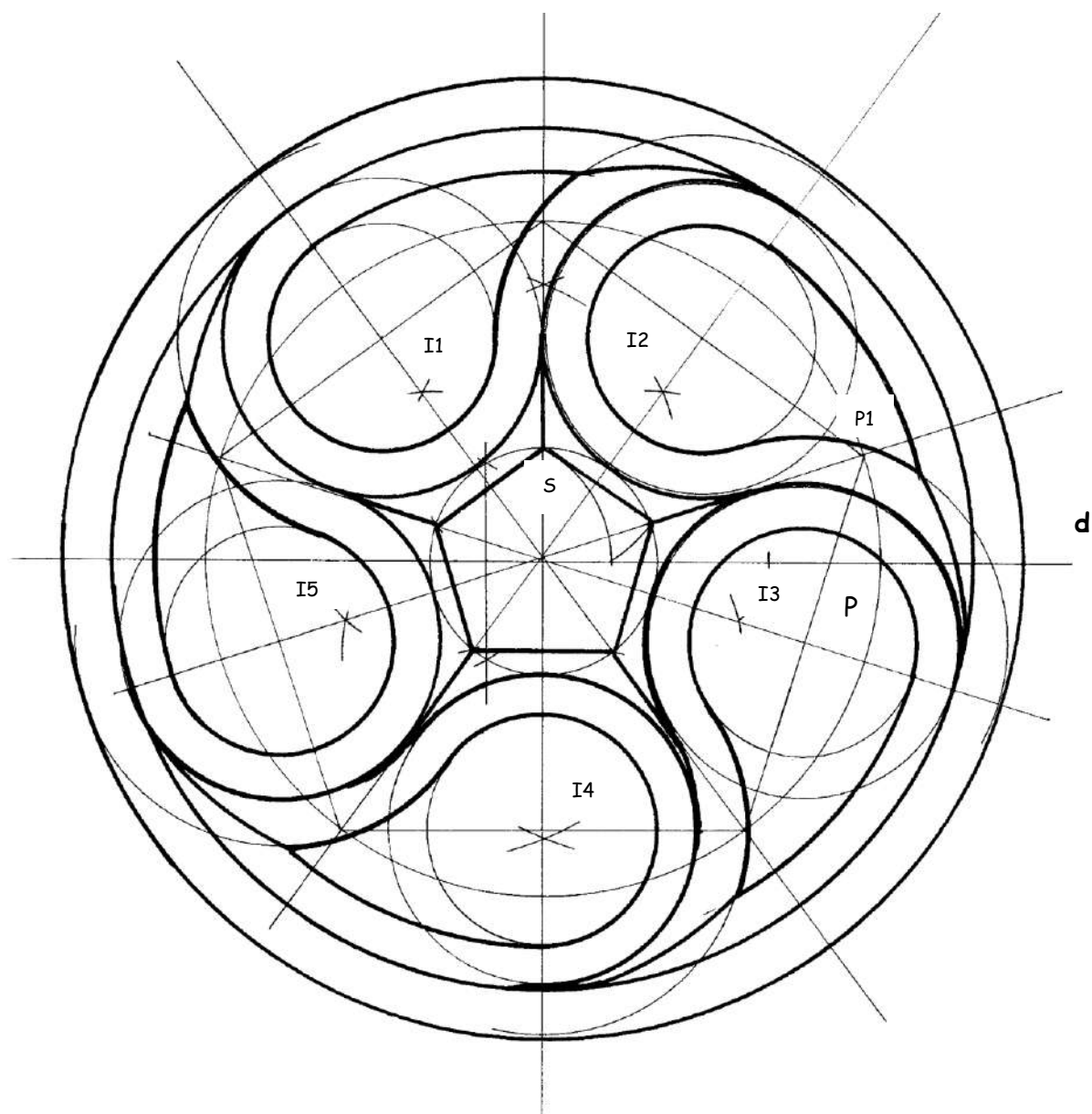
36- Rosace à 5 mouchettes tournoyantes (flammes) :

Cette figure est familière des tracés de remplages composant les tympans de baies ornées de vitraux dans les édifices religieux au XVème.

- φ Sur une droite « d », piquer un point O et tracer un cercle « de cœur » d'un rayon choisi qui coupe cette droite « d » en deux points ;
- φ Tracer la perpendiculaire à « d » passant pas O en piquant le compas avec l'ouverture réglée sur le diamètre du cercle, successivement aux deux points d'intersection ci-dessus ; les arcs tracés se coupent en deux points qui portent la perpendiculaire cherchée ; elle coupe le cercle en S ;
- φ Tracer le pentagone inscrit dans ce cercle (ou voir au 8.1) en piquant le compas avec une ouverture réglée à son rayon, sur un de ces deux points d'intersection du cercle et de la droite pour tracer la médiatrice en H du rayon porté par la droite ; piquer en H, régler l'ouverture sur le point S d'intersection du cercle avec la droite verticale , et reporter cette ouverture en piquant en S pour tracer un arc de cercle qui coupe le rayon porté par la droite « d » en un point K ; (S sera le premier sommet du pentagone)
- φ Toujours piqué en S, régler l'ouverture du compas sur le point K et remonter un arc de cercle qui vient couper le cercle en 2 points : S1 et S4 : les segments S-S1 et S-S4 sont deux côtés du pentagone ;
- φ Régler le compas sur le segment S-S1 par exemple, et piquer successivement en S1 et S4 pour tracer les arcs qui coupent le cercle respectivement en S2 et S3 ;
 - S S1 S2 S3 S4 forment le pentagone de cœur du tracé !
- φ Tracer les 5 médiatrices sur chaque côté du pentagone en les prolongeant bien au-delà du pentagone de cœur ;
- φ A partir de O, reporter trois fois le rayon du « cercle de cœur » sur la droite « d », cela détermine un point P ;
- φ Tracer le cercle de centre O et de rayon OP ; il coupe les 5 médiatrices du pentagone de cœur prolongées au-delà de chaque sommet, en 5 points P1 P2 P3 P4 P5 ;
- φ Tracer le pentagone inscrit en reliant les points P1 P2 P3 P4 P5 ; c'est le pentagone « d'enceinte » de la rosace
- φ Les médiatrices du pentagone de cœur coupent les cinq côtés du pentagone d'enceinte en 5 points I1 I2 I3 I4 I5 ; cette famille de points s'appelle Ii par la suite (i de 1 à 5).

-TRACE de ROSACE à CINQ FLAMMES -

36.



Tracé des mouchettes tournoyantes :

- φ En chaque point I_i situés au milieu des côtés du pentagone d'enceinte, tracer un cercle de rayon égale au cercle de base ;
- φ Toujours sur chaque point I_i , ajuster l'ouverture du compas au point de tangence avec le cercle de base, situé sur chaque médiatrice, et tracer un cercle, il délimite l'extérieur de chaque mouchette au point de tangence chacune avec l'autre : c'est le cercle de tête de la mouchette.
- φ Tracer l'arc intérieur de la mouchette en piquant en I_i , et ajuster le rayon sur le point de tangence du cercle extérieur juxtaposé coté « sens antihoraire » (vers la gauche) ; tracer l'arc intérieur de la mouchette jusqu'au-delà de la droite de sommet.
- φ Piquer en O , et ajuster l'ouverture sur le point de tangence du cercle extérieur de la mouchette (point d'intersection du cercle et de la médiatrice passant par les points I_i) : tracer l'arc de cercle jusqu'à rencontrer l'arc intérieur : l'arc extérieur de la mouchette est défini ;
- φ Reproduire 5 fois cela pour avoir le tracé des ajours des 5 flammes tournoyantes entraînant la lumière qui les traverse dans le sens « lévogyre ».

Pour donner de l'épaisseur au remplage de la rosace, et permettre de préciser le tracé d'un taillage :

- φ Piquer en O et tracer le cercle externe aux mouchettes en réglant l'ouverture sur le point de tangence des 5 cercles des mouchettes ;
- φ Tracer le cercle de l'enceinte extérieure de la rosace en piquant toujours en O avec un rayon d'ouverture correspondant l'épaisseur du remplage extérieur choisi ;
- φ Tracer les arêtes de fond du remplage de chaque extrémité des flammes, piquant le compas successivement aux sommets du pentagone de cœur, et en réglant l'ouverture au point de jonction des arcs intérieur et extérieur de la flamme la plus proche à gauche, tracer l'arête de fond qui rejoint le point de tangence avec le cercle extérieur. Répéter 5 fois ce tracé pour chaque flamme ;
- φ Tracer les arêtes de fond qui rejoignent chaque sommet du pentagone de cœur avec chaque point de tangence des cercles extérieurs de tête de mouchette ;

NB : une variante de tracé du pentagone de cœur consiste à transformer les segments de droite formant chaque côté de ce pentagone, en arc de cercle ... (Le taillage permet de se rapprocher de la géométrie ... hyperbolique !)

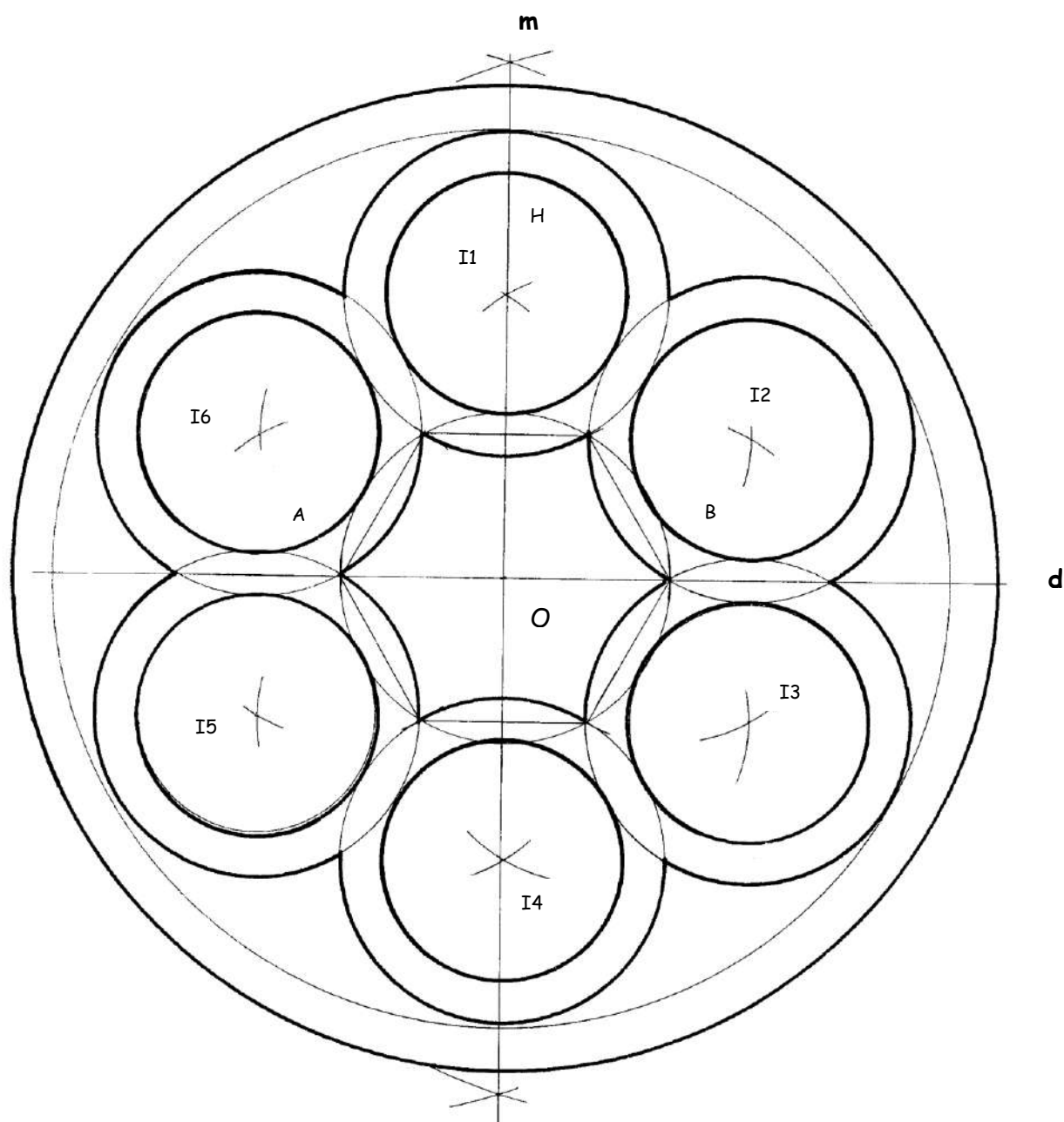
37- Rosace hexa-lobée :

- φ Sur une droite « d » tracer un segment AB choisi pour être la diagonale du futur hexagone de cœur ;
- φ Piquer successivement en A puis en B avec une ouverture supérieure au segment AB et tracer la médiatrice « m » de ce segment avec les 4 arcs qui se coupent de part et d'autre de la droite « d » ; tracer la médiatrice qui coupe « d » au point O : c'est le centre de la rosace.
- φ Tracer le cercle de rayon OA, et de centre O, puis avec la même ouverture, piquer en A ou B pour réaliser la division de la circonférence du cercle en 6 segments d'arc ;
- φ Joindre les 6 points de la circonférence consécutivement : l'hexagone de cœur est tracé sur sa base.
- φ Piquer successivement sur les 6 sommets de l'hexagone avec le compas réglé à l'ouverture égale au rayon AO du cercle de base ; et tracer sur chacun deux arcs de cercle (soit 12 au total) qui vont se couper deux à deux en 6 points Ii (i allant de 1 à 6) : ce sont les 6 points de centre des lobes.
- φ Toujours avec l'ouverture du compas sur le rayon du cercle de base tracer en chacun des points Ii, les 6 cercles de couronne ; ils sont séquentiels deux à deux ; le cercle situé sur la médiatrice « m » la coupe en son sommet au point H ;
- φ Tracer le cercle circonscrit aux 6 cercles de couronne, en piquant le compas en O et ajuster l'ouverture sur le point H ;
- φ Tracer les cercles des ajours en piquant successivement aux points Ii, avec une ouverture réglée sur point de tangence avec le cercle de base, ce point est matérialisé par l'intersection avec la droite « d ».
 - La rosace guide les rayons de lumière de l'astre céleste au travers de ses lobes dansant autour de l'hexagone

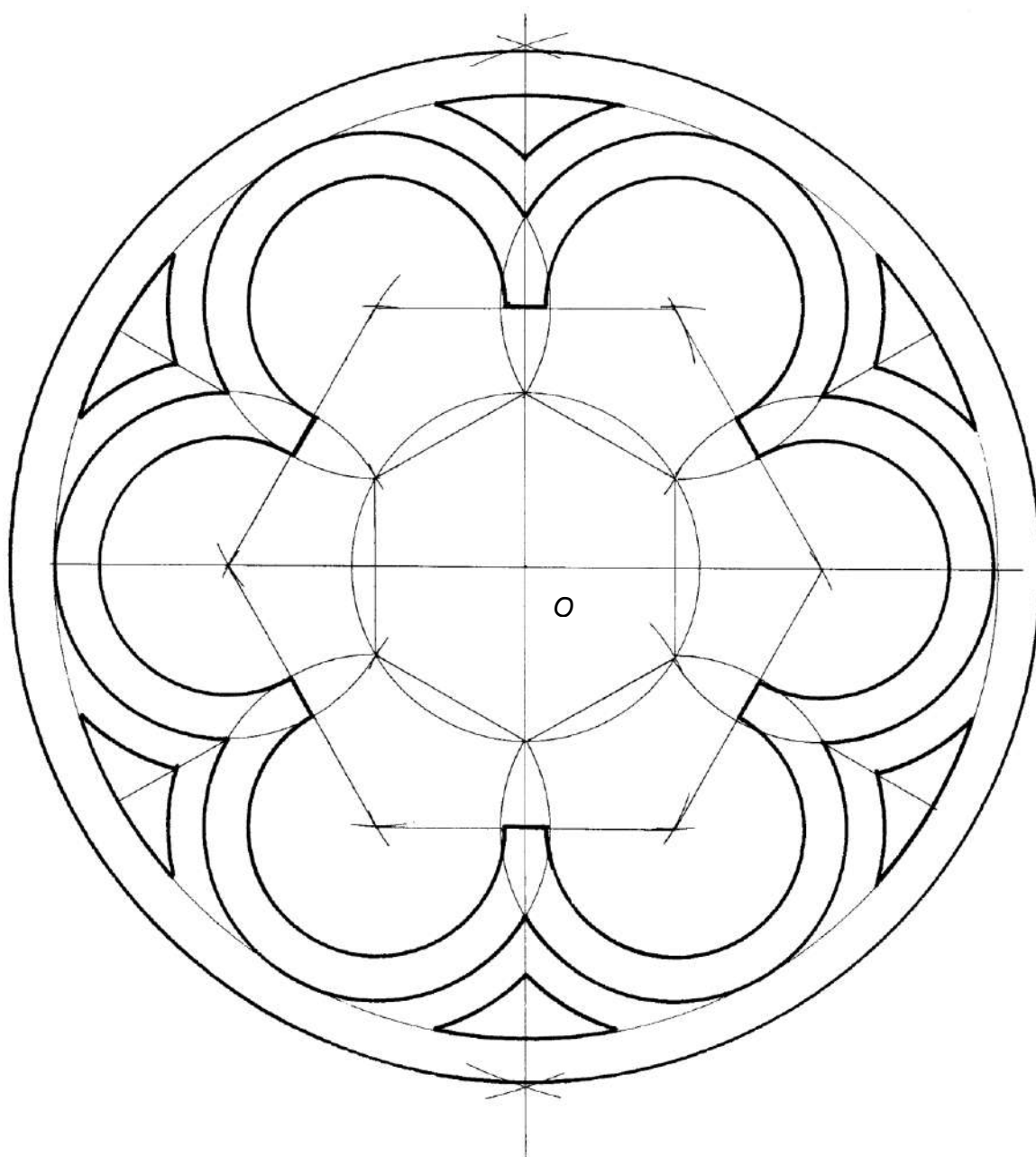
NB : la variante avec le cœur ajouré s'obtient grâce au tracé de 6 lobes partiels : pour cela, joindre les centres des lobes pour tracer l'hexagone ; chacun des cotés coupe les cercles des lobes à la section où les contours sont interrompus (redents). Dans cette variante, l'hexagone de cœur est construit « posé » sur la pointe d'un sommet. Sur cette variante, le tracé des arêtes intérieures d'écoinçons sont réalisés par des arcs centrés sur les centres des lobes, et sur le centre du cercle de cœur. Ce type de rosace orne particulièrement certaines baies de la cathédrale « Saint Etienne » de Metz.

-TRACE de ROSACE HEXALOBEE-

37-



37Bis- -TRACE de ROSACE HEXALOBEE -
(cœur ajouré)



37 TER - Rosace cistercienne à cercles :

Au XII^{ème} siècle, les bâtisseurs cisterciens ont marqué la transition entre le roman et le flamboyant ; la rosace à cercles est un témoin de cette évolution.

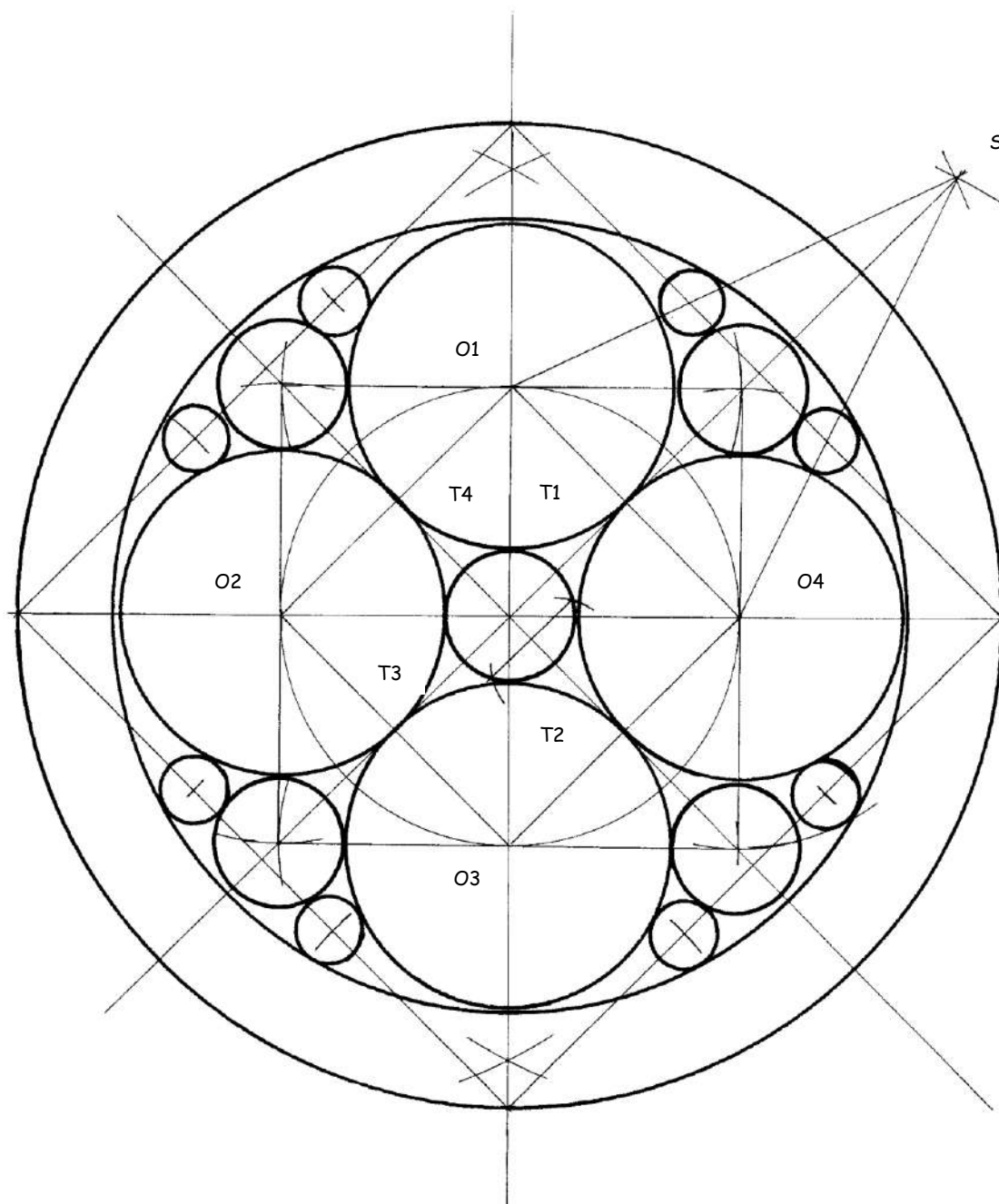
- φ Tracer deux droites perpendiculaires au point de centre O, et tracer le cercle de base au diamètre choisi ; il coupe les droites en 4 points O1,O2,O3,O4 représentant les sommets d'un carré inscrit, posé sur la pointe ;
- φ Tracer les médiatrices des côtés deux à deux qui coupent les côtés du carré en 4 points : T1, T2, T3, T4 ;
- φ Piquer sur le sommet O1, avec une ouverture réglée sur le demi-côté du carré O1, T2 par exemple, et tracer le cercle d'ajour ; reproduire ce tracé sur les 3 autres sommets ;
- φ Avec le compas réglé à une ouverture égale au rayon du cercle de base, piquer successivement sur chaque point O1,O2,O3,O4 et tracer les arcs qui viennent couper les médiatrices des côtés du carré inscrit ; les 4 points déterminés O5, O6, O7, O8 sont les sommets du carré circonscrit au cercle de base ;
- φ Piquer en O et régler l'ouverture pour venir tangenter les 4 cercles d'ajours : tracer le cercle de cœur de la rosace ; avec la même ouverture de compas, piquer sur les 4 sommets O5 à O8 du carré circonscrit, et tracer les 4 cercles tangents deux à deux aux cercles d'ajours.

Tracé des 8 cercles d'écoinçons :

- φ Position des centres : le compas étant réglé sur l'ouverture égale au segment T1 O6 par exemple (point de tangence de 2 cercles d'ajours et point de centre du cercle d'ajour opposé) , piquer au centre O et tracer les arcs de cercles qui coupent les droites perpendiculaires en O , en quatre points A,B,C,D : tracer les côtés de ce nouveau carré ; toujours avec la même ouverture , piquer en O1 et tracer l'arc de cercle côté extérieur, reproduire cela sur le sommet adjacent O4 : le point d'intersection est le sommet S du triangle O1 O4 : les points d'intersections avec le côté AB du carré donne les 2 points de centre des petits cercles d'écoinçons .
 - φ Le diamètre de ces cercles est égal au rayon des cercles tracés précédemment, ou au rayon du cercle de cœur. Donc le rayon des cercles d'écoinçons est obtenu en divisant en 2 le rayon du cercle de cœur (un coup de compas !) ; tracer les 8 cercles d'écoinçons sur les points déterminés précédemment.
- Ce tracé de rosace se retrouve à l'Abbaye cistercienne des Vaux de Cernay.

- TRACE de ROSACE CISTERCIENNE XIIème -

37 TER



H- Tracés de la Bauhütte XIII à XVIème siècle

(Hans Hösch 1472 & Mathias Roriczer 1486).

Sans vouloir piocher dans l'œuvre monumentale du « Maître » « Eugène Viollet-le-Duc », il est intéressant de découvrir certains tracés de bâtisseurs qui ont été échangés puis consignés à partir du XIII siècle au sein des loges de métiers rassemblés dans les Bauhütte du Saint Empire Germanique.

Grâce aux échanges oraux organisés par les Maîtres et Parliers (Appareilleurs) dans la salle prévue pour cela, certains de leurs tracés furent reproduits sur des parchemins.

Strasbourg fut la première Bauhütte, qui d'ailleurs, au XIIIème siècle, avait reçu l'aide de tailleurs venus de France, pour renouveler sa cathédrale, merveille de finesse d'une architecture gothique ... provenant de France !

38- La clef de savoir de la Bauhütte :

Le tracé qui suit est une traduction du message que les maîtres de la Bauhütte prononçaient lors des nominations aux titres de compagnons. Au-delà du rituel, ce dicton porte bien les fondamentaux nécessaires à la transmission de connaissances des tracés à l'usage des Bâtisseurs : appareilleurs & tailleurs.

*Ein Punkt, der in den Zirkel geht,
Der, im Quadrat und Triangel steht,
Kennst du den Punkt, so ist es gut,
Kennst du ihm nit, So ist es umsonst.*

*Un Point qui va dans le cercle,
Qui se tient dans le carré et le triangle,
Connais-tu le point, alors tout est bien,
Ne le connais-tu pas alors tout est vain.*

φ « Ein Punkt, der in den Zirkel geht, » (Un Point qui va dans le cercle) :

- Soit tracer un cercle de centre le Point O choisi, et le rayon réglé par l'ouverture du compas à une valeur « R » choisie ; ou...
- Soit retrouver le centre d'un cercle en traçant deux cordes successives non parallèles, et leur médiatrice respective : les deux médiatrices se coupent au Point O cherché !

Ce cercle est le cercle de base.

φ « Der, im Quadrat und Triangel steht, » (Qui se tient dans le Carré et dans le Triangle) :

Comment trouver le carré :

- Avec la même ouverture de compas « R », on trace un cercle en piquant à partir d'un point choisi sur la circonférence du cercle de base, puis successivement par report de l'ouverture de compas « R », tracer les 5 autres cercles (NB : la division du cercle par

ces 6 points de centres définissent un hexagone inscrit) ; soit 1,2 ,3,4,5 ,6 ces cercles qui passent tous par le Point O ;

- Les cercles 2 et 3 se coupent en un point A ; les cercles 5 et 6 se coupent en un point B ;

Relier les points A et B par une droite qui passe aussi par le Point O : cette droite coupe la circonférence du cercle de base en 2 points appelés C et D (au passage, le diamètre CD du cercle est tracé) ; et c'est aussi le tracé de la médiatrice sur un diamètre passant par les centres 1 et 4, donc de façon induite, de la perpendiculaire au diamètre reliant les points de centre 1 et 4)

- Piquer en C toujours avec la même ouverture de compas et tracer le cercle correspondant à ce point C, il coupe le cercle 1 et le cercle 4 respectivement en deux points E et F : ce sont les deux premiers sommets du carré recherché ayant pour centre de diagonales ... le Point O ; il est circonscrit au cercle de base.
- Piquer en D toujours avec la même ouverture de compas et tracer le cercle correspondant à ce point D, il coupe le cercle 1 et le cercle 4 respectivement en deux points G et H : ce sont les deux autres sommets du **carré recherché** EFGH dans lequel le cercle de base est inscrit !

Comment trouver le Triangle :

- Premier tracé : relier les points de centre 1, 3 et 5 positionnés sur le cercle de base :
 - C'est le **triangle équilatéral inscrit** dans le cercle de base ayant pour centre le Point O (il est aussi le point de rencontre des médiatrices de ses cotés).
- Deuxième tracé : le côté du carré FG est la base d'un triangle équilatéral ; Piquer au point F avec le compas réglé à l'ouverture FG ,qui est le côté du carré ; tracer l'arc partant de G vers l'intérieur du carré ; reproduire cela au point G ; les deux arcs tracés se coupent en un point S qui est le sommet du :

Triangle équilatéral posé dans le carré,

 dans lequel le cercle de base coupe les deux côtés en deux points ; un de ces 2 points, avec le milieu de la base du triangle, forment le module égal au côté du pentagone inscrit !

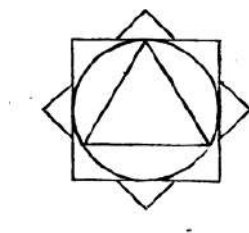
NB 1: cette construction ouvre une multitude de clefs de tracés !

Pour ne citer que :

- le double carré, formé avec deux triangles de Bâisseurs ;(voir au 7.1).
- en traçant les diagonales du carré, le cercle de base porte les sommets de l'octogone ;
- dans le cas du triangle équilatéral dont sa base est portée par le côté du carré, l'heptagone inscrit peut être défini. (Voir au §10.2) ;
- Le triangle équilatéral circonscrit au cercle de base ; chacun de ses cotés est le double de longueur de chaque côté du triangle inscrit dans le cercle de base.
- et d'autres découvertes ...

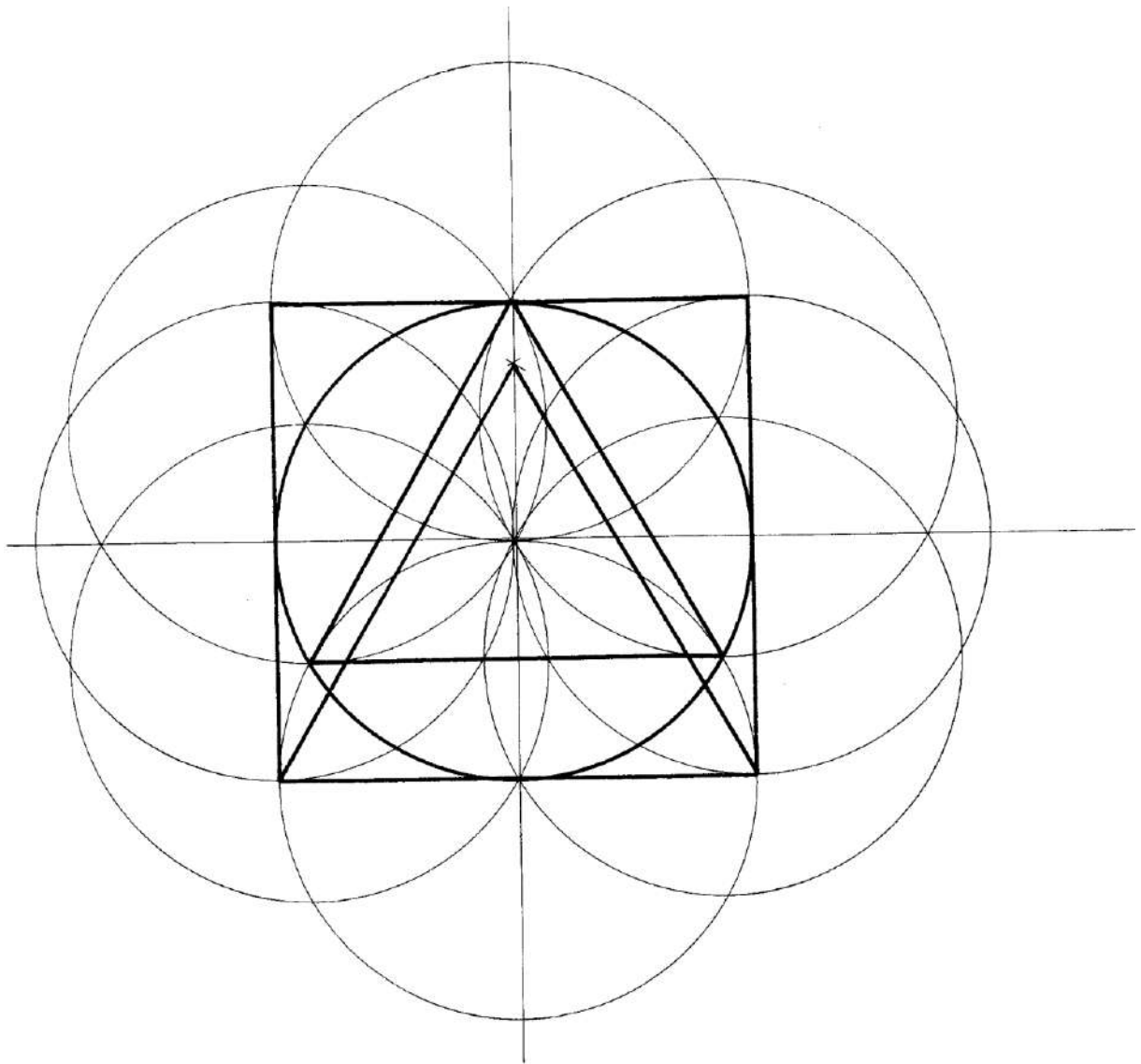
NB2 : la figure au Tracé 38 est volontairement muette afin que la découverte du tracé s'opère avec un minimum de recherche !

NB3 : la figurine répétitive ci-dessous est le trait figuratif et très opératif, du symbole de la passation de la clef de la Bauhütte .



-TRACE du DICTON de la BAUHÜTTE-

38-



39- L'heptagone par Hans Hösch de Gmund :

Une façon simple de tracer un heptagone, dont la géométrie se retrouve fréquemment dans les chevets d'édifice religieux, pour sa moitié.

- φ Tracer au compas un cercle de centre *C*, et de rayon « *R* » choisi ;
- φ Avec la même ouverture de compas, piquer en un point *A* et tracer un arc de cercle comme pour débiter une division de la circonférence en 6 arcs ; Cet arc coupe la circonférence du cercle en un point *B* ;
- φ Tracer la corde en reliant les points *A* et *B* ;
- φ Tracer la médiatrice de cette corde *AB* issue du point *C* ; elle coupe la corde *AB* en un point *D* ;
- φ Régler l'ouverture de compas sur le segment *CD* ; piquer en *B*, et reporter l'arc du compas sur la circonférence du cercle, pour obtenir le premier point de division de cette circonférence en 7 parties ;
- φ Reporter 3 fois ce tracé en partant de *A*, et faire de même en partant de *B*. Les derniers arcs tracés se rejoignent en un point en face de *D*.

➤ Les 7 sommets de l'Heptagone sont définis !

NB1 : ce tracé est bien dans l'esprit des Bâisseurs : rapide, et efficace ; mais pas forcément d'une rigueur mathématique absolue !

NB2 : le tracé de polygone régulier à 14 côtés, nommé tétradécagone, dérive directement de ce tracé ; il a été utilisé, par moitié, pour donner les proportions de chevets d'édifices religieux.

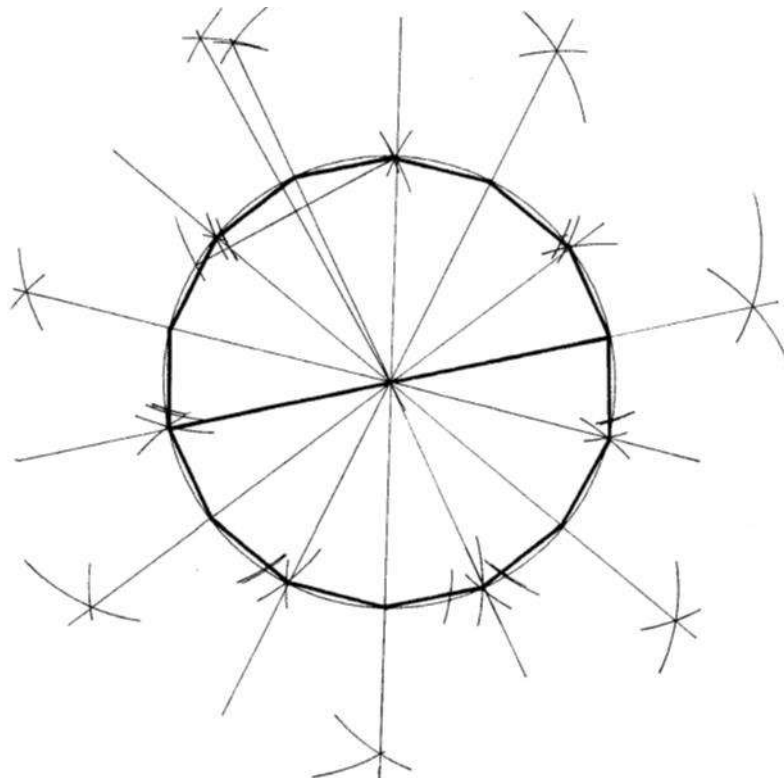
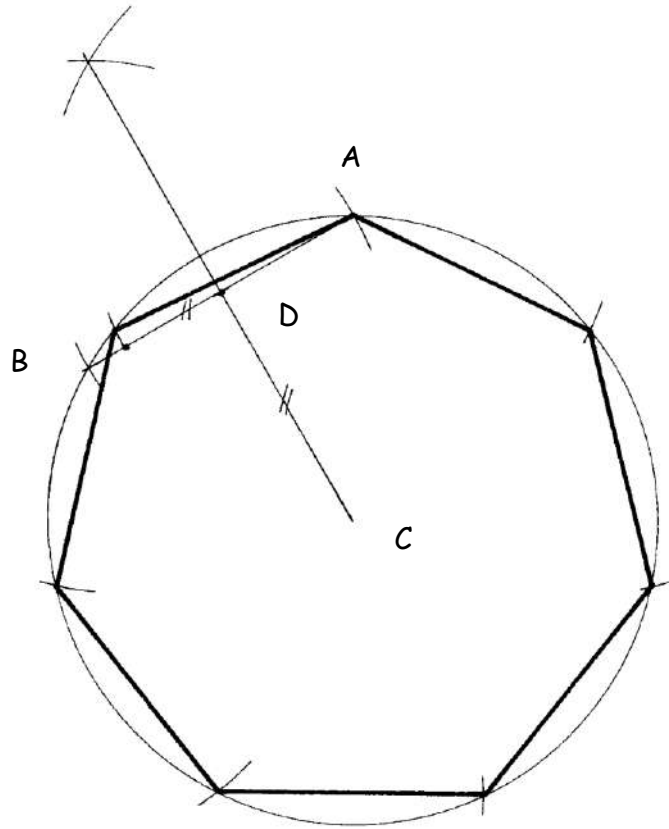
- φ Tracer les 7 médiatrices de chaque côté, issues du centre *C*, et qui coupent le cercle en 7 points ;
- φ Relier chacun des sommets de l'heptagone à ces points.

Le tétradécagone se trace aussi par la méthode 9/4 :

- φ Diviser le rayon du cercle en 9 segments ou modules (voir au 15) ;
- φ Piquer le compas sur le point à l'extrémité du rayon sur la circonférence et régler l'ouverture à 4 modules ;
- φ Reporter l'arc sur la circonférence : la corde de cet arc est le côté du tétradécagone.

-TRACE de l'HEPTAGONE par la BAUHÜTTE-

39-



40- L'Octogone par Hans Hösch de Gmund :

Cette figure à 8 côtés égaux, est un basique d'un des réseaux de tracés utilisés par la Bauhütte : la quadrature. Son tracé est simple et efficace.

- φ Tracer un cercle dans lequel l'octogone recherché sera inscrit ; puis avec la même ouverture de compas, diviser la circonférence en 6 points en reportant 6 fois cette même ouverture du compas ;
- φ Tracer une droite qui passe par le diamètre défini par deux points opposés de la circonférence ; soit A et B les deux points de ce diamètre sur la circonférence ;
- φ Régler le compas à l'ouverture égale au diamètre du cercle en piquant sur le point A de l'une des extrémités du diamètre, et tracer deux arcs de part et d'autre du cercle ;
- φ Avec la même ouverture, piquer le compas sur l'autre extrémité B du diamètre et tracer les arcs de cercle qui vont couper les précédents en deux points ; c'est la perpendiculaire au diamètre à tracer ; elle coupe le cercle en deux points C et D ;
- φ Tracer le carré ACBD en joignant ces 4 points ;
- φ Piquer le compas au centre O, et régler l'ouverture sur le rayon OA par exemple ;
- φ Piquer en A et tracer l'arc de cercle qui coupe le côté AC en un point E et le côté AD en un point J ;
- φ Reproduire ce tracé sur les 3 autres sommets du carré afin de définir les sommets de l'Octogone inscrit.
 - E,F,G,H,I,J,K,L sont les sommets de l'Octogone inscrit.

NB : Dans le même esprit, Hans HÖSCH décrit la façon de retrouver le centre du cercle portant une portion d'arc, lorsque celui n'est plus accessible.

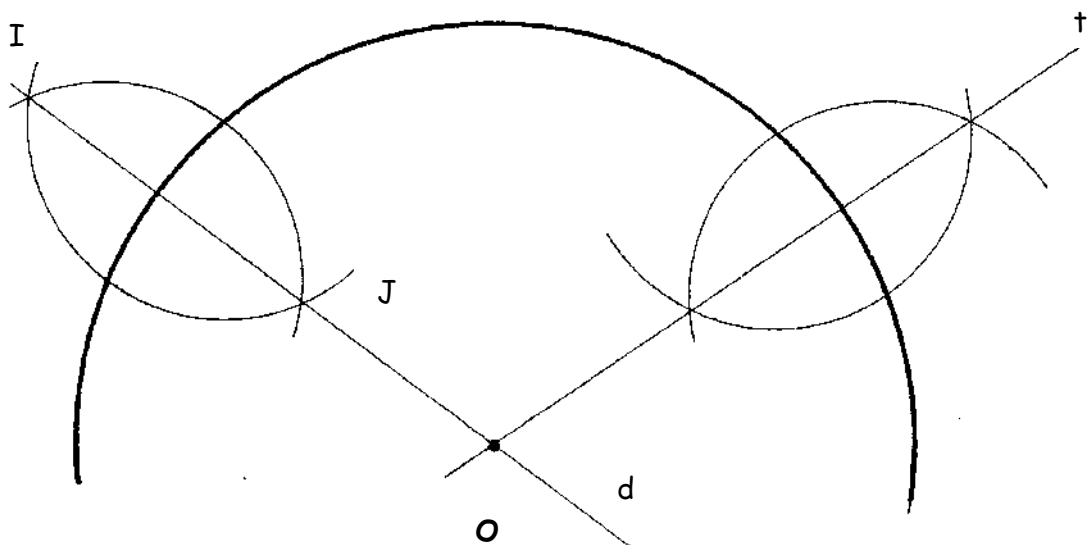
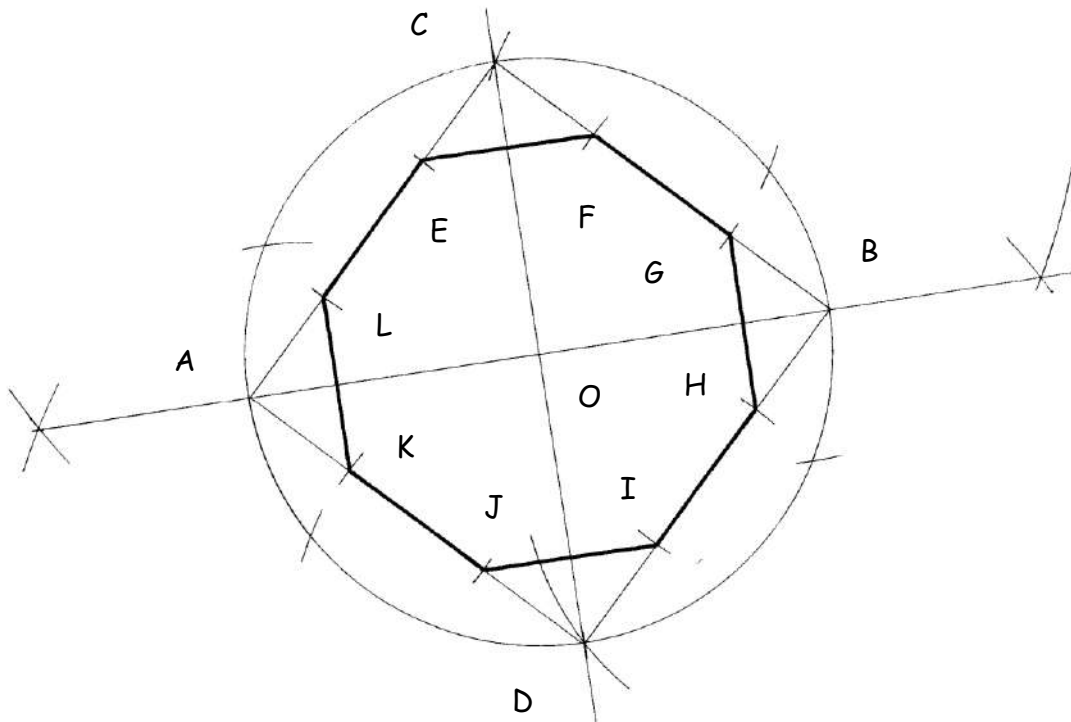
Avec une ouverture donnée, piquer le compas sur la portion de cercle, et tracer un arc de part et d'autre de cette portion de cercle ; cet arc tracé coupe la portion de cercle en un point ; repiquer en ce point avec la même ouverture, et tracer un autre arc de cercle qui coupe le premier en deux points I et J ; tracer la droite « d » passant par ces points I et J en la prolongeant côté intérieur de la portion de cercle ;

Reproduire ce tracé à un autre endroit de la portion d'arc étudiée : la nouvelle droite « t » tracée, coupe la première droite en un point O :

- C'est le centre du cercle portant la portion d'arc recherché !

-TRACE de l'OCTOGONE par la BAUHÜTTE-

40-



41- Les réseaux en quadrature.

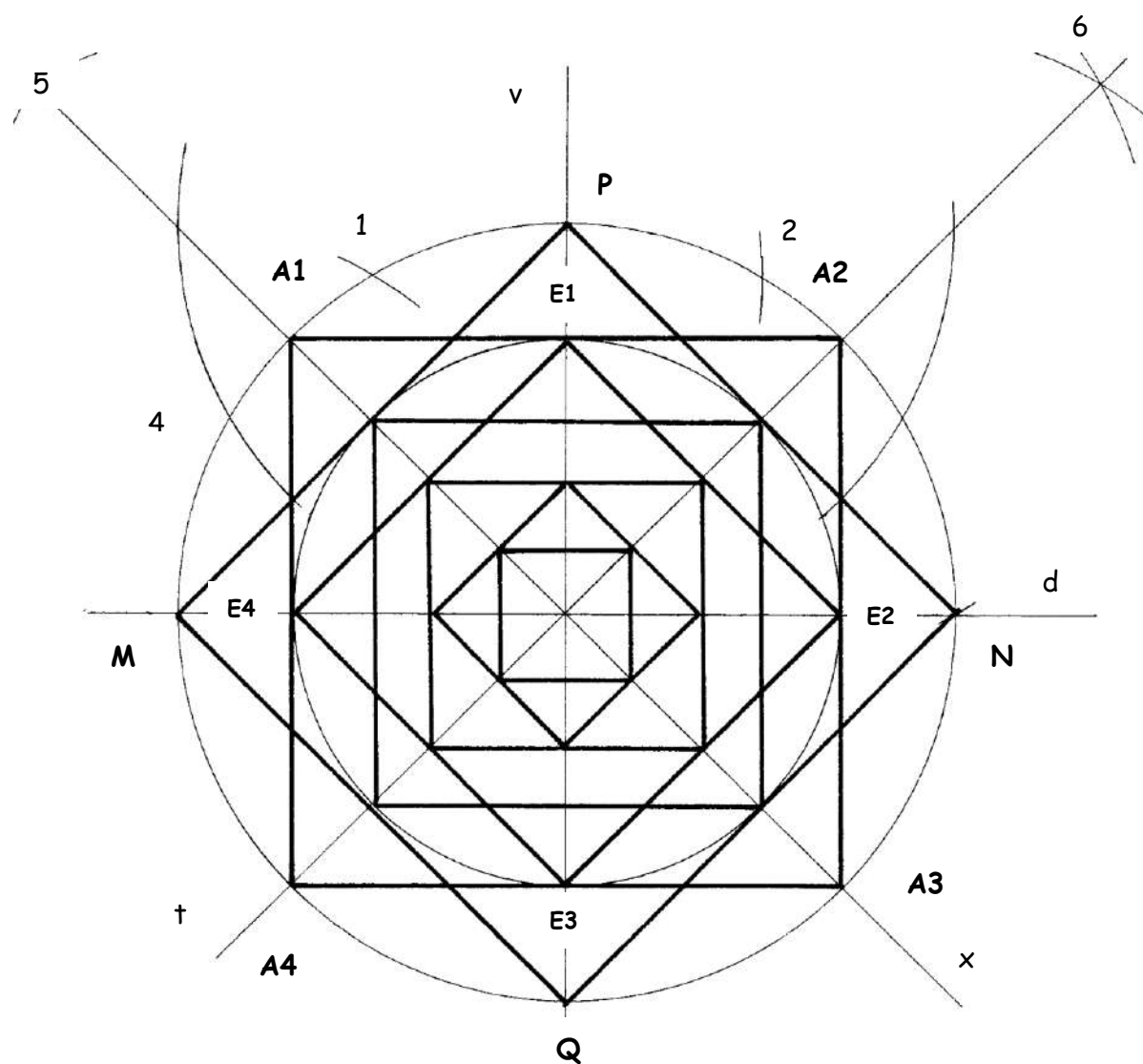
Les proportions pour la taille des pinacles ou autres élévations, procèdent de tracés construits dans des réseaux constitués des figures fondamentales que sont : les cercles, puis les carrés (inscrits et circonscrits), ou des cercles puis des triangles équilatéraux. Elles naissent toujours à l'aide du compas et de la règle. Mathias RORICZER a consigné de tels tracés dans un cahier vers 1486.

41-A : Tracé d'un carré de base d'un réseau quadrature, avec une seule ouverture de compas réglée sur le demi-coté du carré, identique au rayon du cercle inscrit ;

- φ Tracer une droite « d », piquer un point O qui est le centre du cercle de base du réseau ;
- φ Choisir une ouverture « R » pour le compas et tracer le cercle ; il coupe la droite « d » en deux points : M et N ;
- φ Piquer au point M, avec la même ouverture « R », tracer un arc, qui coupe la circonférence en un point 1, et reporter cela en piquant en ce nouveau point 1 comme pour diviser la circonférence du cercle en 6 arcs (tracé de l'hexagone): le nouveau point obtenu avec le compas coupe le cercle en un point 2 ; si le tracé est correct, en piquant au point 2 à nouveau, on retrouve le point N ;
- φ Toujours avec le compas avec l'ouverture réglée sur « R », piquer sur le point 1 et tracer un arc de cercle à l'extérieur, vers le point 2
- φ Avec la même ouverture, piquer au point 2 et tracer un arc de cercle à l'extérieur qui coupe l'arc précédent en un point I ;
- φ Tracer la droite « v » qui passe par le point I et le centre O, c'est la perpendiculaire en O à la droite « d » ; elle coupe le cercle en deux points P et Q diamétralement opposés ;
- φ Toujours avec la même ouverture, piquer en P et tracer des arcs qui coupent la circonférence du cercle de base en un point 3 et un point 4 situés de part et d'autre de la diamètre PQ (ou de la droite « v ») ;
- φ Encore avec la même ouverture, piquer en 4 et tracer un arc de cercle à l'extérieur, et reproduire cela au point 1 : les deux arcs se coupent en un point 5 ; tracer la droite « x » qui passe par le point 5 et le centre O : elle coupe le cercle en 2 points A1 et A3 : ce sont les deux premiers sommets opposés du carré de base inscrit dans le cercle de base ;
- φ Reproduire exactement ce tracé à partir des points 2, et 3, qui déterminent un point 6, extérieur au cercle ;
- φ Tracer la droite « t » passant par les points O et 6, elle coupe le cercle en deux points A2 et A4 : ce sont les deux autres sommets du carré de base.
- φ Relier les points A1, A2, A3, A4 : c'est le carré de base recherché !

-TRACES de RESEAUX en QUADRATURE -

41-A



Ainsi, avec UNE SEULE OUVERTURE DE COMPAS, le carré inscrit est tracé dans un cercle de base. Le réseau débute sa construction ;

Les droites « d », « v », « t » et « x », diagonales et médiatrices du carré de base, sont porteuses de tous les points du réseau en quadrature ; les côtés du carré qui vient d'être tracés, génèrent avec les droites « d » et « v », les nouveaux sommets du carré E (1 2 3 4) inscrit dans le carré de base. A noter que ce premier carré E (1 2 3 4), inscrit dans le carré de base, possède des cotés équivalents ...au « rayon » R » !

41-B : DEPLOIEMENT DU RESEAU :

- φ Tracer le cercle de centre O, circonscrit au carré E (1 2 3 4) ; il coupe les droites « x » et « t » en quatre points I (1 2 3 4) ;
- φ Tracer le carré I (1 2 3 4), qui est le carré d'ordre n-1 par rapport au carré de base n : la longueur de son côté équivaut à la longueur du rayon de base « R »
- φ De façon similaire, en joignant les points MPNQ, tracer le carré équivalent au carré de base, mais en quadrature par rapport à celui -ci : il a pivoté d'un demi-angle droit par rapport au carré de base.
- φ De façon convergente vers le centre, le carré d'ordre n-1, E (1 2 3 4) a ses côtés qui coupent les droites perpendiculaires « x » et « t », en 4 points Y(1 2 3 4) : tracer le carré d'ordre n-2 en reliant ces 4 points ; ce carré Y(1 2 3 4) présente à son tour les caractéristiques suivantes : ses côtés ont pour longueur le rayon du cercle circonscrit au carré n-1 et ils coupent les droites perpendiculaire « d » et « v » en 4 points X(1 2 3 4) ;
- φ Relier les points X (1234) et ainsi le carré d'ordre n-3 de la quadrature est défini ; ses côtés ont pour longueur le rayon du cercle circonscrit au carré d'ordre n-2.
- φ Et ainsi de suite pour le carré Z (1234), qui est le carré d'ordre n-4 de la quadrature choisie.

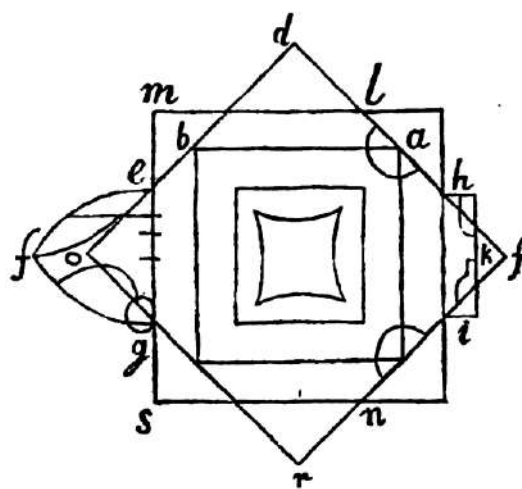
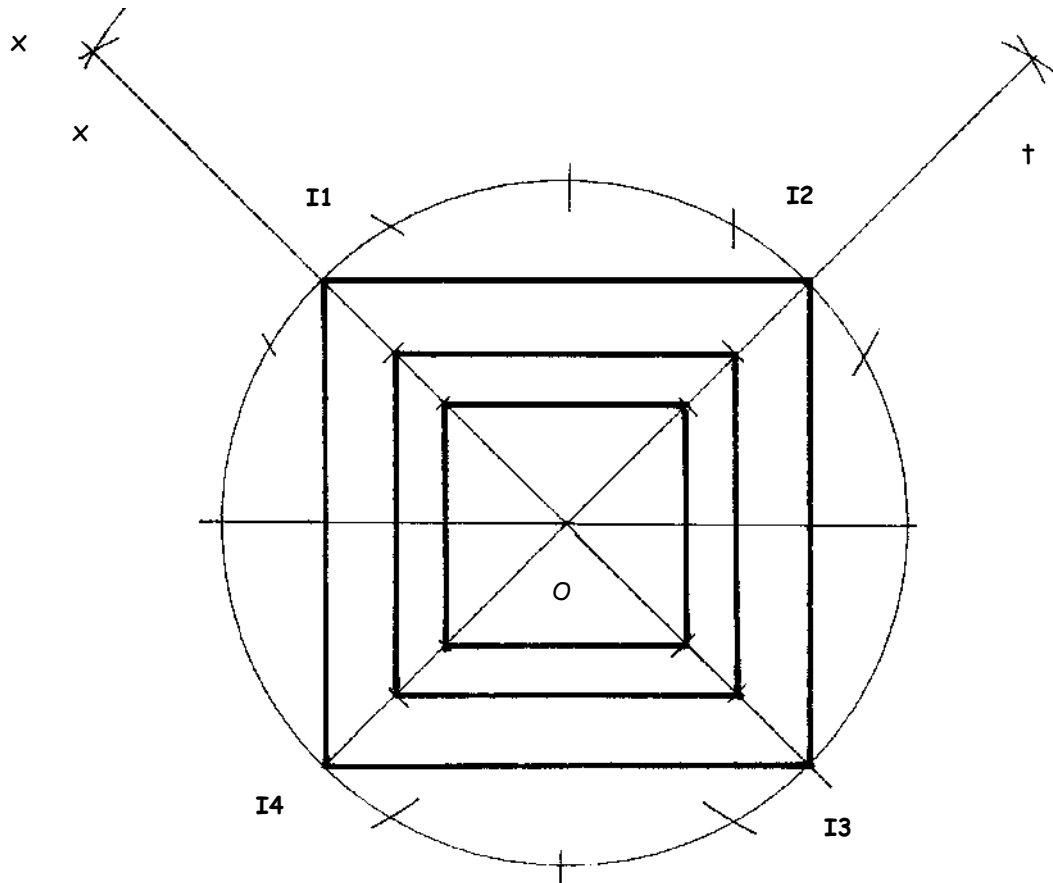
NB1 : suivant le même principe, la figure peut se déployer en divergence à l'extérieur du cercle de base, en traçant le carré CIRCONSCRIT à ce cercle de base en piquant successivement aux points M, P, N, Q, avec le compas dont l'ouverture est réglée sur le segment MO : rayon « R » du Cercle de base !

NB2 : La clef du tracé est: le demi-coté du carré d'ordre n est égal à la demi diagonale du carré d'ordre n-1 !

Ce tracé est particulièrement utilisé pour définir en vue de dessus, les niveaux d'un pinacle polyédrique à base carré ; (voir tracé 41 bas de page).

-TRACES de RESEAUX en QUADRATURE -

41-B



Tracé de pinacle par M. Roriczer

42- Les réseaux en triangulation.

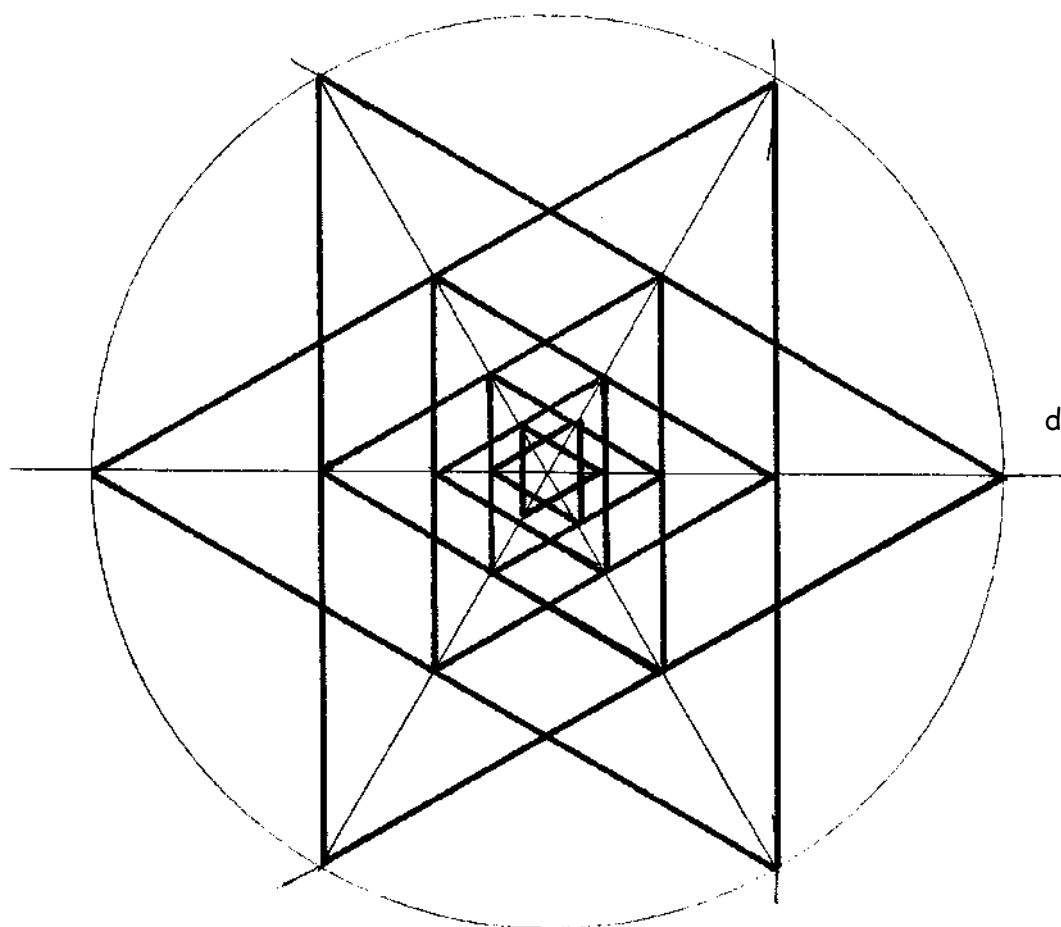
Toujours sur le même principe, le réseau, composé majoritairement de triangles équilatéraux, prend source via le cercle de base, dans lequel, comme pour le carré, soit les dimensions des triangles convergent vers le centre de ce cercle de base (diminution de taille), soit elles divergent vers l'extérieur du cercle de base (augmentation de taille).

- φ Tracer une droite « d » portant le diamètre du cercle de base ;
- φ Piquer en un point O, centre du cercle de base et le tracer avec le rayon choisi ;
- φ La droite « d » coupe la circonférence du cercle de base en 2 points diamétralement opposés ;
- φ Piquer le compas avec la même ouverture en l'un de ces deux points et reporter des arcs de cercle successivement, cela 5 fois, comme pour tracer un hexagone inscrit ;
- φ Rejoindre les points espacés par deux sixièmes d'arc : c'est le triangle équilatéral de base.
- φ Rejoindre par tracé chaque sommet du triangle avec le point diamétralement opposé qui est l'intersection de l'arc avec la circonférence. Ce sont les médiatrices des côtés du triangle de base qui génèrent de nouveaux points à joindre, pour former de nouveaux triangles, avec éventuellement, leurs cercles circonscrits.
- φ Puis reproduire le schéma de traits avec les centres de chaque côté des triangles générés ; une fois en appui sur une base, une fois en appui sur un sommet.

Ce schéma générique peut être reproduit à satiété ; à partir de ce réseau, les tracés de figures peuvent se générer à profusion, et dans un style varié ; la force de ces tracés en réseaux réside dans la reproductibilité des figures créées, et donc la transmissions des clefs de tracés.

TRACE de RESEAUX en TRIANGULATION -

42-



43- Equivalent Triangle-Carré par M. RORICZER.

Si la quadrature du cercle a toujours été un défi chimérique, le tracé de surfaces équivalentes entre polygones est bien dans les savoir-faire des Bâisseurs.

Voici un exemple élégant permettant de définir un triangle équilatéral à surface quasi équivalente à celle d'un carré. Si ce tracé n'est pas exact vu des mathématiques, là encore, le pragmatisme des Bâisseurs apporte une méthode simple et assez séduisante.

- φ Tracer un carré ABCD par l'une des méthodes déjà partagées ; (préférer celles qui déterminent les diagonales à partir du cercle)
- φ Prolonger l'un des côtés au-delà d'un sommet ; DC dans l'exemple ;
- φ Les diagonales étant tracées, tracer la médiatrice sur le côté du carré qui a été prolongé ; elle divise ce côté du carré en deux segments ;
- φ Piquer sur le sommet C du carré contenu sur ce côté, et régler l'ouverture sur le point médian M où passe la médiatrice ; reporter cette longueur de l'autre côté sur son prolongement ; l'arc ainsi tracé détermine un point E ;
- φ Piquer en E avec une ouverture réglée sur le sommet D du carré : ED étant le côté du triangle équilatéral recherché, tracer un arc à l'extérieur du Carré partant de D ;
- φ Avec la même ouverture, piquer en D, et tracer la portion d'arc partant de E, qui coupe le précédent en un point F : c'est le 3eme sommet du triangle équilatéral iso surfacique du carré ABCD !
 - Le triangle DEF et le carré ABCD ont une surface quasi-équivalente !

NB : Sur certaines figures tracées, les noms des points, des centres de cercles ou des arcs de constructions ne sont pas représentés ;

Deux raisons à cela :

- Ne pas surcharger le tracé ;
- Faire découvrir le chemin intellectuel qui amène à construire le tracé : dans cette démarche, le but est le Chemin suivi !

L'expérience individuelle de tracés permet d'en découvrir les secrets, pierre à aiguïser l'appétence pour pousser le Trait des Bâisseurs !

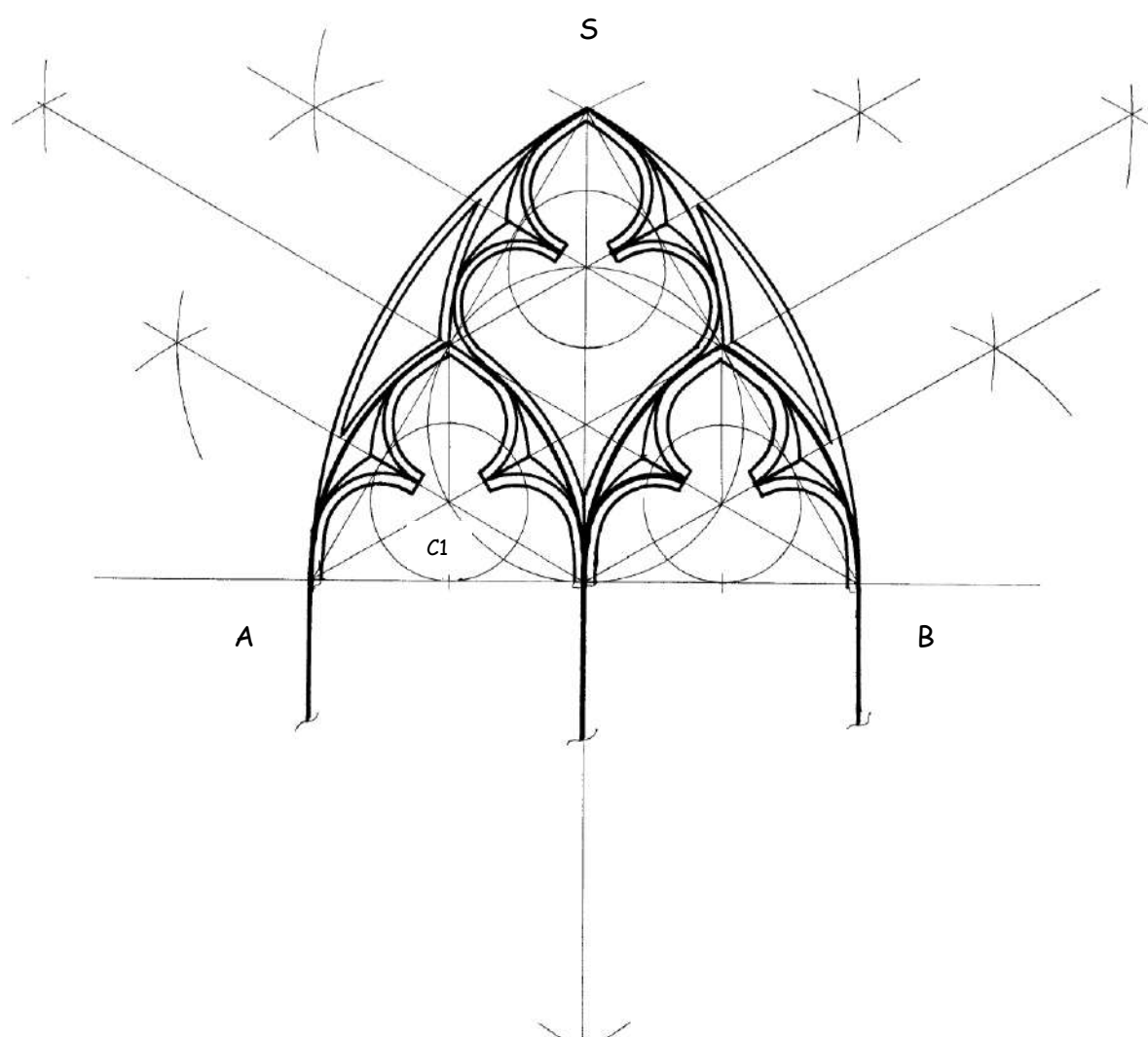
44- Tympan de baie ogivale :

Le tracé proposé est une forme archétypale utilisée par les bâtisseurs pour les baies d'édifices construits au XIV et XV-ème siècle ;

- φ Sur une droite horizontale, à l'aide du compas porter un segment AB correspondant à l'ouverture de l'ogive équilatérale souhaitée ; piquer en A, puis en B pour tracer des arcs d'ogives qui se rejoignent en un point S ; tracer le triangle équilatéral ABS, et les médiatrices de ses trois cotés ;
- φ Tracer le réseau des 3 triangles équilatéraux intérieurs au triangle ABS, qui forment une pyramide, puis les médiatrices de chaque côté de chacun des triangles, qui sont autres que celles communes aux médiatrices déjà tracées pour le triangle ABS : soit 9 médiatrices qui se répartissent par 3 sur chaque côté du triangle ABS ;
- φ Tracer les arcs d'ogives équilatérales pour chacun des 3 triangles intérieurs ; ce sont les lignes d'axe de tracé des trilobes et des écoinçons.
- φ Tracer un cercle en piquant au point C, qui est l'intersection des médiatrices du triangle ABS : c'est le cercle de base inscrit au triangle ABS ; puis tracer l'hexagone inscrit dans ce cercle de centre C ;
- φ Tracer les 3 cercles de base C1, C2, C3 inscrits respectivement dans chacun des 3 triangles en pyramide : ces cercles coupent les médiatrices, et les côtés de l'Hexagone en 9 points V1 à V9 (trois points par cercle) : ils sont les centres des arcs composant les trilobes permettant de tracer leur remplage intérieur des lobes.
- φ Veiller au raccordement de chaque portion d'arc de la trilobe de sommet avec les ogives contenant les deux trilobes inférieurs ;
- φ Le tracé du remplage des trilobes s'initialise à partir de la largeur choisie par le Bâtitteur pour les redents ;
- φ Tracer le remplage des deux écoinçons latéraux à partir de l'arc d'ogive délimité par les deux médiatrices extrêmes de chaque côté.

-TRACE TYMPAN de BAIE OGIVALE -

44-



I - Mesures, toises et proportions -

L'ensemble des tracés réalisés dans cette brochure, n'a jamais fait appel à des unités de mesures millimétriques ou « pouciques » ; les proportions sont fixées à partir du premier choix d'ouverture de compas ; cette liberté de tracé permet une grande richesse de créativité.

Néanmoins, même s'il n'existait pas de référentiel universel de mesures, chaque région avait ses coutumes d'unités de longueur, calées par ordre croissant sur : la Ligne, le Pouce, le Pied, la Coudée, la Toise (brasse ou canne) pour ne citer que les principaux : 12 Lignes donnent un Pouce, 12 Pouces donnent un Pied ; 6 Pieds donnent une Toise.

Pour mémoire, en France, la Toise du Chatelet de 6 Pieds de Roi (1949 mm) fut l'étalon jusqu'en 1766.

NB1 : fin 18ème siècle en Lorraine et Pays de Montbéliard, il y a 10 pieds par toise ...et 10 points par ligne ...

On retient que depuis l'antiquité en passant par le Moyen-Age, et jusqu'au XVIIIème siècle : un Pied est une unité de mesure accrochée à son terroir : Pied Romain (296mm), Pied Anglais (305mm), Pied du Roi ou du Chatelet (325mm), Pied de Bourgogne (331mm), Pied du Rheinland (313mm), Pied de Fribourg (324mm), etc...A chacun son Pied !

Chaque Maître d'Œuvre transmettait à ses partenaires tailleurs & bâtisseurs, grâce à sa pige, la référence d'unités de longueur retenue pour effectuer l'ouvrage, dont les épures sont définies par l'Architecte.

Pour simplifier : une Ligne de 2,083 mm donne les valeurs de 25 mm pour un Pouce, et de 300 mm pour un Pied, (un pied = 144 lignes) ; soit une Toise de 180 mm. Elles furent utilisées par bien de Bâtisseurs.

NB2 : la toise est un mot polysémique qui porte deux significations : soit une unité de mesure, soit le nom de l'instrument qui sert à la mesure.

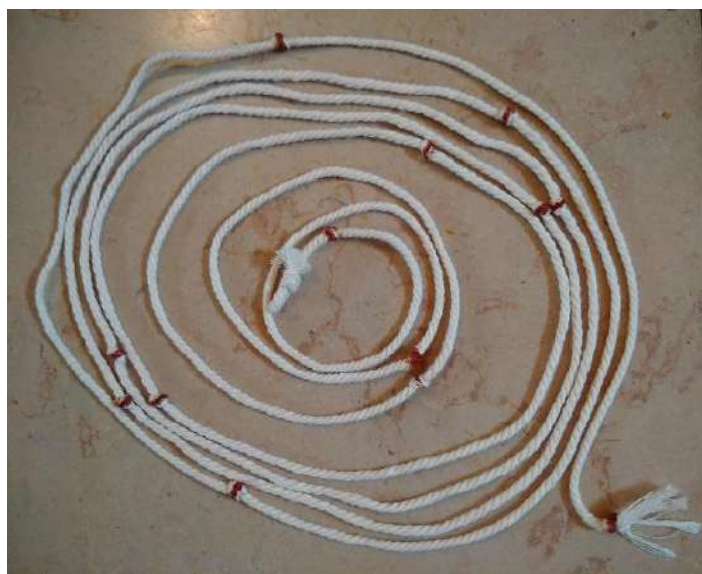
45- La corde à 13 nœuds :

La corde à 13 nœuds, constitué de 12 segments d'une valeur « a » choisie (pied, coudée ...) permet de créer des figures, non seulement sur un plan horizontal dégauchi par l'archipendule (outil attesté dès la Haute Egypte), mais aussi dans des plans verticaux et obliques.

Dans le cas du segment à 1 pied, la corde avec ses douze pieds équivaut à une longueur de 2 toises.

Cet instrument de mesure offre une facilité de mise en œuvre extraordinaire et une plage d'échelles adaptée aux épures tout à fait intéressante.

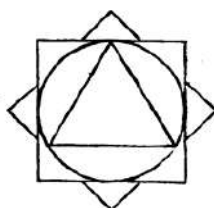
Elle procèderait de l'antique concept de « Cordes des Arpenteurs utilisées en Egypte et Mésopotamie » ...



- Corde à 13 nœuds -
(Réalisation Ph LEROY)

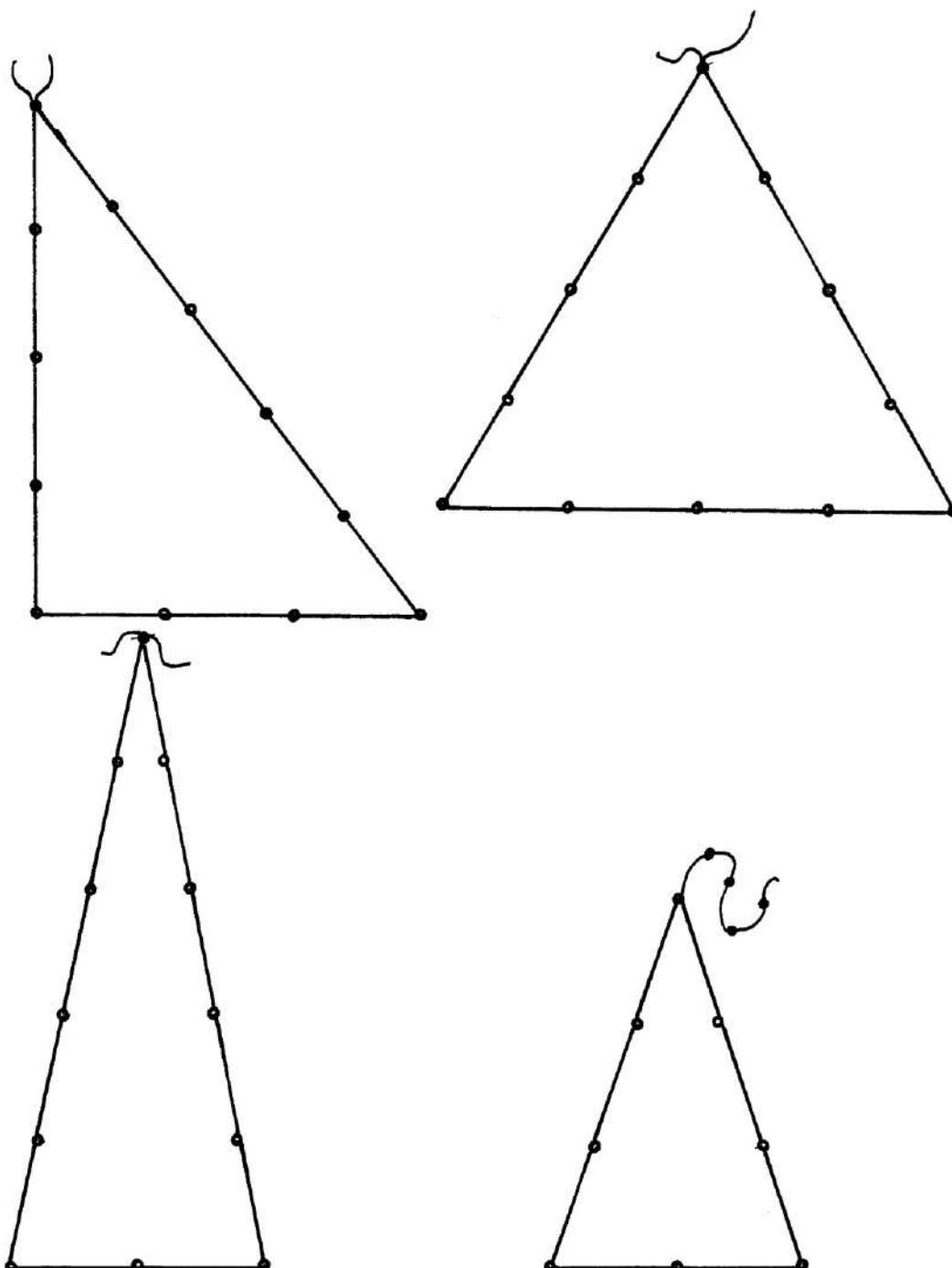
45 A - FIGURES AUTOPORTEUSES :

- φ **Figure 1** : le triangle rectangle 3-4-5 : permet la définition de l'angle droit entre les côtés formés respectivement de 3 segments et de 4 segments, et d'une hypoténuse de 5 segments. C'est un préalable pour définir d'autres tracés, et le moyen agile pour vérifier la perpendicularité de deux arêtes de murs ; (Voir au 3).
- φ **Figure 2** : le triangle équilatéral 4-4-4 dont chaque côté est défini avec 4 segments, permet de positionner les 2 points des naissances et le sommet de l'arc ogif équilatéral ;
- φ **Figure 3** : le triangle isocèle 2-5-5 ayant pour base 2 segments et pour chacun des 2 côtés 5 segments. Ce triangle se retrouve très souvent dans les proportions des flèches surmontant les clochers des églises érigée au Moyen Age ;
- φ **Figure 4** : le triangle isocèle 2-3-3 ayant pour base 2 segments et les deux autres côtés à 3 segments ; et avec 4 segments en réserve.
Cette figure initialise le tracé d'une autre figure ... secondaire.



- FIGURES AUTOPORTEUSES de CORDE 13 NOEUDS -

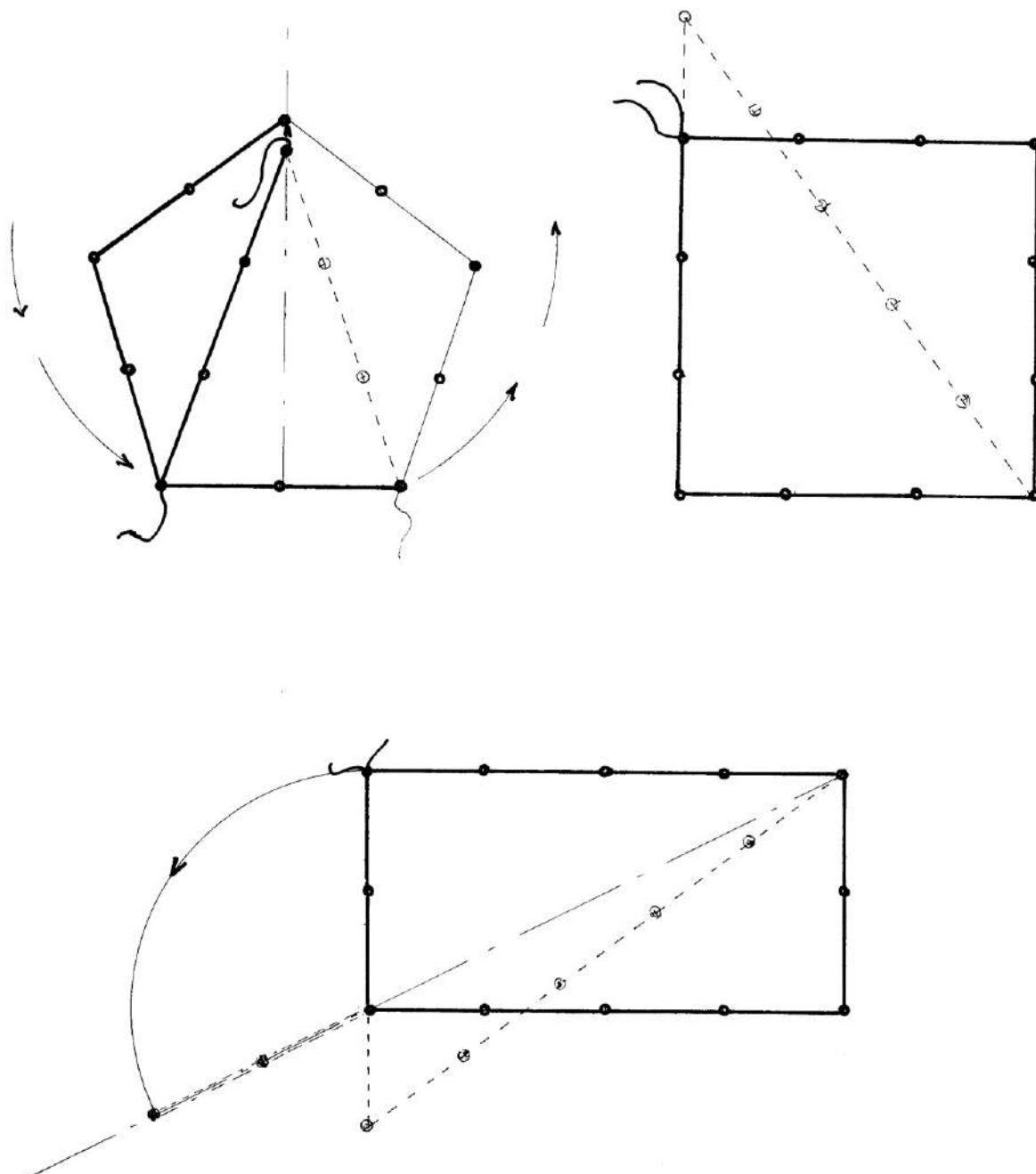
45A



45 B - FIGURES SECONDAIRES.

- φ **Figure 5** : le pentagone régulier :2-2-2-2-2,
formé de 5 cotés à deux segments ; cependant cette figure non-autoporteuse demande à ce que soit défini au préalable, un triangle isocèle 2-3-3 : la base 2 est le premier côté du pentagone, et ses 2 côtés à 3 segments, se rejoignent sur le sommet du triangle isocèle indiquant la direction du futur sommet du pentagone (ces 2 côtés forme deux « pseudo-diagonales » du pentagone) ;
 - φ Tracer une ligne au sol : ce sera la ligne d'apothème du pentagone ;
 - φ La Personne A positionne le nœud 5 sur la ligne : les nœuds 4 & 6+13 de part et d'autre de la ligne ; les extrémités de la base à 2 segments du triangle 2-3-3, sont aussi les 2 sommets du premier côté du pentagone :
 - Tracer ces deux premiers sommets au sol ;
 - φ La Personne B tient les nœuds 1+9 superposés dans un premier temps et tend les 2 côtés 3-3 dans la direction du futur sommet du pentagone ; 4 segments correspondant aux nœuds 10,11,12 formant « la réserve » des deux autres côtés du pentagone.
 - φ La Personne C prend « la réserve » des 4 segments et forme le 2eme côté du pentagone en tirant sur le nœud 11 pour tendre le segment 11-13 ; à ce stade les deux segments des nœuds 9 à 11 ne sont pas tendus !
 - φ La Personne A, lâche le nœud 6, ainsi détend la corde du nœud 5 jusqu'au nœud 9 ; mais conserve le nœud 13 sur ce point de sommet ;
 - φ La Personne B peut alors séparer les nœuds 1 et 9, en tirant le nœud 9 en suivant la ligne de l'apothème pour tendre le 4ème côté du pentagone formé des nœuds 9-11, en équilibre avec la Personne C qui maintient la « réserve » de corde formant les 2 côtés adjacents au nœud 11 : ainsi se détermine le 4ème sommet du pentagone au nœud 11 :
 - Ces 2 sommets peuvent être tracés au sol.
 - φ Le 5eme sommet est défini par la Personne C qui prend la corde par le nœud 13 et emmène les 4 segments de corde de l'autre côté du sommet en contournant la Personne B, et redonne à la Personne A, le nœud 13 qui se confond avec le nœud 4 : ainsi est formé le 5ème sommet du pentagone :
 - Le Pentagone a ses 5 sommets définis ! Et c'est un beau travail d'équipe !

- FIGURES SECONDAIRES de CORDE 13 NOEUDS -
45B



φ **Figure 6** : le rectangle 2-4-2-4 :

Ou « Double carré » formé à l'aide de deux parties de $\frac{3}{4}$ de carrés de côtés 2-2 chacun.

La concrétisation de ce rectangle est précédée du tracé de deux segments perpendiculaires grâce à la figure 1 permettant de dégauchir deux côtés d'un carré.

Deux Personnes suffisent à construire cette figure.

NB : le rectangle « Double carré », a pour particularité que chaque diagonale représente 2 segments $\times \sqrt{5}$ (c'est l'hypoténuse commune de deux triangles de bâtisseurs formant le rectangle) ; si l'on reporte un petit côté de ce rectangle en le faisant pivoter autour du nœuds de l'avant dernier sommet adjacent à la diagonale, et si l'on aligne par cette rotation, ce côté à 2 segments avec la diagonale du rectangle passant par le sommet « pivot », alors cette diagonale prolongée représente : 2 fois $a \times \Phi$

- Deux fois le nombre d'Or proportionnel au segment « a ».
(Voir au 7.1).

φ **Figure 7** un carré de cotés 3-3-3-3, en ayant dégauchi deux cotés par un angle droit à l'aide d'un tracé de la figure 1.

Et bien sûr, la corde est l'outil le plus efficace pour obtenir des ellipses en fixant deux pivots sur les 2 points de foyer à l'écartement choisi et en appuyant le traceur cheminant tangentiellement le long de la corde côté intérieur. Lorsque les 2 points de foyers sont confondus en un seul point, c'est le centre de cercles à rayons choisis :

La corde devient compas, outil de la figure parfaite !

PS : Le tour de mains pour réaliser des tracés d'ellipses (avec des formes assez proches de celles des anses), pourra faire l'objet d'un futur traité spécifique car il peut offrir une méthode bien sympathique pour tracer ces anses de panier ou autres voutes en arcade avec une aisance exemplaire pour les bâtisseurs.

- Essayer de trouver d'autres figures possibles ... sans lâcher la corde ...

46- La Pige :

Ce nom de « pige » (ou tige, canne, virga géométrica) est donné aux instruments qui assurent, au cours du temps, la concrétisation de références d'unités de longueur et servent à mesurer, par comparaison, les dimensions données à l'œuvre. Si au XXIème siècle cannes et piges sont toutes à lecture directe assistée de laser (ou non), calées sur l'étalon de mesure standardisé, il n'en a pas toujours été de même ...

Les Bâtitseurs utilisaient la pige, sorte de latte en bois sur laquelle étaient gravées les segments d'unités de longueur choisies en référence du lieu ou des origines du maitre d'œuvre ; cette pige devenait le standard des dimensions à opérer par les corps de métiers sous la responsabilité de ce même maitre d'œuvre : une sorte d'étalon métrologique local et personnalisé !

Des représentations de Maitre d'Œuvre, Maitre Tailleur, Architectes ou Baumeister, témoignent de l'existence de cet instrument propre à chacun ;
(Voir la tombe d'un Maitre d'œuvre de la cathédrale « St Nicaise » de Reims : Hugues Libergier.)

D'après ces représentations contemporaines aux Bâtitseurs, deux grandes tendances se dégagent :

- φ soit une pige d'une longueur d'une Toise, soit environ 180 cm dans le cas avec 6 pieds de 30 cm ;
- φ soit une pige donnant la longueur d'une Quine, soit environ 120 cm ; mais cet usage de quine est très controversé ...

Par similitude afin d'établir de façon pragmatique un trait d'union entre le deuxième et le troisième millénaire, une pige prismatique pourrait comporter aujourd'hui, les indications suivantes :

1-Une face sur laquelle une échelle Métrique de traits en centimètres et millimètres, est définie par dizaines ; c'est l'étalon de mesures actuelles !

2-Une face à une échelle « poucique », sur laquelle se trouvent successivement gravées par douzaines :

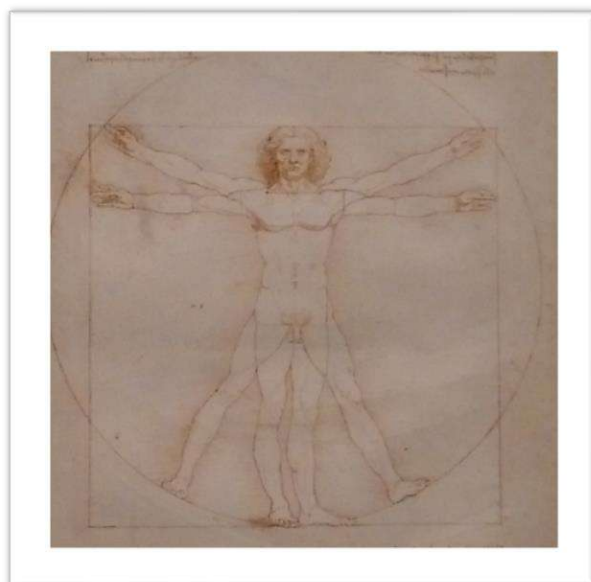
- φ Le trait du pouce à 25mm de l'extrémité, avec un trait de 12,5 mm en son milieu ;
- φ Le trait du pied de 300mm composé de 12 traits de pouces,
- φ Le trait de la Demi-toise de 36 pouces soit 900 mm.
- φ Le trait de la Toise de 6 pieds soit 1800 mm ;

3- Une face sur laquelle serait décrite la chimérique Quine (*) à savoir :

- φ Le doigt de 18,75 mm (soit 9 lignes)
 - φ La paume de 4 doigts soit 71 mm, soit $\frac{1}{4}$ de pied (soit 34 lignes) *
 - φ La palme de 115 mm (soit 55 lignes) *
 - φ Un empan de 185 mm (soit 89 lignes) *
 - φ Un pied de 300 mm (soit 144 lignes) *
 - φ Une coudée de 485 mm (soit 233 lignes) *
- NB 1 : La Quine ne comprend que les items repérés par (*) soit 555 Lignes ;
 - NB2 : Au grand plaisir des mathématiciens, le rapport de proportion entre chaque terme de la Quine est Phi : le nombre d'Or égal à 1,618.

4- Enfin il serait pratique et utile de fixer comme épaisseur pour cette pige, une valeur permettant de calibrer les interstices d'appareillage recevant les joints de mortier en fonction du choix et de l'expérience du Bâtitseur géniteur de cette pige ; une valeur proche du demi-pouce par exemple.

Si la Quine semble assez éloignée de l'univers opératif des Bâtitseurs, Léonard de Vinci a su concilier les mathématiques et la création d'Architecte dans un athanor de « bio-observation » : la divine proportion dorée est sublimée dans la représentation de l'Homme de Vitruve ; n'est-ce pas la quintessence de l'harmonie des proportions ?



Homme de Vitruve - Leonard de Vinci

Photo PH LEROY ©

- REMERCIEMENTS & INSPIRATIONS -

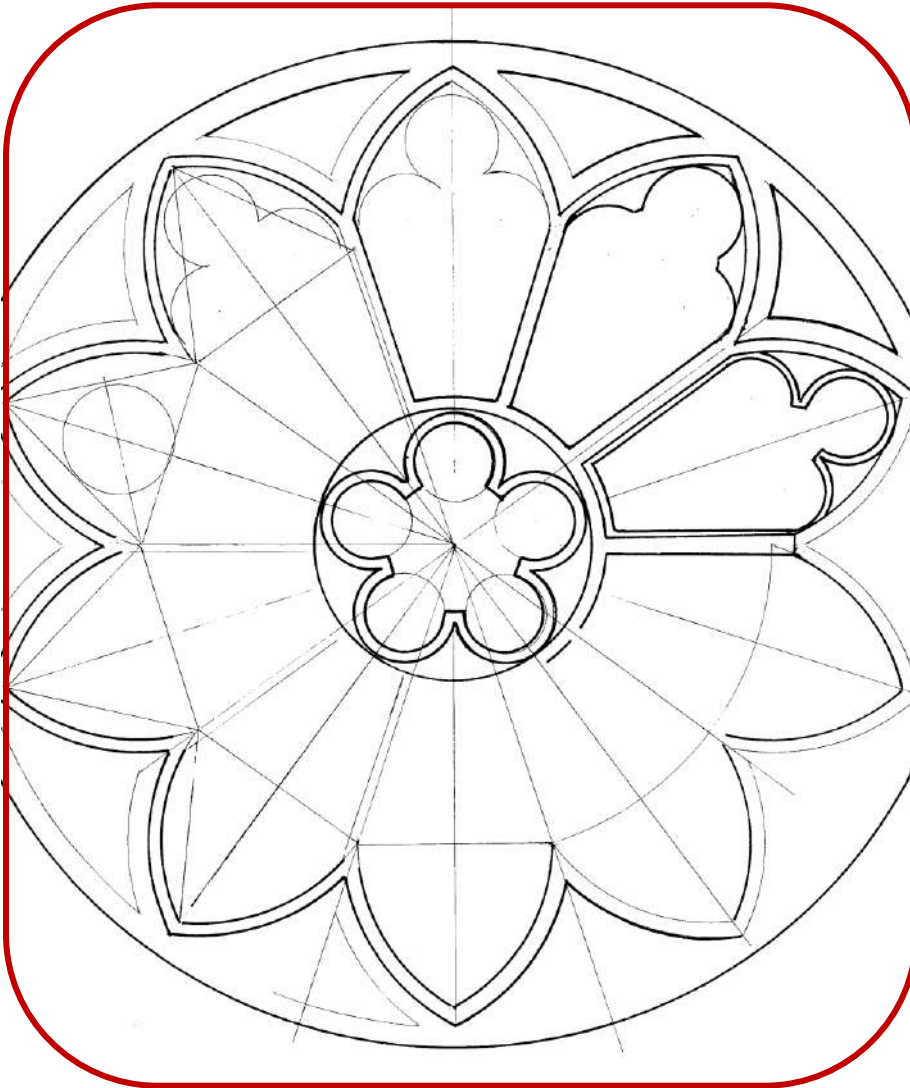
L'envie et l'émotion ont été les carburants du moteur créatif de cette brochure, catalysé par des inspirations, fruits de relations partagées avec des passionnés et en particuliers :

- Jean-Louis LEGRAND Rédacteur de la revue Tangente, par son présent : le livret La Taille de Pierre de René-Jean FACQUEZ et par ses compétences ;
- Florent PERIER, Tailleur -Sculpteur-Formateur qui inocule la passion de la taille de pierre lors de stages effectués à la Forteresse de Châtel sur Moselle et à l'Atelier PROMETHEE ;
- Les échanges avec Florian RENUCCI, amorcés lors du stage de bâtisseur à GUEDELON effectué en 10 -2018 ;
- Les échanges avec Sabine BENDEL, Docteur en Histoire de l'Art ,et Frédéric DEGENEVE Hüttenmeister ,tous deux de la Fondation de l'Œuvre Notre Dame de Strasbourg ;

- Sources bibliographiques -

- Revues Au bord de la Mortagne N° 50 -2011 ;52-2013 ; 53-2014 - Atelier Arts & Histoire RAMBERVILLERS
- Mathématiques & Architecture N° 60 - 2017 - Bibliothèque TANGENTE
- « Les cathédrales retracées » 2018 par Pierre BELLENGUEZ
- Nouveau Larousse Universel tome 1 -1949 ;
- « Die Bauhütte des Mittelalters in Deutschland » 1844 C.A HEIDELOFF
- « Eudes sur les marques de tailleurs de pierre » RZIHA F.1881- Edit La Nef de Salomon 2010 ;
- « L'église Sainte Libaire de Rambervillers » V. HALBOUT Mémoire de Maitrise- 1990 -Université NANCY II ;
- « Fortification & artillerie en Europe autour de 1500 » - R. ELTER & N. FAUCHERRE - PUN 2018
- « Le Nombre d'Or » PETIT GUIDE 287 -Edit AEDIS - 2012
- Support inclus dans le stage taille de pierre, par Florent Perier pour l'Association Vieux Châtel ;
- « Dictionnaire raisonné de L'architecture Française du XI au XVI e » par Eugène Viollet -le -Duc
- « Dictionnaire de la langue ancienne et moderne » tome Troisième Pierre RICHELET 1759.

- Carnet de Villard de Honnecourt XIIIe - BnF -



© Copyright Philippe Henri LEROY