

CHAPITRE V La symétrie. Sphère et Plan comparés ; analogies et dissemblances.

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **10 (1908)**

Heft 1: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LE PREMIER LIVRE DE LA GÉOMÉTRIE NATURELLE¹

CHAPITRE V

La symétrie.

Sphère et Plan comparés; analogies et dissemblances.

Avant d'étudier les analogies et les dissemblances des triangles sphériques comparés aux triangles plans, nous devons, pour cet objet même, étudier un mode remarquable de correspondance entre deux figures : le mode de correspondance *par symétrie*.

I. — Définitions et propriétés des figures symétriques.

DÉFINITIONS. — 1° Si deux figures F_1 et F_2 se correspondent, point par point, de manière que (fig. 53) toute droite qui réunit un point M_1 de la première à un point correspondant M_2 de la seconde soit traversée en son milieu H par un plan P fixe, mais perpendiculaire à la droite de jonction, on dira que les figures F_1 et F_2 sont *symétriques par rapport au plan P* .

Remarques. — a) Le plan P est le lieu des points de l'une des deux figures qui coïncident avec leurs correspondants respectifs de l'autre figure. C'est *le plan de symétrie*. — b) Une droite juxtaposée sur sa symétrique est ou bien perpendiculaire au plan de symétrie, ou bien située dans ce plan.

2° Si deux figures G_1 et G_2 (fig. 54) se correspondent point par point de manière que le milieu de la droite qui réunit

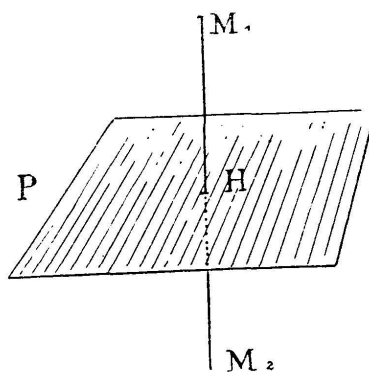


Fig. 53.

¹ Voir *L'Enseign. Math.*, année 1903, n° du 15 mai, p. 185-207; n° du 15 juillet, p. 296-318.

les deux points correspondants M_1 et M_2 soit un point fixe O de l'espace, on dit que les deux figures sont *symétriques l'une de l'autre par rapport au point O* . Le point O s'appelle le *centre de symétrie*.

Remarque. — Une droite juxtaposée sur sa symétrique doit nécessairement passer par le centre de symétrie.

PROBLÈME FONDAMENTAL. — On construit (fig. 55) la figure F_2 symétrique de F_1 par rapport au plan P et la figure F_3 symétrique de F_1 par rapport au point O pris

dans le plan P . Cherchons quelle relation existe entre les deux figures F_2 et F_3 .

Pour répondre à cette question menons par le point O la droite ZOZ' perpendiculaire au plan P ; soit M_1 un point quelconque de la figure F_1 , soient M_2 son correspondant dans F_2 et M_3 son correspondant dans F_3 .

Le milieu H de M_1M_2 est la projection commune des points M_1 et M_2 sur le plan P ; nous avons vu (chapitre II, théorie du dièdre) que la droite ZOZ' est dans le plan des trois droites M_1OM_3 , OH , OM_2 , et si l'on fait le rabattement de ce plan sur lui-même par un demi-tour exécuté autour de OH , M_1 venant en M_2 l'angle $M_1\hat{O}H$ recouvre l'angle $M_2\hat{O}H$; il résulte de là que les suppléments de ces angles ou $Z\hat{O}M_1$ et $Z'\hat{O}M_2$ sont égaux; en considérant alors l'angle opposé par le sommet à $Z\hat{O}M_1$ c'est-à-dire l'angle $Z'\hat{O}M_3$ on voit enfin que la droite OZ' est la bissectrice de l'angle au sommet O du triangle $M_3\hat{O}M_2$, et comme ce triangle est isocèle puisque OM_2 et OM_3 tous deux égaux à OM_1 sont égaux, la droite OZ' doit *passer par le milieu de M_1M_2 et être perpendiculaire à cette droite*.

On voit donc que pour amener la figure F_3 en coïncidence

M_1
|
 O
|
 M_2

Fig.
54.

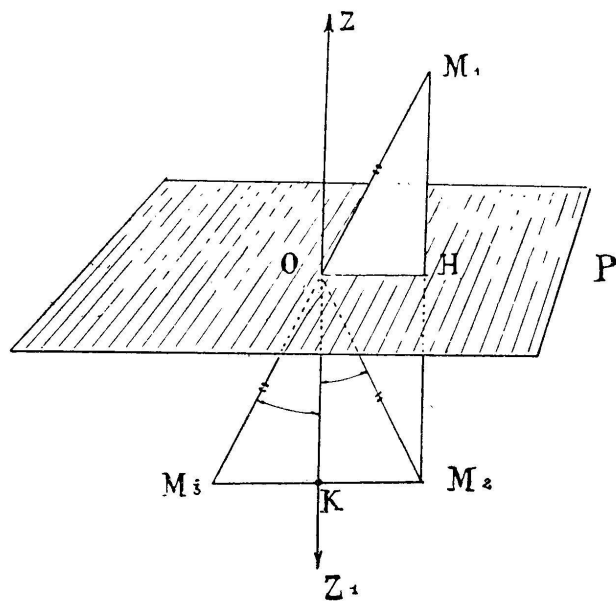


Fig. 55.

avec la figure F_2 il suffira de la faire tourner autour de l'axe de rotation OZ d'une demi-révolution.

CONSÉQUENCE. — *Les figures symétriques d'une même figure sont superposables.* — Ce fait est la conséquence du problème précédent et de la remarque suivante.

Remarque. — Les figures symétriques d'une même figure F par rapport à deux centres différents sont superposables, car elles sont chacune superposable sur la symétrique de la même figure F par rapport à un plan contenant les deux centres.

2. — *Une figure non plane n'est en général pas superposable sur sa symétrique, et elle n'est, dans tous les cas, jamais superposable avec correspondance des éléments symétriques dans la superposition, bien que tous les éléments plans correspondants soient égaux.*

Exemple : (fig. 56) soit un trièdre, formons le trièdre symétrique par rapport à son sommet S ; faces et dièdres du nouveau trièdre sont respectivement égaux aux éléments correspondants du premier trièdre, car ce sont des faces ou des dièdres, deux à deux, opposés par le sommet ou par l'arête. Or, *une trame d'un solide fixant la position du solide*, on pourra, si on veut *essayer* la superposition du trièdre et de son symétrique par éléments symétriques, commencer par faire coïncider la trame ASC sur la symétrique $A'SC'$ par une

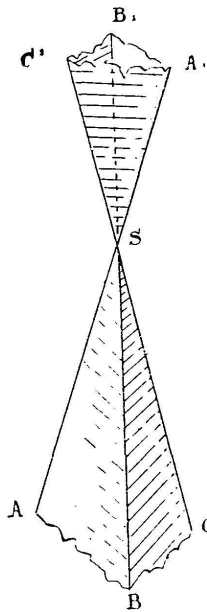


Fig. 56.

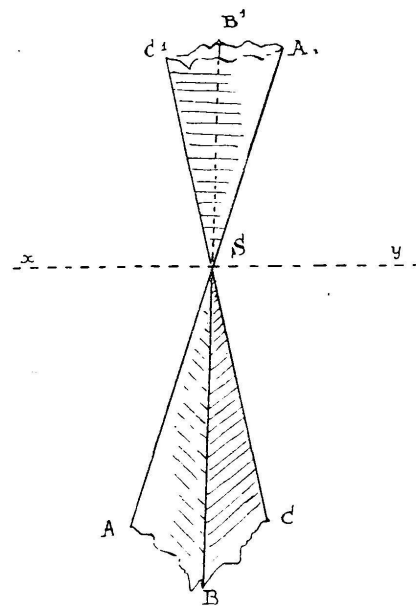


Fig. 57.

rotation de un demi-tour exécutée autour d'une perpendiculaire menée par S à cette face, mais, après ce mouvement, la droite SB est restée d'un même côté du plan ASC et ne pourra donc pas venir coïncider avec sa symétrique SB' . Si pourtant le trièdre est *isocèle*, si par exemple (fig. 57) le dièdre d'arête SA est égal au dièdre d'arête SC , une rotation de un demi-tour exécutée autour de la perpendiculaire XY à la bissectrice de l'angle ASC fera coïncider le trièdre sur son symétrique ; mais dans ce mode de superposition l'arête SC recouvre SA' qui n'est pas son élément symétrique.

Autre exemple. — Il résulte des lois de la réflexion de la lumière

que l'image d'une figure F éclairée, fournie par un miroir plan, est une figure symétrique de F , par rapport à ce miroir.

Or, regardez-vous dans une glace plane, et que votre main gauche tire votre oreille gauche, votre image ne vous est pas superposable car elle se tire l'oreille droite.

3. — *Les figures planes sont égales à leurs symétriques.* — Ce fait résulte du théorème suivant (fig. 58) :

THÉORÈME. — *Si on fait tourner une figure plane F autour d'un axe XY situé dans le plan (1) de la figure et si la figure F vient, après la rotation occuper la position F' dans le plan (2) les figures égales F et F' sont encore symétriques par rapport au plan P qui partage en deux dièdres égaux le dièdre formé par les deux demi-plans, (1), XY , d'une part, et, 2, XY , d'autre part.*

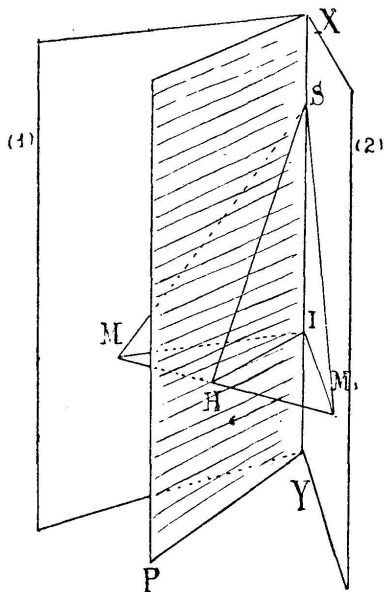


Fig. 58.

En effet tout point S de la figure situé sur l'axe demeure immobile, si donc H est le milieu de la droite qui réunit un point M de la figure à sa nouvelle venue dans la figure F' , la droite SH sera perpendiculaire à MM' et bissectrice de l'angle en S du triangle *isocèle* MSM' .

En faisant varier à volonté le point S on voit que la droite MM' est perpendiculaire en H au plan qui passe par H et par XY ; en prenant pour S le point I projection commune des points M et M' sur XY on voit de suite que le plan H, XY est le plan qui forme des dièdres égaux avec les plans (1) et (2) ce plan est donc le même pour tous les points M ; or M et M' sont symétriques par rapport à ce plan fixe. Il en est de même des figures F et F' .

Remarque. — Ce théorème est la clef des propriétés du triangle sphérique isocèle.

II. — Propriétés du triangle sphérique.

1. — *Propriété du triangle sphérique dont deux côtés sont égaux.* — Soit (fig. 59) ABC un triangle sphérique isocèle

c'est-à-dire dont les côtés arc AB et arc AC sont égaux. Soient I le milieu de l'arc de base BC, H le milieu de la corde de l'arc de grand cercle BC, et O le centre de la sphère ; il résulte du théorème précédent que :

1° les arcs égaux AB et AC sont symétriques par rapport au plan bissecteur du dièdre (B, OA, C) ; 2° les arcs égaux BI et IC sont symétriques par rapport au plan bissecteur du dièdre (équivalent à 2 droits) (B, OI, C) ; de plus, tous deux perpendiculaires à BC au point H, ces deux plans doivent coïncider.

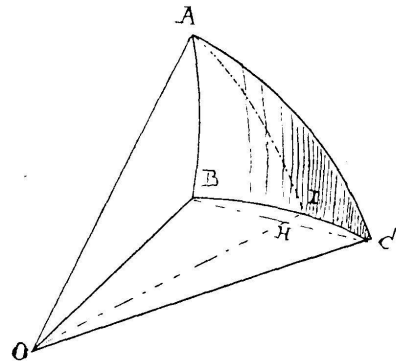


Fig. 59.

Ainsi donc : La figure formée par l'arc de cercle AB, l'arc BI, les deux rayons OA, OB, est symétrique de la figure formée par l'arc de cercle AC, l'arc CI, les deux rayons OA, OC. En particulier les tangentes en B aux deux arcs de grand cercle BA et BC forment un angle plan symétrique de l'angle formé par les tangentes en C aux deux arcs de grand cercle CA et BC, ces deux angles sont donc égaux, et enfin les angles en B et C du triangle sphérique ABC sont égaux ; de plus le plan des quatre points A I H O étant le plan de symétrie des deux portions du triangle sphérique considéré, on voit que les deux tangentes en I aux deux arcs IB et IC, portions du même arc BC, sont à la fois *coïncidentes* et *symétriques* par rapport à ce plan, mais hors de ce plan ; elles forment donc une perpendiculaire à ce plan qui est celui de l'arc de grand cercle AI ; donc enfin dans le triangle sphérique isocèle l'arc AI qui joint le sommet au milieu de l'arc de base est perpendiculaire à cette base.

2. *Propriété du triangle sphérique dont deux angles sont égaux.* — Soit O le centre de la sphère. Considérons d'abord le cas d'un triangle sphérique ABC (fig. 60) dont les angles en B et C sont droits ; A est alors un *pôle*¹ de l'arc de grand cercle BC, c'est-à-dire que le rayon OA est perpendiculaire au plan BOC (théorie du dièdre), les arcs AB et AC égaux chacun à un quadrant² sont égaux. Soit H le milieu de BC,

¹ *pôle* d'un cercle de la sphère : point où l'axe du cercle perce la surface sphérique.

² *quadrant* ou quart de la circonférence d'un grand cercle.

l'arc AH est dans le plan de symétrie des figures planes BOA et COA, soit D un point quelconque de l'arc AH ; joignons

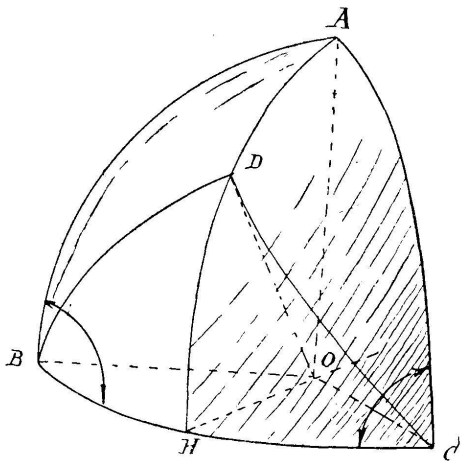


Fig. 60.

OD, D est à lui-même son symétrique, B et C sont symétriques par rapport au plan ADHO, les angles plans DOB et DOC symétriques sont égaux, donc les arcs BD et DC sont égaux et les angles sphériques \widehat{DBC} et \widehat{DCB} sont égaux.

Il n'y a d'ailleurs à partir du sommet C qu'un arc de grand cercle faisant avec l'arc de grand cercle BC et d'un côté de cet arc un angle

sphérique donné, comme le montre la notion du dièdre.

CONSÉQUENCE. — Si (fig. 61) un triangle quelconque sphérique $A'BC$ a ses angles en A et C égaux, l'angle DBC étant par exemple aigu, nous considérerons le pôle A de l'arc BC qui est dans le même hémisphère que A' , soit H le milieu de l'arc BC et D le point où l'arc BA' coupe AH. Joignons D à C par un arc de grand cercle, les arcs DC et $A'C$ feront au-dessus de BC un angle égal à l'angle DBH ; donc ces arcs DC et $A'C$ coïncideront. Donc A' devant coïncider avec D, on aura bien arc $A'C = \text{arc } A'B$.

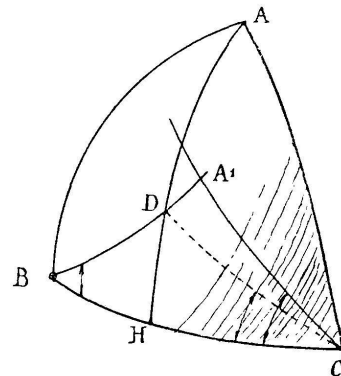


Fig. 61.

Ainsi, un triangle sphérique, qui a deux angles égaux, aura aussi égaux les côtés opposés à ces angles.

3. — *Triangle sphérique propre qui a deux angles inégaux.* — THÉORÈME. — *Dans un pareil triangle sphérique les côtés opposés à ces angles sont inégaux et dans le même ordre de taille.*

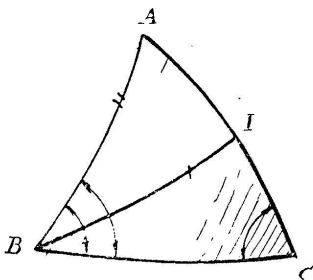


Fig. 62.

Du sommet B du plus grand des deux angles (fig. 62) traçons l'arc de grand cercle BI qui, dans le triangle fait avec le côté BC commun aux deux angles un angle égal au plus petit des deux angles comparés dont le sommet est en C, cet arc coupe

le côté AC en I; le triangle équiangle IBC est alors isocèle et

$$\text{arc BI} = \text{arc IC}.$$

Or le triangle propre AIB donne :

$$\text{arc AB} < \text{arc AI} + \text{arc IB}$$

c'est-à-dire

$$\text{arc AB} < \text{arc AI} + \text{arc IC}$$

ou enfin

$$\text{arc AB} < \text{arc AC}.$$

Ce qui démontre le théorème énoncé.

On va établir la *réciproque* de cette proposition.

4. — *Triangle sphérique qui a deux côtés inégaux.* — Soient (sans figure) a et b les côtés inégaux; \widehat{A} et \widehat{B} les angles respectivement opposés à ces côtés; je dis que le fait : $a < b$ va entraîner le fait : $\widehat{A} < \widehat{B}$.

En effet des trois seules hypothèses possibles

$$1^\circ \widehat{A} > \widehat{B}; \quad 2^\circ \widehat{A} = \widehat{B}; \quad 3^\circ \widehat{A} < \widehat{B}$$

la première entraînerait (V; II, 3) $a > b$; la seconde exigerait (V; II, 2) que $a = b$; la troisième hypothèse subsiste donc seule et la démonstration est achevée.

5. — *Comparaison de ces théorèmes avec les théorèmes analogues du plan.* — En comparant les propositions qui précèdent et leurs analogues dans le plan (Chapitre III) le lecteur aperçoit la raison des changements nécessaires dans les étapes des démonstrations. Nous avons, avec les propriétés admises pour la droite, adopté et justifié pour cette série de propositions le point de départ suivant :

L'angle *extérieur* d'un triangle dépasse l'un et l'autre des deux angles du triangle qui n'ont pas même sommet que l'angle extérieur considéré.

Or cette proposition, on le voit aisément, *est fausse* pour les triangles sphériques; exemple: ceux-ci peuvent avoir deux angles droits et un troisième angle supérieur à 1 droit.

En revanche nous possédions pour les triangles sphériques, images des trièdres, cette proposition qu'un côté du triangle est plus petit que la somme des deux autres.

De là ce changement dans la marche suivie; les angles sphériques ne sont plus superposables sur eux mêmes par retournement, et les raisonnements, qui pour le plan employaient le retournement, sont remplacés sur la sphère par les raisonnements qui invoquent les propriétés de la symétrie.

Ces remarques se vérifieront encore dans la théorie des perpendiculaires et des obliques sphériques que nous allons résumer succinctement.

III. — Perpendiculaires et obliques sur la sphère.

Etant donnés sur la sphère (sans figure) un arc de grand cercle XY et un point A hors de cet arc, nous distinguerons deux cas : 1° ou bien A est un pôle de XY : 2° ou bien A est distinct des pôles de XY ; en nous rappelant les propriétés de la projection d'une droite sur un plan (chapitre II) nous voyons que dans le cas 1° tous les arcs de grand cercle joignant A aux divers points de XY sont égaux à un quadrant et tous perpendiculaires à XY ; au contraire dans le second cas on obtient l'arc perpendiculaire à XY et passant par A en joignant ce point à l'un ou l'autre pôle de XY.

L'arc ainsi obtenu *est unique* mais il a deux pieds : (fig. 63) le pied H ou le pied K ; l'un d'eux H est à une distance de A moindre qu'un quadrant. Nous allons voir que cette distance AH est la plus courte distance sphérique de A aux divers points de XY ; comparons l'arc AH à l'arc *oblique* AM prolongeons AH d'une longueur égale au-dessus de XY et joignons A' et M par un grand arc ; le triangle AA'M est un triangle propre et

$$\text{arc } AA' < \text{arc } AM + \text{arc } A'M$$

les arcs AM et A'M sont égaux comme symétriques par rapport au plan du cercle XY, donc

$$2 \text{ arc } AH < 2 \text{ arc } AM$$

ou

$$\text{arc } AH < \text{arc } AM .$$

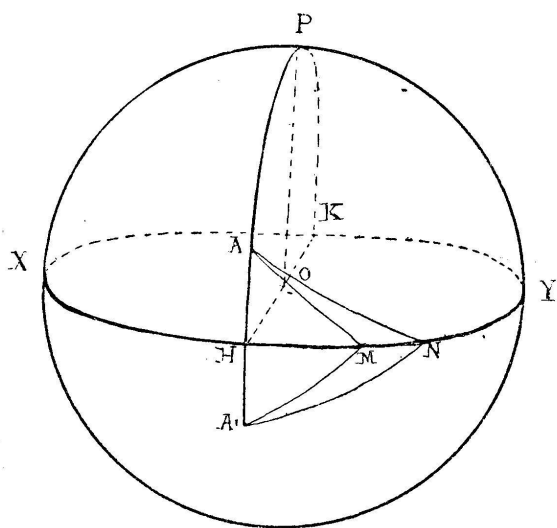


Fig. 63.

Soient (fig. 63) AM et AN deux obliques aboutissant du même côté de H et telles que HM et HN soient tous deux moindres que 2 *quadrants*. Soit alors $\text{arc } HM < \text{arc } HN$.

Le triangle AMA' est intérieur alors au triangle propre ANA' or soient (fig. 64) deux tels triangles; prolongeons l'arc AM jusqu'en J sur $A'N$; par les deux triangles sphériques partiels on a :

$$\begin{aligned} \text{arc } AM + \text{arc } MJ &< \text{arc } AN + \text{arc } NJ \\ \text{arc } A'M &< \text{arc } MJ + \text{arc } JA ; \end{aligned}$$

d'où, en ajoutant ces égalités membre à membre :

$$\text{arc } AM + \text{arc } MA' < \text{arc } AN + \text{arc } NA',$$

en appliquant ceci à la figure 63, nous aboutirons à la conclusion :

$$2 \text{ arc } AM < 2 \text{ arc } AN, \quad \text{ou à :} \quad \text{arc } AM < \text{arc } AN ;$$

donc, de 2 obliques sphériques qui s'écartent inégalement du *pied propre* de la perpendiculaire celle qui s'écarte le plus est la plus grande.

PROPRIÉTÉ DES OBLIQUES RÉDUITES. — TRIANGLES RÉDUITS. — Nous considérons d'abord (fig. 65) les obliques dont les pieds s'écartent de moins d'un quadrant du pied de la plus courte distance; consi-

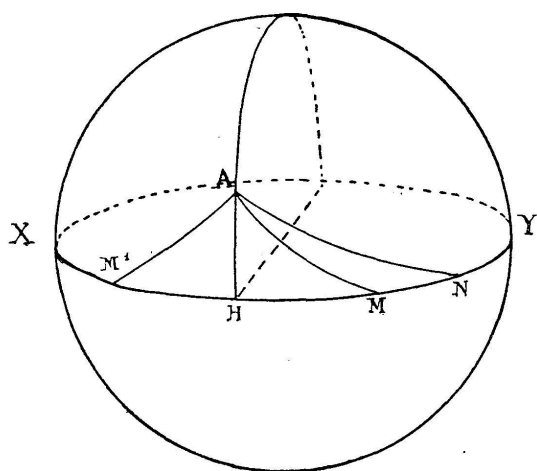


Fig. 65.

dérons d'abord deux telles obliques AM et AN , situées dans un même hémisphère par rapport à AH ; soit $\text{arc } HM < \text{arc } HN$ et soit AM' l'arc symétrique de AM par rapport au plan de l'arc AH ; $\text{arc } AM < \text{arc } AN$; donc : $\text{arc } AM' < \text{arc } AN$; donc, dans le triangle propre $M'AN$ angle $\widehat{AM'H} > \text{angle } \widehat{ANM}$; donc, en revenant au triangle AMN , angle extérieur en $M < \text{angle } \widehat{ANM}$.

Remarque. — On étendra aisément cette propriété à tout triangle

sphérique *réduit*, c'est-à-dire, dont les trois côtés sont moindres qu'un quadrant.

Petits cercles sur la sphère. — Le rayon sphérique d'un petit cercle de la sphère sera la distance sphérique de l'un des pôles à un point quelconque du petit cercle; dans ce qui suit nous prendrons pour pôle celui des pôles pour lequel le rayon sphérique est moindre qu'un quadrant.

La remarque faite tout à l'heure sur l'angle extérieur des triangles sphériques réduits nous permettra de démontrer à l'égard des petits cercles de la sphère les mêmes théorèmes de continuité que ceux établis pour les cercles du plan; en considérant ainsi les pôles propres et les rayons propres des petits cercles de la

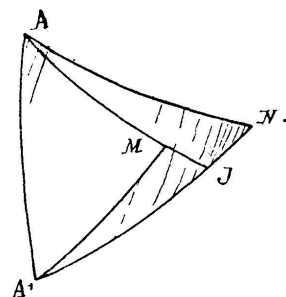


Fig. 64.

sphère, nous aurons alors pour les positions mutuelles de deux petits cercles de la surface sphérique les mêmes critères que pour les cercles du plan (voir chapitre IV).

IV. — Quelques propriétés spéciales aux triangles sphériques, leurs aires comparées.

1° *Le fuseau sphérique et la notion d'aire sphérique.* — Les fuseaux sphériques de même angle sont, au moins d'une manière, superposables; ils représentent des *étendues* ou *aires* sphériques mesurables et comparables entre elles comme les angles des fuseaux considérés.

D'autre part si on partage un fuseau en deux portions par un plan perpendiculaire à l'arête du fuseau on obtient deux triangles sphériques bi-rectangles symétriques et isocèles admettant un mode de superposition indiqué par la figure 66.

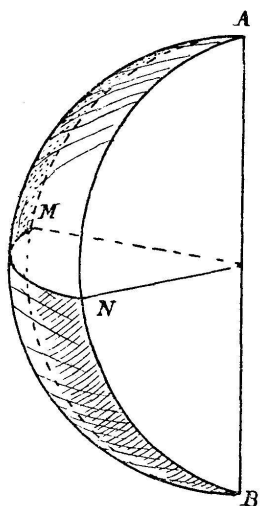


Fig. 66.

L'aire du fuseau est alors *double* de l'aire de l'un ou l'autre de ces triangles.

Nous appellerons *aires sphériques équivalentes* : des aires qui sont composées de *portions superposables en correspondance dans les deux figures*.

Si on prend comme unité d'aire *l'aire du triangle sphérique trirectangle* qui est la huitième portion de la sphère, l'aire d'un fuseau sera évidemment mesurée par deux fois le nombre qui mesure son angle comparé à l'angle droit.

2° THÉORÈME. — *Deux triangles sphériques symétriques sont équivalents.* — Si on élève sur deux côtés d'un triangle sphérique, et en leurs milieux, des arcs de grand cercle perpendiculaires respectivement à ces côtés, le point I (sans figure) où ces arcs se coupent est à des distances sphériques égales des trois sommets, il appartient donc à l'arc de grand cercle perpendiculaire au troisième côté en son milieu.

Soient (fig. 67, en haut) ABC et A'B'C' deux triangles sphériques symétriques, le point I' symétrique du point I de l'un sera évidemment à distances sphériques égales des trois som-

mets, puisque les éléments plans correspondants des figures symétriques sont égaux.

Pour la même raison les distances sphériques AI, AH, BH, HC sont respectivement égales à leurs symétriques, arcs A'I', arc A'H', arc B'H', arc H'C'; d'où résulte que si le point I est intérieur à ABC, I' sera intérieur à A'B'C', et que si le point I est dans l'angle \widehat{ABC} et de l'autre côté de AC que B, la position de I' à l'égard des éléments symétriques A'B'C' sera la même que la disposition précédente, quoiqu'avec une orientation différente.

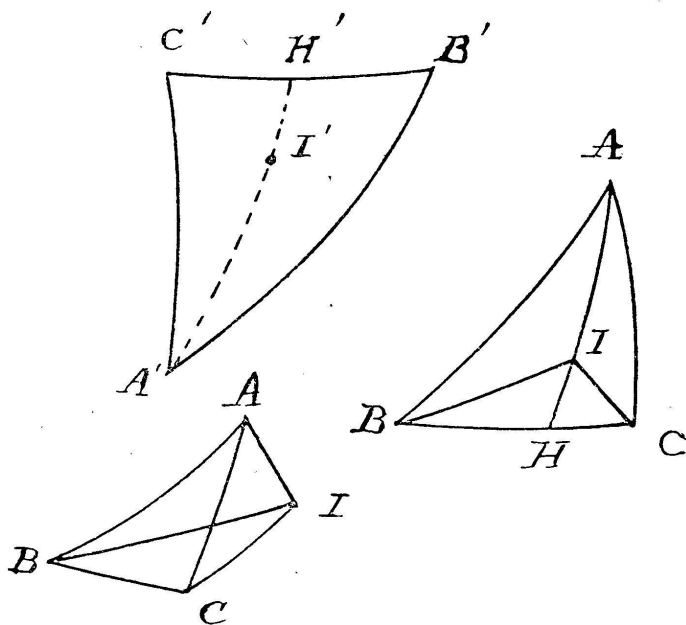


Fig. 67.

Le triangle sphérique considéré est alors la somme de trois portions additives ou la somme de deux portions positives diminuée d'une portion soustractive; ces portions sont *isocèles*, et par conséquent admettent un mode de superposition avec leurs symétriques, d'où résulte enfin que les deux triangles sphériques ABC et A'B'C' sont bien équivalents.

3° *Mesure de l'aire d'un triangle sphérique.* — En prolongeant (fig. 68) les côtés AC et CB jusqu'aux points A' et B' où ils recouperont respectivement le côté AB prolongé, on partage toute une moitié de la sphère en quatre triangles : ACB, et les trois triangles (1), (2), (3). Avec l'unité d'aire adoptée la demi-sphère vaut 4 unités; soient \widehat{A} ,

\widehat{B} , \widehat{C} les angles du triangle sphérique considéré, le triangle (1) vaut le fuseau B moins le triangle ACB; le triangle (2)

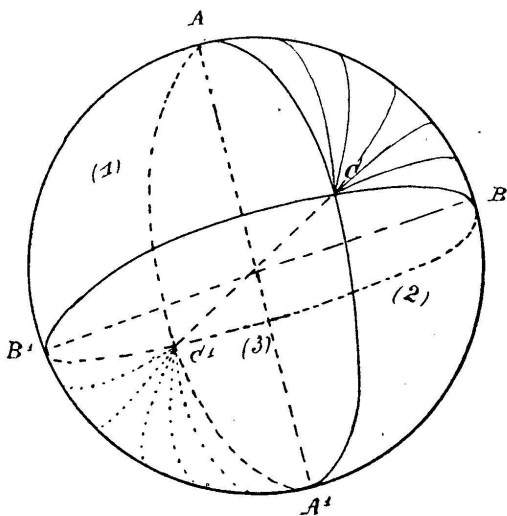


Fig. 68.

\widehat{A} , \widehat{B} , \widehat{C} les angles du triangle sphérique considéré, le triangle (1) vaut le fuseau B moins le triangle ACB; le triangle (2)

vaut le fuseau A moins le triangle ACB ; le triangle (3) vaut le fuseau C moins le symétrique $A'C'B'$ du triangle ACB, d'ailleurs équivalent à ce dernier ; chaque fuseau étant mesuré par 2 fois son angle mesuré lui-même avec l'angle droit, nous aurons, par la décomposition de l'hémisphère ci-dessus définie,

$$(2A - \text{aire ACB}) + (2B - \text{aire ACB}) + (2C - \text{aire ABC}) + \text{aire ACB} = 4$$

d'où :

$$\text{aire ABC} = (A + B + C - 2) \text{ droits.}$$

c'est-à-dire :

THÉORÈME. — *L'aire d'un triangle sphérique est mesurée par l'excès sur deux droits de la somme de ses angles ; c'est ce qu'on nomme l'excès sphérique du triangle.*

CHAPITRE VI

Géométrie qualitative de la sphère. — Déplacements de pivotement d'un corps solide.

Où s'arrête la géométrie qualitative ? Où commence la géométrie métrique ?

I. — Triangles sphériques supplémentaires et trièdres associés.

En comparant les aires des triangles sphériques situés sur une même surface sphérique, nous avons reconnu que la somme des trois angles d'un triangle sphérique surpasse deux angles droits par un *excès* dont la valeur est proportionnelle à l'aire du triangle ; cet excès est ce qu'on appelle l'excès sphérique du triangle.

On peut se proposer d'établir directement l'existence de cet excès sphérique soit sur le triangle sphérique, mais sans passer par la notion d'aire, soit sur l'angle trièdre dont le triangle est l'image.

C'est cette dernière méthode que nous suivrons.

Nous allons définir d'abord les trièdres *réciproques* ou