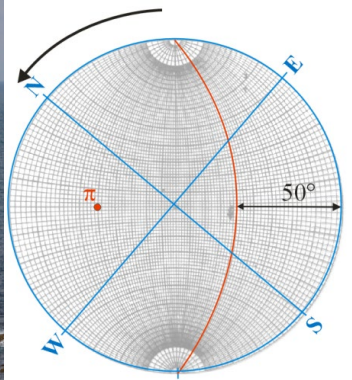


Projections et représentations cyclosphériques



Sébastien Zaragosi

Université de Bordeaux

<http://www.geocean.net>

université
de **BORDEAUX**

- => Principe de la méthode, définitions.
- => Représentation d'un plan.
- => Représentation d'une ligne.
- => Propriétés des figures projetées sur stéréogramme.
 - Angle entre deux lignes.
 - Angle entre deux plans.
 - Angle entre un plan et une ligne.
- => Représentation d'un pli cylindrique.
- => Représentation d'un pli conique horizontal.
- => Les rotations.

Projection : système de correspondance entre les points de la surface à représenter et les points du plan de projection, tel que chacun de ceux-ci représentent 1 point et 1 seul de la surface projetée.

Objectifs : effectuer des projections planes de structures à trois dimensions.

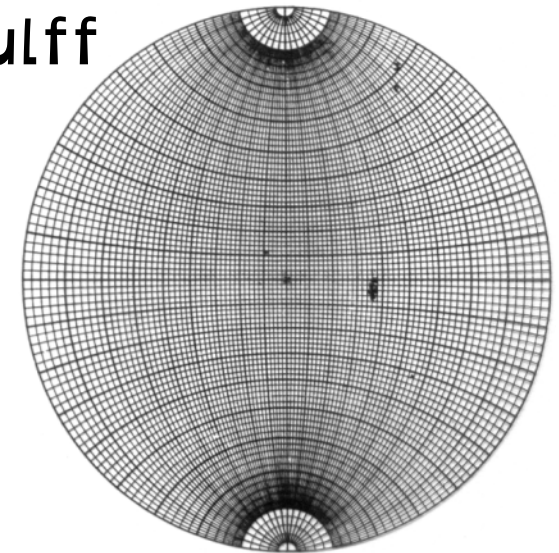
Canevas de projection : Diagramme correspondant à une transformation géométrique déterminée, et servant de repère pour la représentation d'éléments géométriques.

Utilisation : géologie structurale, sismologie, cristallographie, sédimentologie, ...

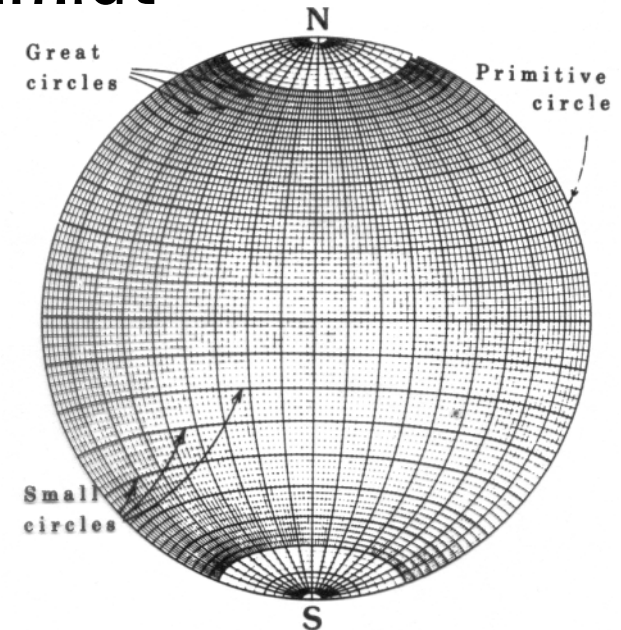
Canevas de Wulff : projection conforme (stéréographique), les rapports angulaires sont conservés.

Canevas de Schmidt : projection équivalente, les rapports de surface sont conservés.

Wulff



Schmidt

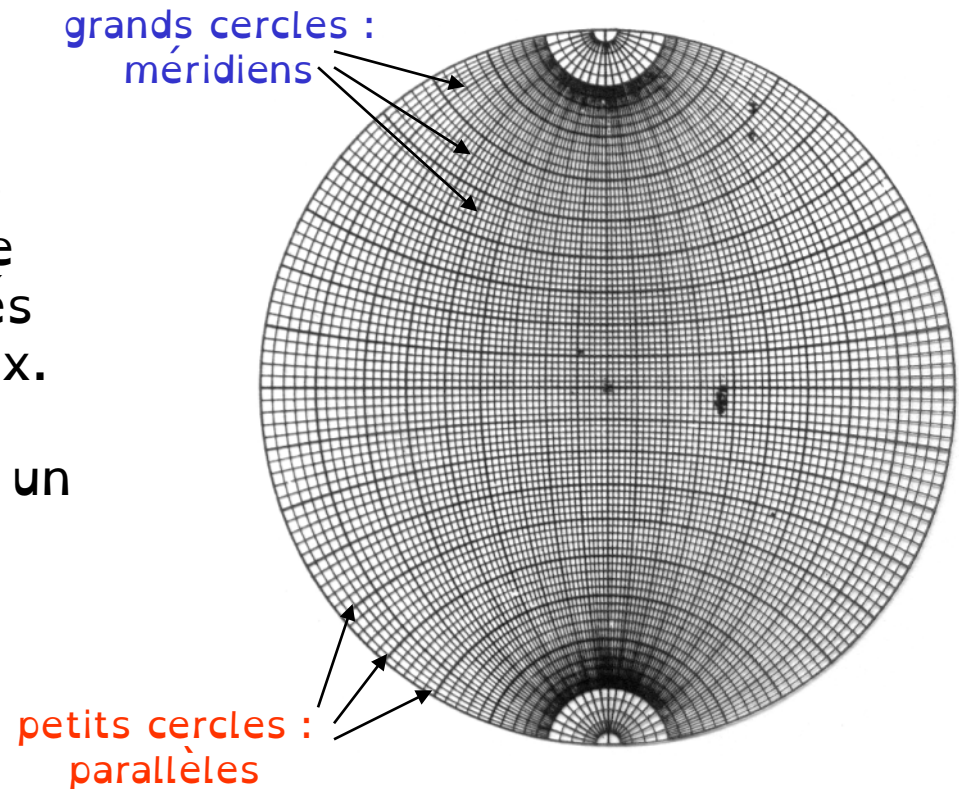


Le Canevas de Wulff : le réseau de méridiens et de parallèles de la **demie-sphère inférieure** sont projetés sur le plan équatorial horizontal.

Le canevas de Wulff permet de représenter sur un même figure des plans et des droites repérés par rapport aux points cardinaux.

Une droite est représentée par un point.

Un plan est représenté par un grand cercle.

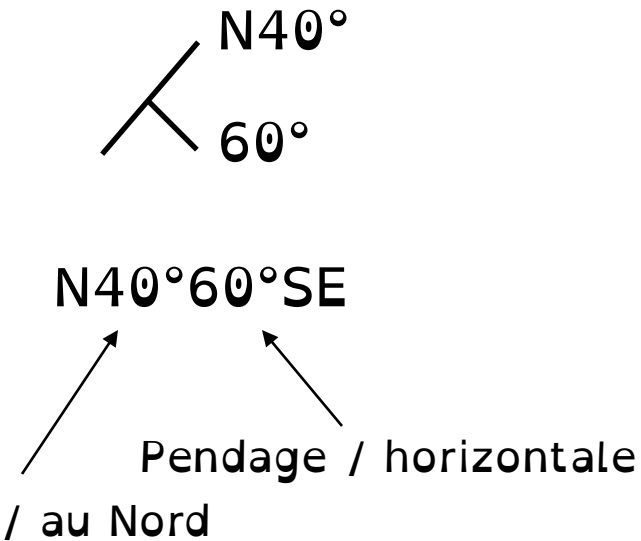
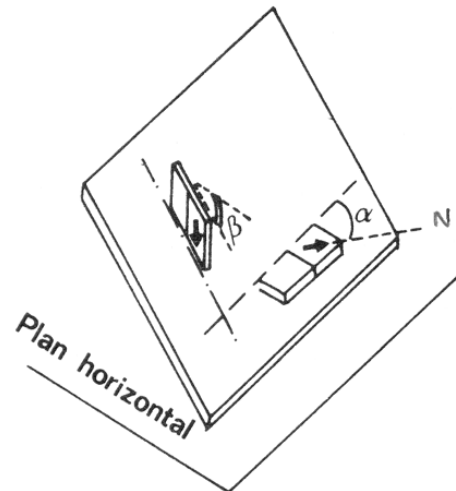


Principes de la reconstruction stéréographique : tous les objets passent par le centre de la sphère.

Représentation de plans :

- La stratification (S0).
- Les schistosités (S1, S2 ou S3).
- Les flans d'un plis.
- Le plan axial d'un plis.
- Les failles.

Deux types de représentations:
Représentation cyclographique.
Représentation polaire.

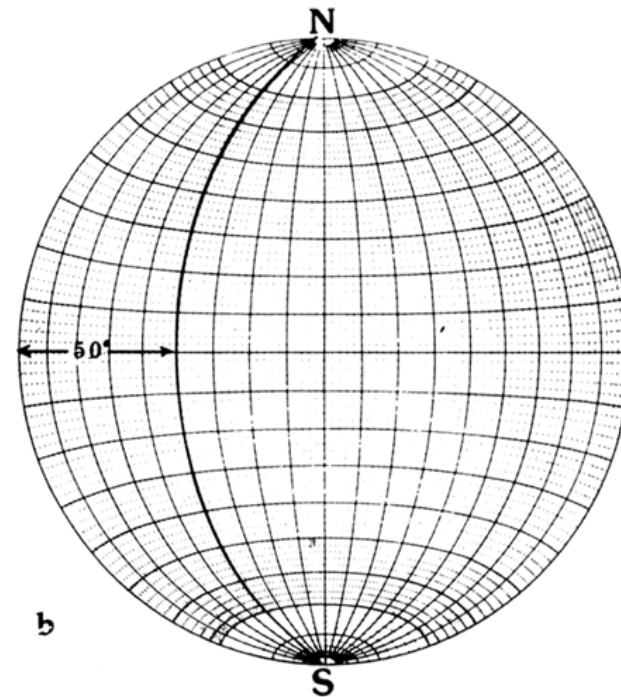
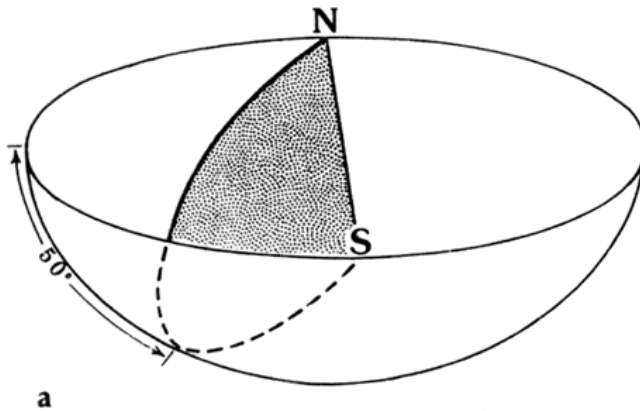
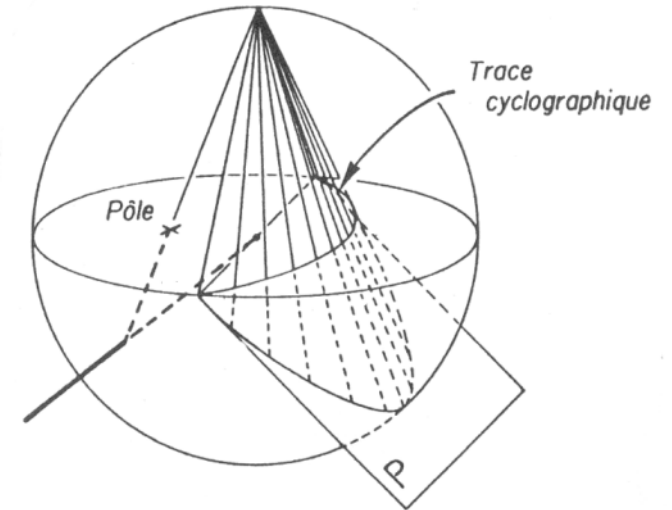


α : direction du plan (angle entre la ligne horizontale du plan et la direction du Nord magnétique).

β : pendage du plan (angle entre la ligne de plus grande pente du plan et l'horizontale).

Représentation cyclographique

Un plan est représenté par un grand cercle => un arc de cercle

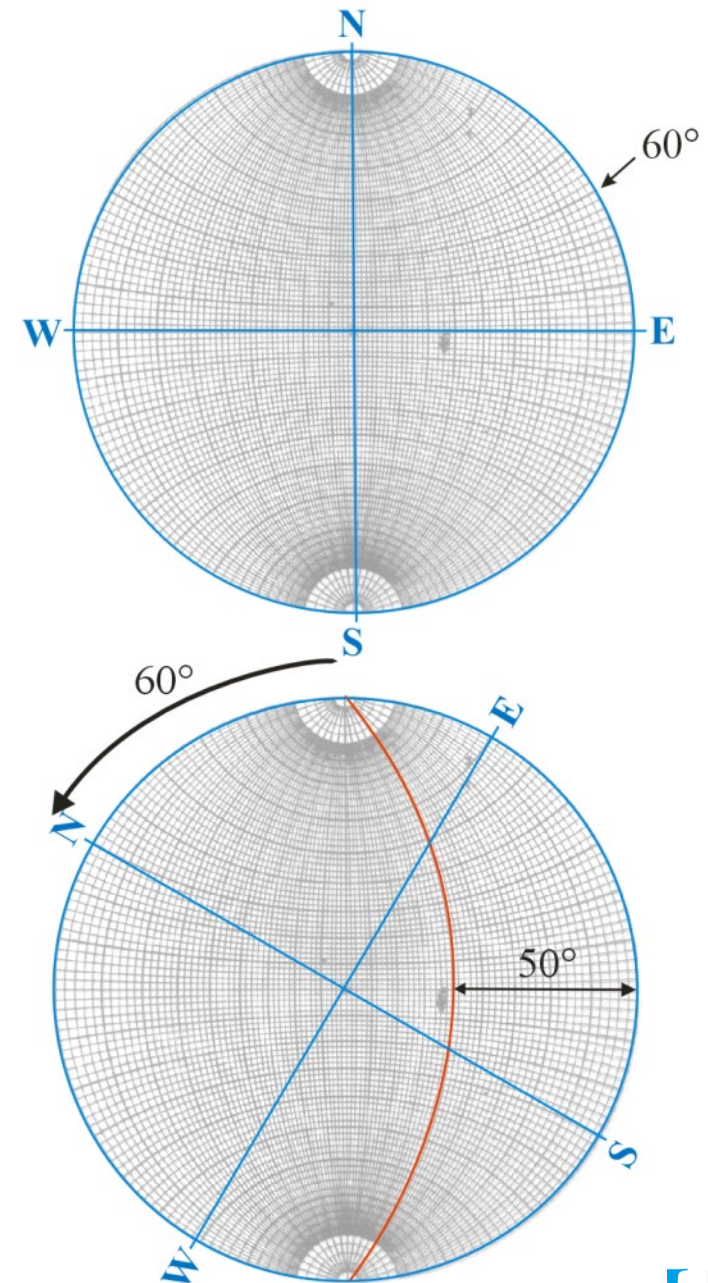


Représentation cyclographique

Ici : N60° 50°SE

1. Pour la direction ($\theta=60^\circ$), on note la valeur sur la périphérie puis on tourne le calque jusqu'à ce que la direction soit alignée sur l'axe N-S.

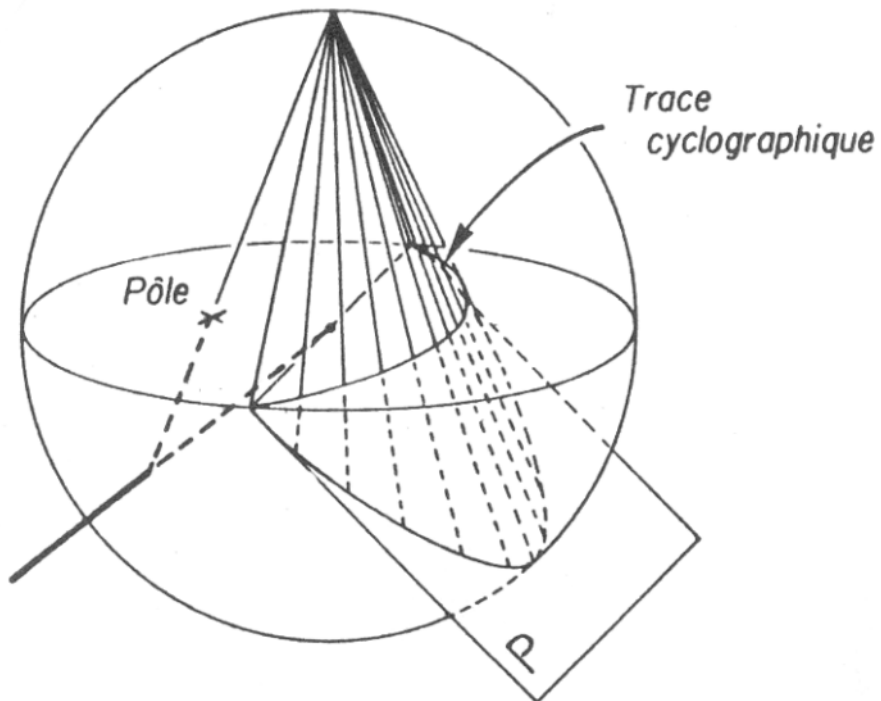
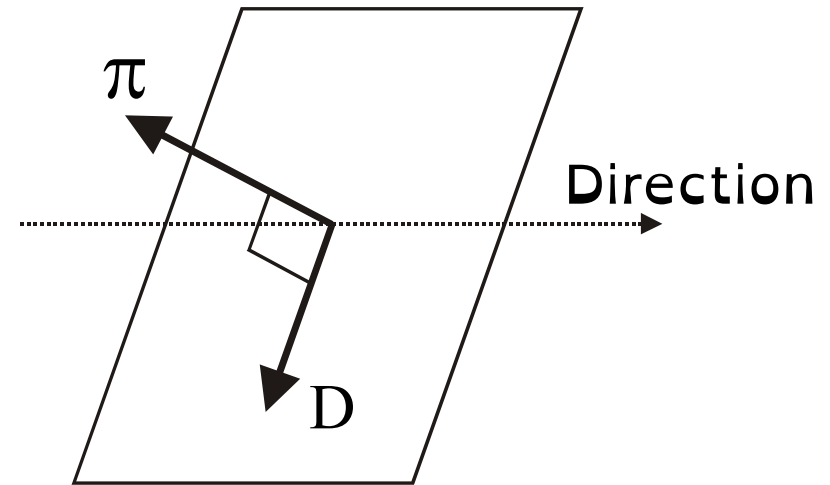
2. Le pendage ($\beta=50^\circ$ SE) se lit sur l'axe E-W avec 0° à l'extérieur et 90° au centre.



Représentation polaire

Le pôle d'un plan (π) correspond à sa normale (droite perpendiculaire au plan).

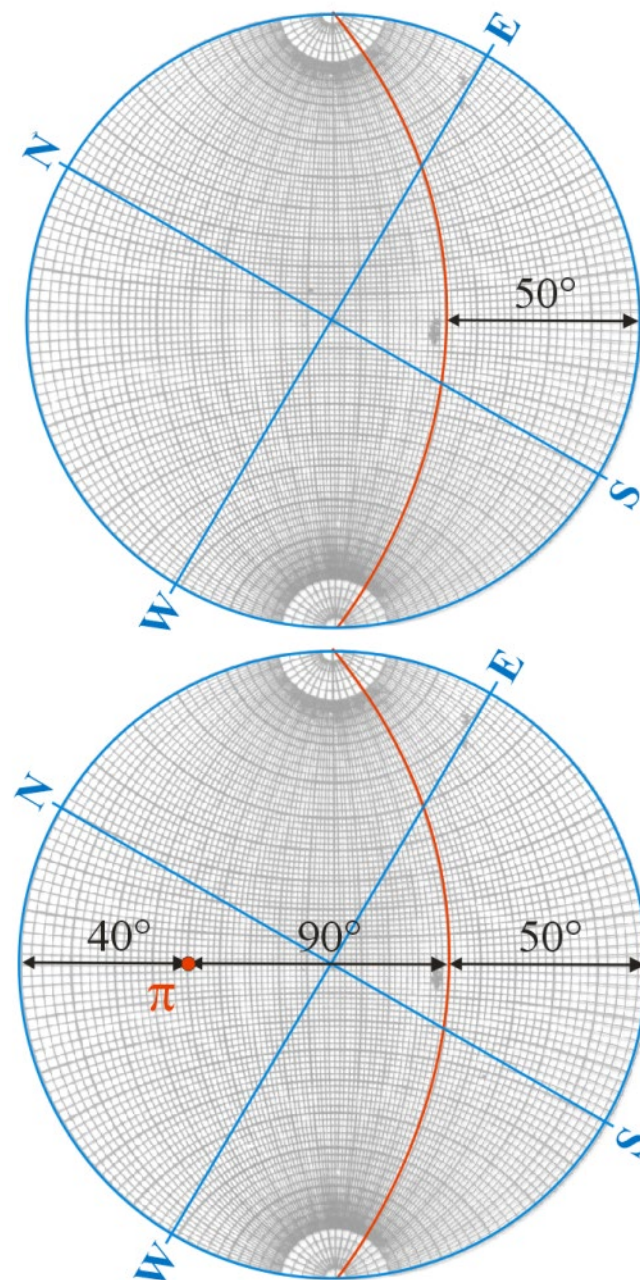
Il s'agit d'une ligne donc un point π sur le canevas.



Représentation polaire

Ici : N60° 50°SE

- Représenter le plan (représentation cyclographique).
- Positionner le pôle du côté opposé au grand cercle du plan. Il y a toujours 90° entre le pôle (π) et le pendage.



Représentation de lignes :

- Axes de plis
- Stries, canelures
- Intersection de plans (S_0/S_1 ; S_1/S_2)
- Axe de boudins
- Pics de stylolithes

Plusieurs représentations possibles :

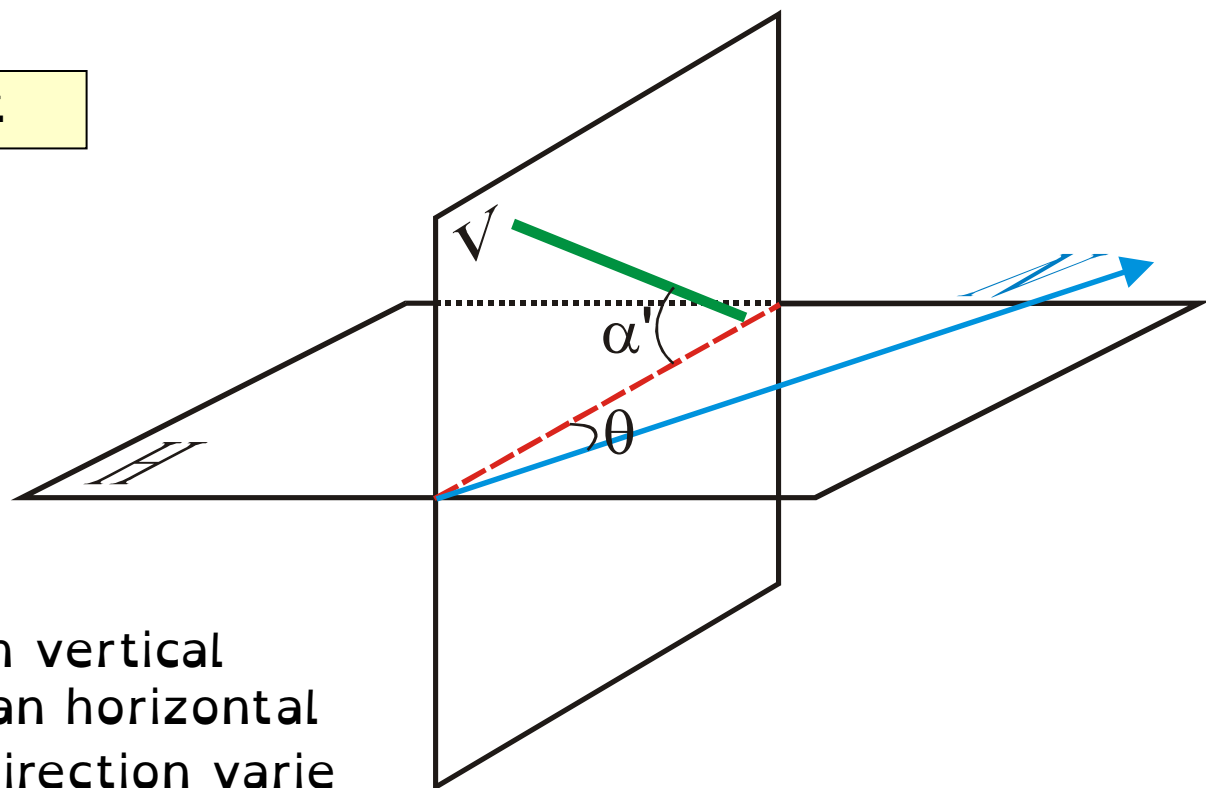
Direction + Plongement

Plan porteur + Direction

Plan porteur + Plongement

Plan porteur + Pitch

Direction + Plongement



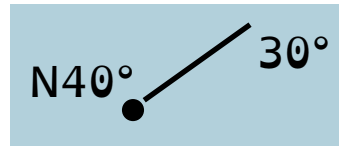
L'intersection entre le plan vertical contenant la ligne et le plan horizontal donne la direction (θ). La direction varie de 0° à 360° .

Le plongement (α' ; pendage) doit être mesuré dans le plan vertical contenant la ligne, entre l'horizontale et la ligne.

Direction + Plongement

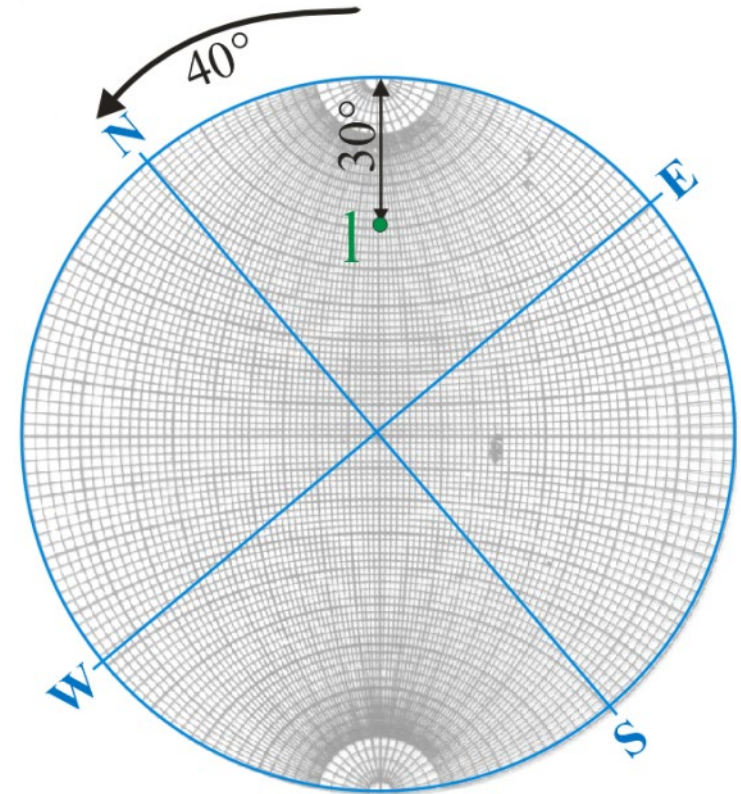
Ici: Direction $N40^\circ$

Plongement $30^\circ NE$



Pour la direction ($\alpha'=40^\circ$), on note la valeur sur la périphérie puis on tourne le calque pour pouvoir lire le plongement sur l'axe N-S.

Ensuite, le plongement ($\theta=30^\circ$) se lit sur l'axe N-S (de 0° à l'extérieur à 90° au centre).

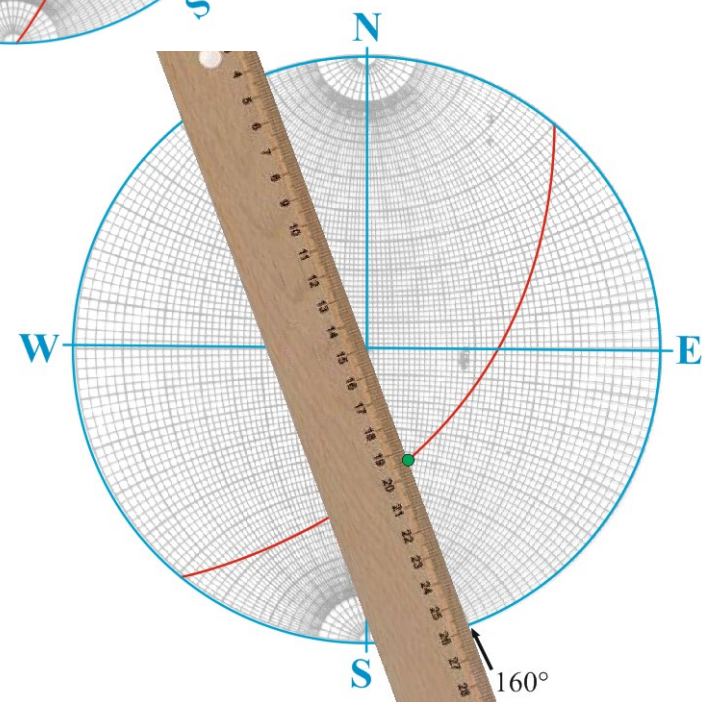
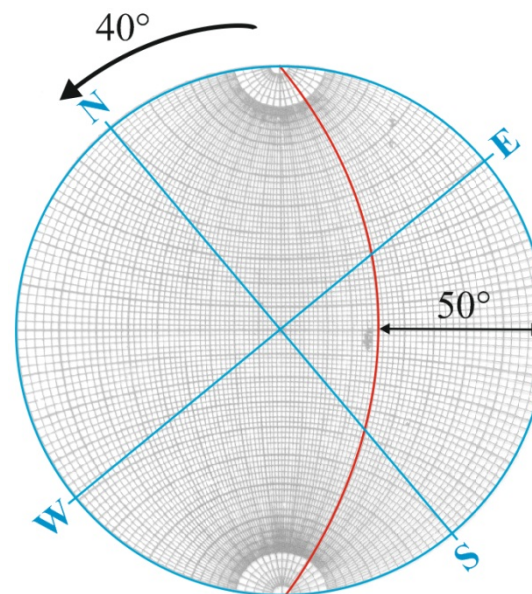


Plan porteur + Direction

Ici : Plan porteur $N40^\circ 50^\circ SE$

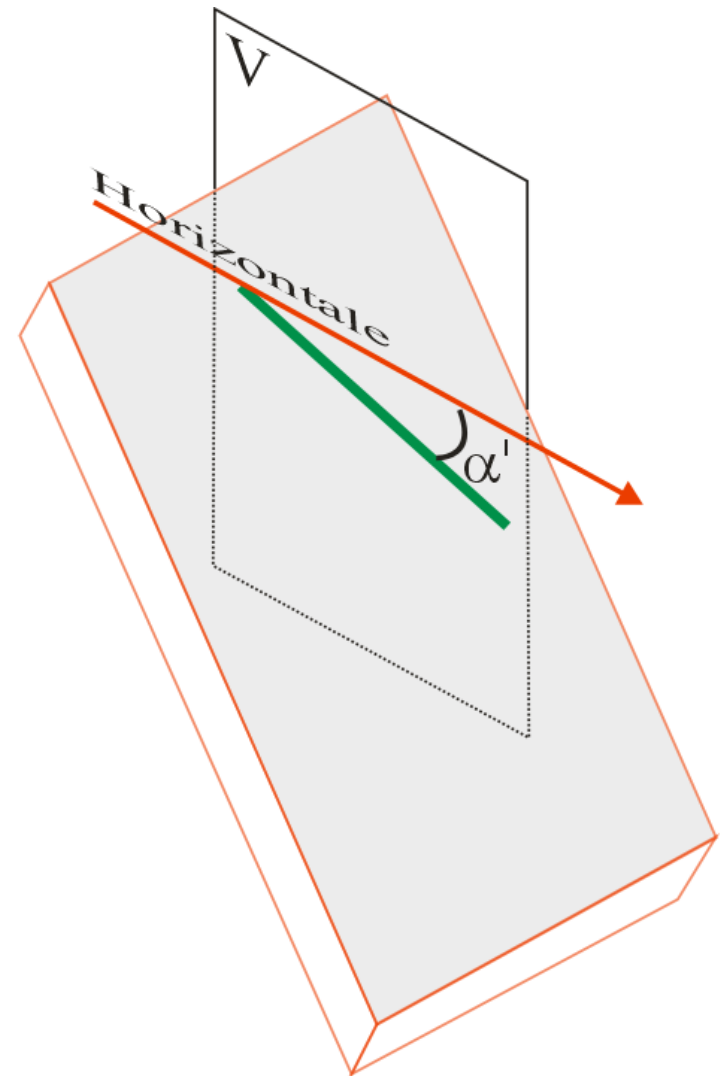
Ligne de direction $N160^\circ$

1. Tracer le plan porteur avec sa direction et son pendage.
2. Cherchez l'intersection entre la direction et le plan porteur (aidez vous d'une règle).



Plan porteur + Plongement

1. Plan porteur : Direction et pendage.
2. Le plongement (α') doit être mesuré dans le plan vertical contenant la ligne, entre l'horizontale et la ligne.

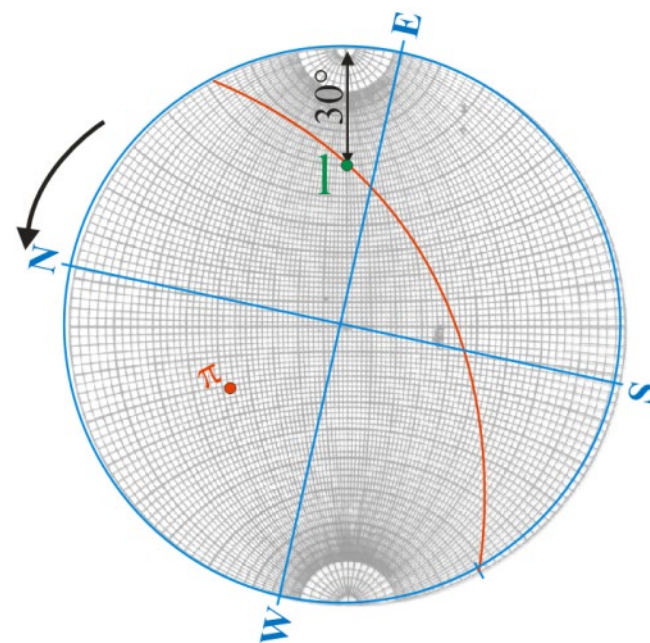
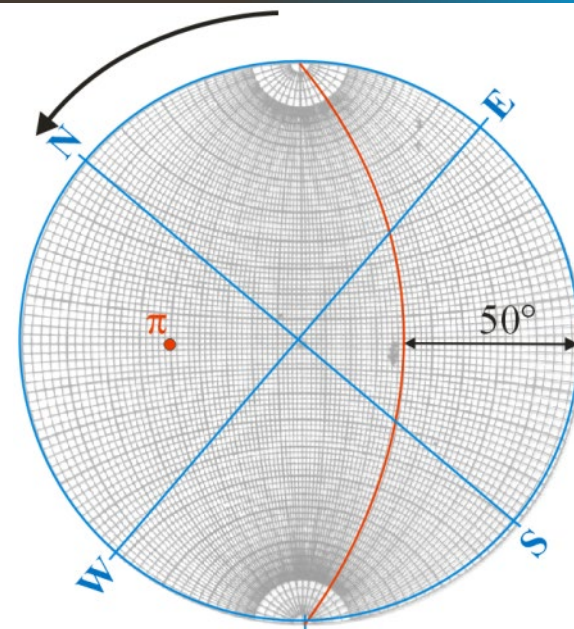


Plan porteur + Plongement

Ici : Plan porteur $N40^{\circ} 50^{\circ}SE$

Ligne de plongement $30^{\circ}ENE$

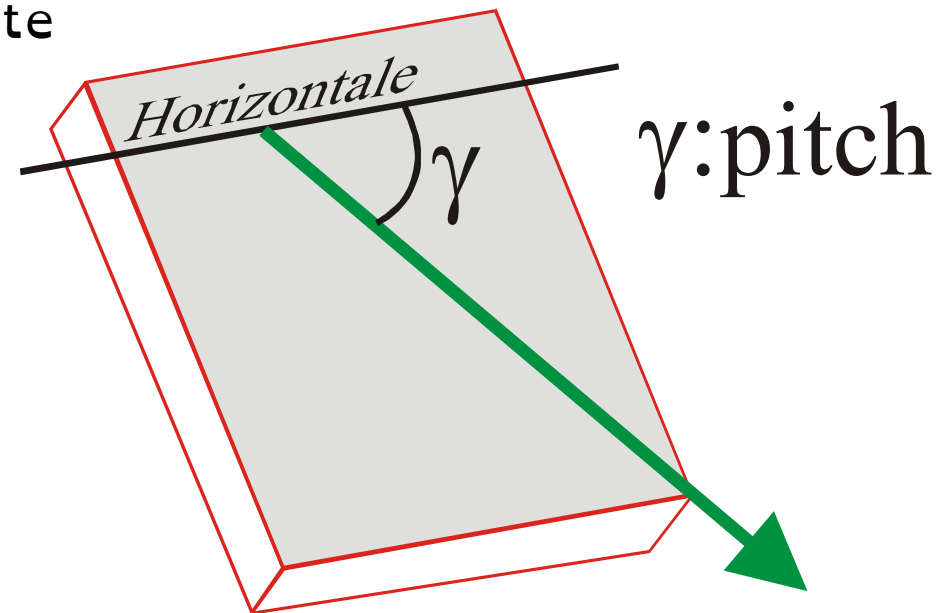
1. Tracer le plan porteur avec sa direction et son pendage.
2. Déplacer le plan porteur de manière à trouver l'intersection du plan porteur et l'axe N-S à $30^{\circ}ENE$.



Plan porteur + Pitch

Le pitch d'une ligne est l'angle (γ), orienté vers le bas que fait cette ligne avec l'horizontale au sein du plan porteur.

Cette mesure est plus facile et plus précise que la mesure directe du plongement. Cette mesure s'effectue directement avec un rapporteur.



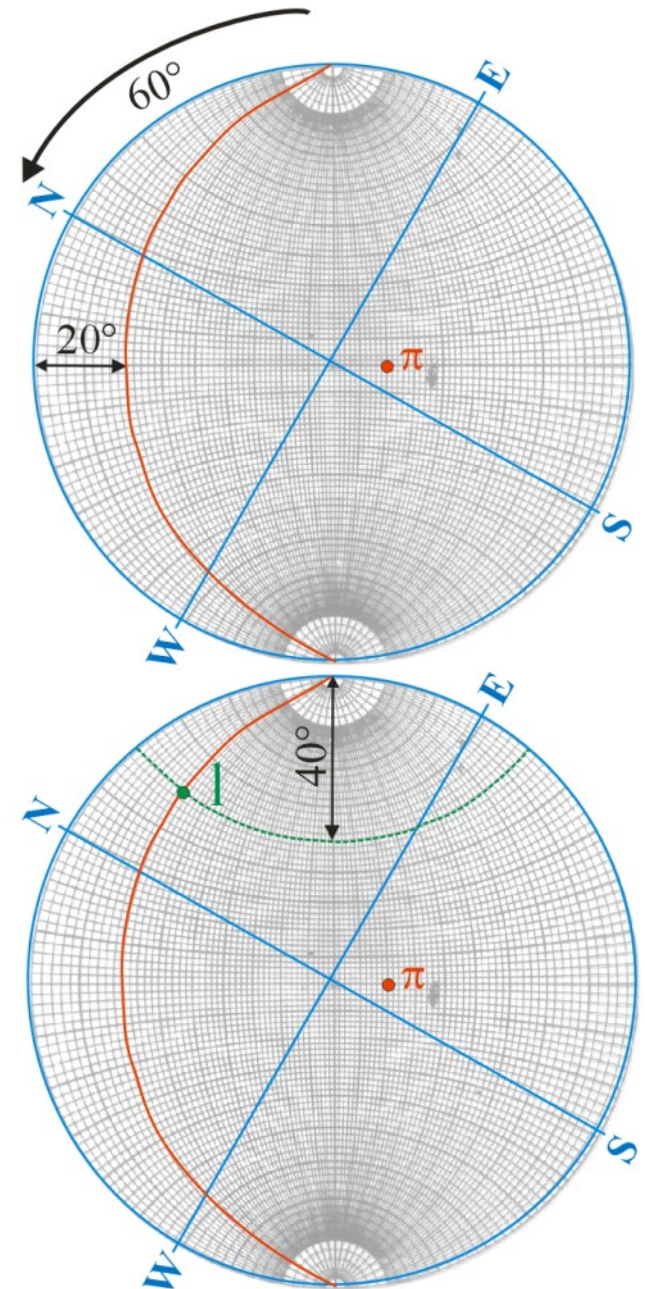
Plan porteur + Pitch

Ici : Plan porteur $N60^\circ 20^\circ NW$

Ligne de pitch 40°

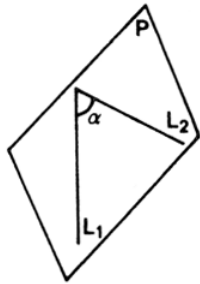
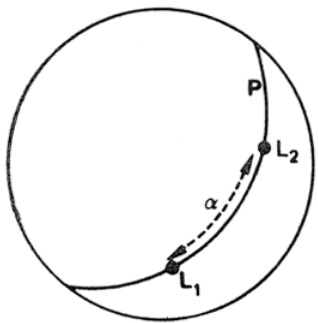
1. Tracer le plan porteur avec sa direction et son pendage.
2. La lecture du pitch (γ) se fait sur les petits cercles, du Nord vers le Sud.

La ligne est localisée à l'intersection entre le plan porteur et le pitch.



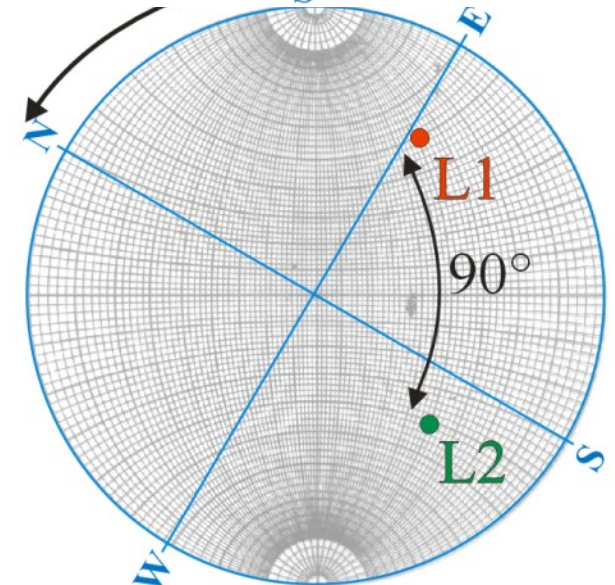
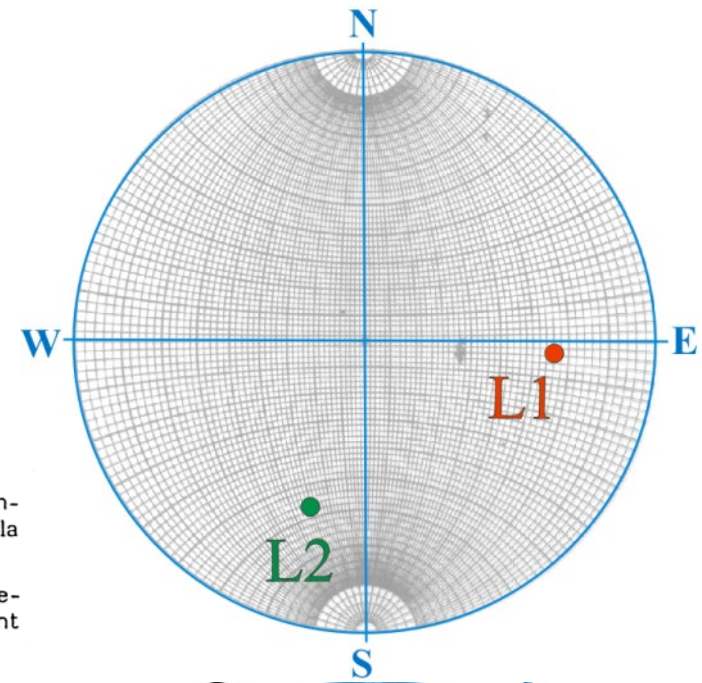
Angle entre deux lignes

L'angle entre 2 lignes est mesuré sur le grand cercle qui contient la trace des 2 lignes.



Le plan contenant deux lignes données est le grand cercle qui passe par la trace des deux lignes.

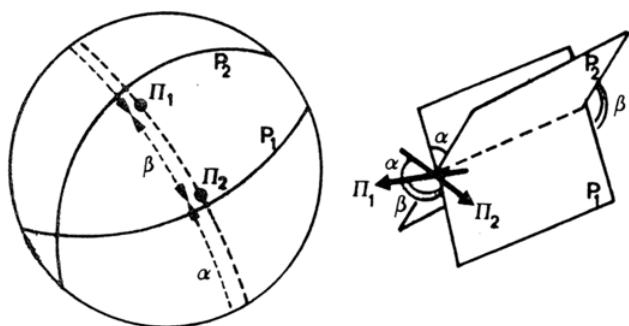
L'angle entre ces deux lignes est mesuré sur le grand cercle qui contient leurs traces.



Angle entre deux plans

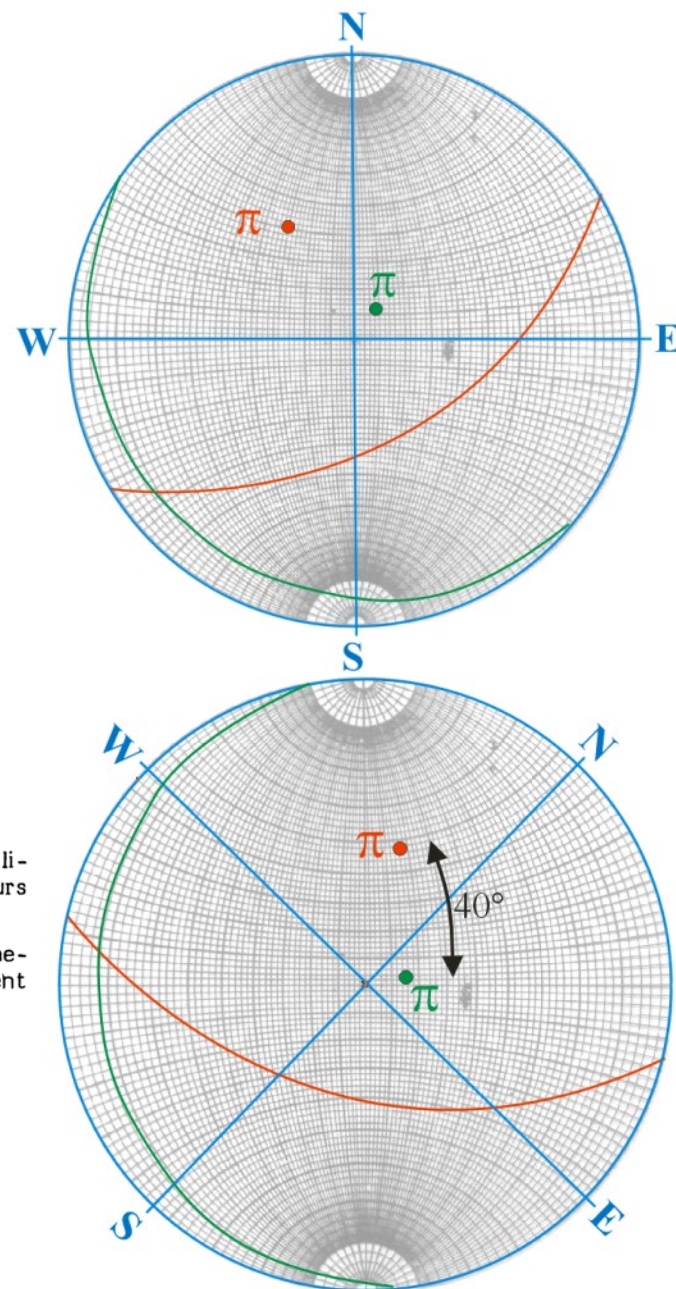
L'angle entre 2 plans est mesuré sur le grand cercle qui contient les pôles des 2 plans, en utilisant les graduations du canevas.

Il s'agit d'un angle dièdre, car mesuré dans un plan perpendiculaire aux deux premiers.



L'intersection de deux plans est la ligne définie par l'intersection de leurs traces cyclographiques.

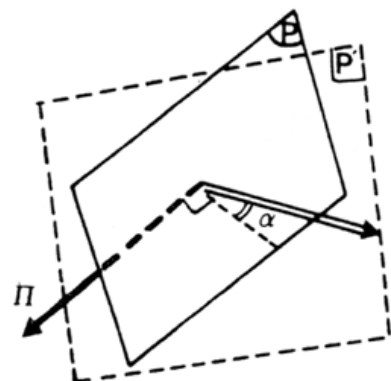
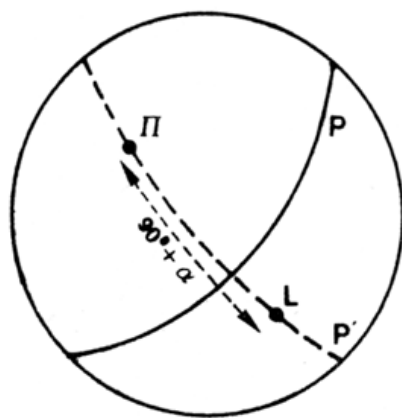
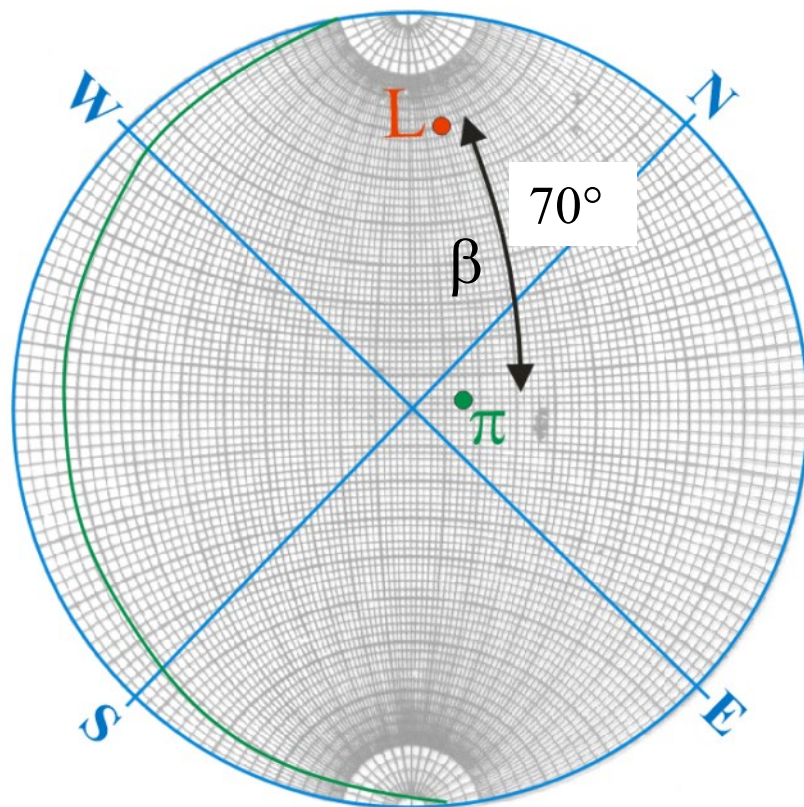
L'angle entre ces deux plans est mesuré sur le grand cercle qui contient leurs pôles.



Angle entre un plan et une ligne

L'angle entre un plan et une ligne est mesuré sur le grand cercle qui contient la ligne et le pôle du plan.

$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

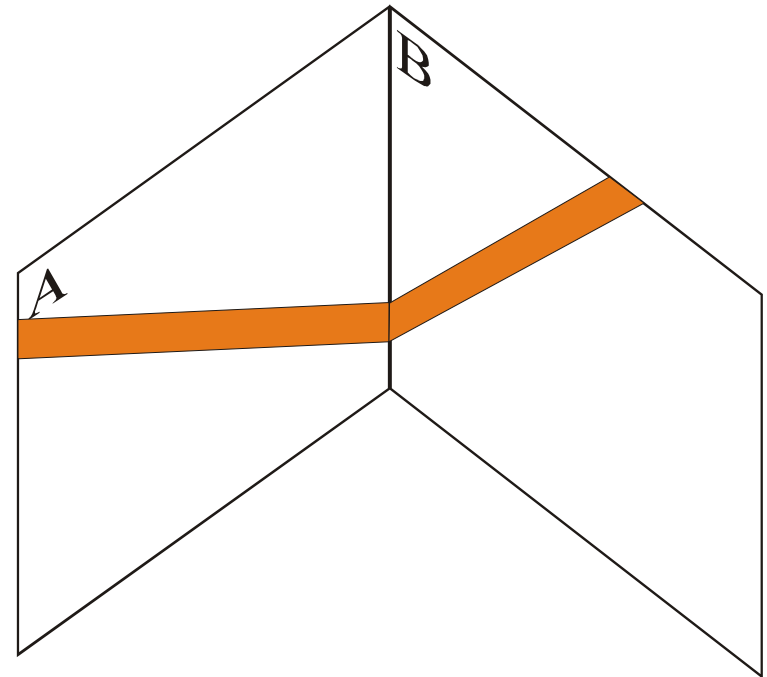


L'angle entre un plan et une ligne est mesuré sur le grand cercle contenant la ligne et le pôle du plan.

Le pendage apparent

Lorsqu'une surface ayant un certain pendage est coupée par un plan vertical (coupe géologique, front d'une carrière) le pendage observé est plus petit que le pendage réel. On parle de pendage apparent.

A partir de deux mesures de pendage apparent, on peut retrouver le pendage réel.



Le pendage apparent



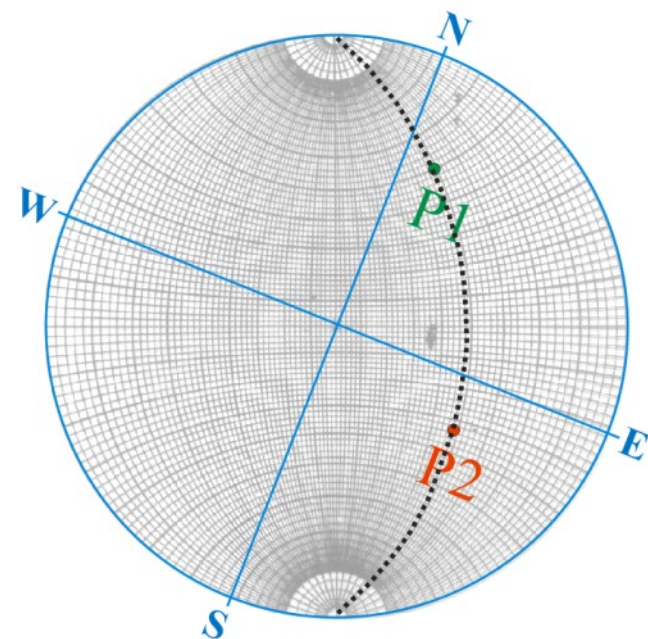
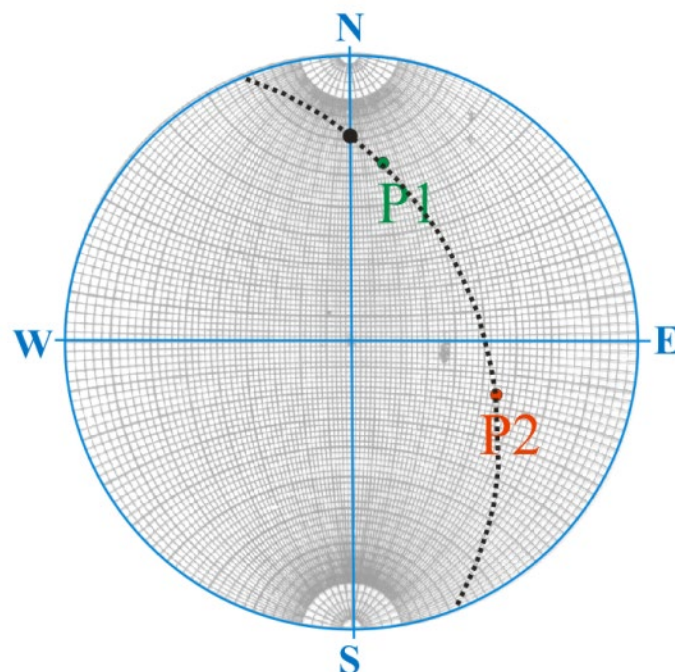
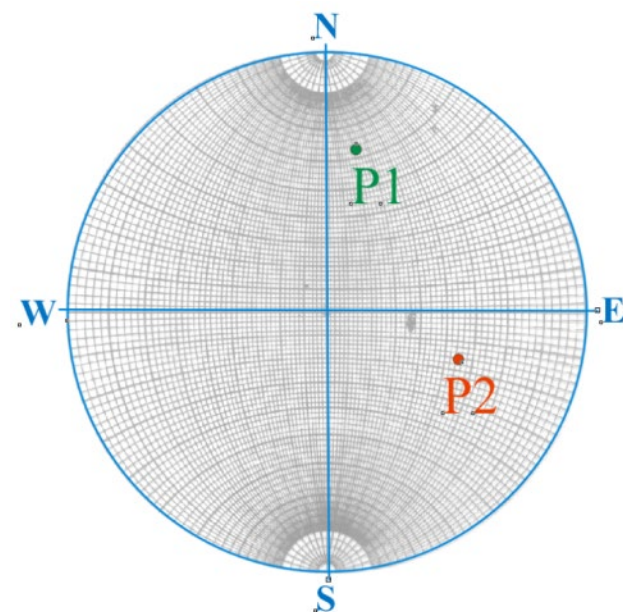
Le pendage apparent

Carrière 1 : $N10^\circ$ et pendage apparent de 25° NNE

Carrière 2 : $N110^\circ$ et pendage apparent de 34° ESE

Quelle est la direction de la couche et son pendage réel ?

Quelle est la valeur du pendage apparent pour une coupe orientée N-S ?



Calculs d'angles

- 1 : Quel est l'angle entre les droites $N10^{\circ} 15^{\circ}SSW$ et $N85^{\circ} 46^{\circ}W$
- 2 : Quel est le plan défini par les droites $N05^{\circ} 65^{\circ}N$ et $N90^{\circ} 13^{\circ}W$
- 3 : Quel est l'angle entre ce plan et la droite $N140^{\circ} 36^{\circ}SE$

Pendages apparents

Sur le front de taille vertical d'une carrière de direction $N20^{\circ}$, une couche géologique monoclinale a un pendage apparent de 45° vers le NNE

Sur un autre front de taille vertical, de direction $N80^{\circ}$ cette même couche présente un pendage apparent de 34° vers l'Est

- 1 : Donnez la direction de la couche et son pendage réel.
- 2 : Quel est la valeur du pendage apparent de cette même couche sur un front de taille vertical de direction N-S.

Angle entre deux plans :

N28° 50°ESE

N134° 44°NE

N55° 60°SE

N04° 60°E

N149° 88°SW

N130° 71°SW

Angle entre un plan et une ligne :

P1: N20° 60°SE

L1: N40° 15°SW

P2: N150° 30°NE

L2: N110° 20°WNW

Pendages apparents :

N40° 30°NE

N120° 40°SE

Intersection entre deux plans:

N45° 45°SE

N10° 88°W

Plan défini par les lignes:

N30° 30°NNE

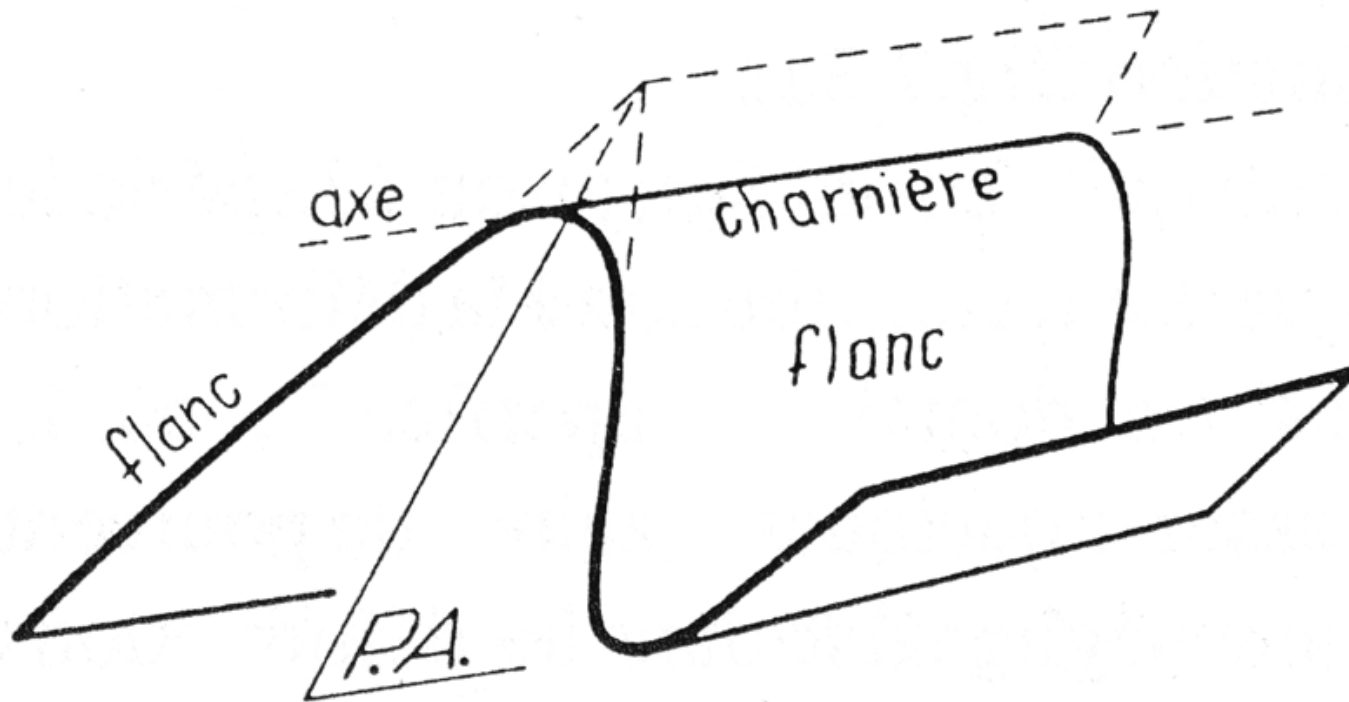
N50° 15°SW

Sur le front de taille vertical d'une carrière de direction N20°, une couche géologique monoclinale à un pendage apparent de 60° vers le SSW

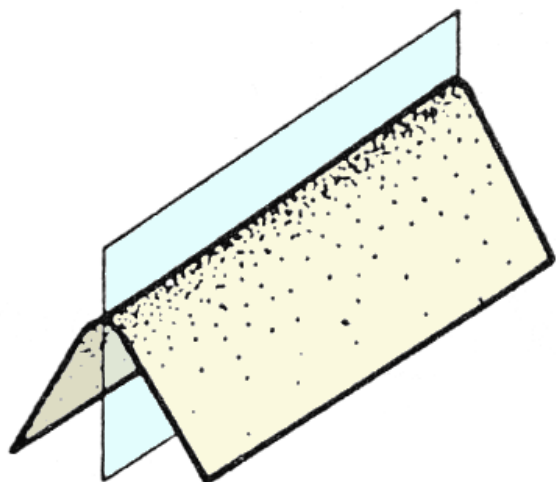
Sur un autre front de taille vertical, de direction N 95° cette même couche présente un pendage apparent de 05° vers l'ouest.

1 : Donnez la direction de la couche et son pendage réel.

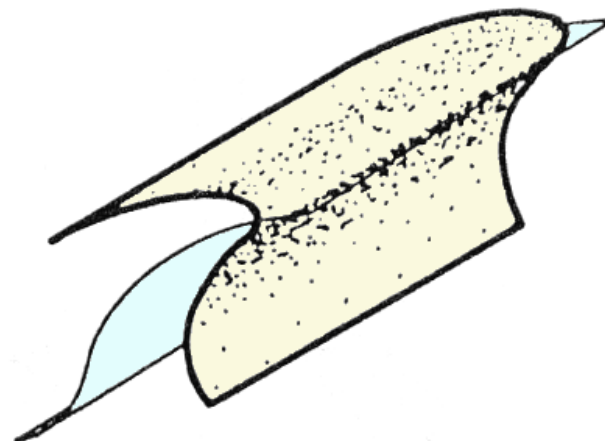
2 : Quelles directions peut-on donner à un nouveau front de taille pour obtenir un pendage apparent de 45° ?



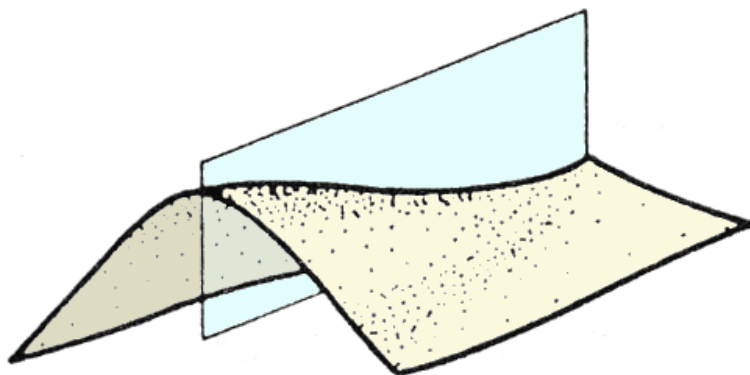
NICOLAS, A., Principe de tectonique. Eds. MASSON.



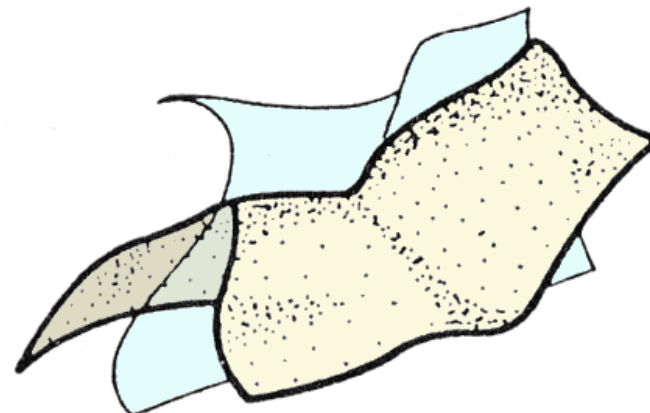
Pli plan et cylindrique



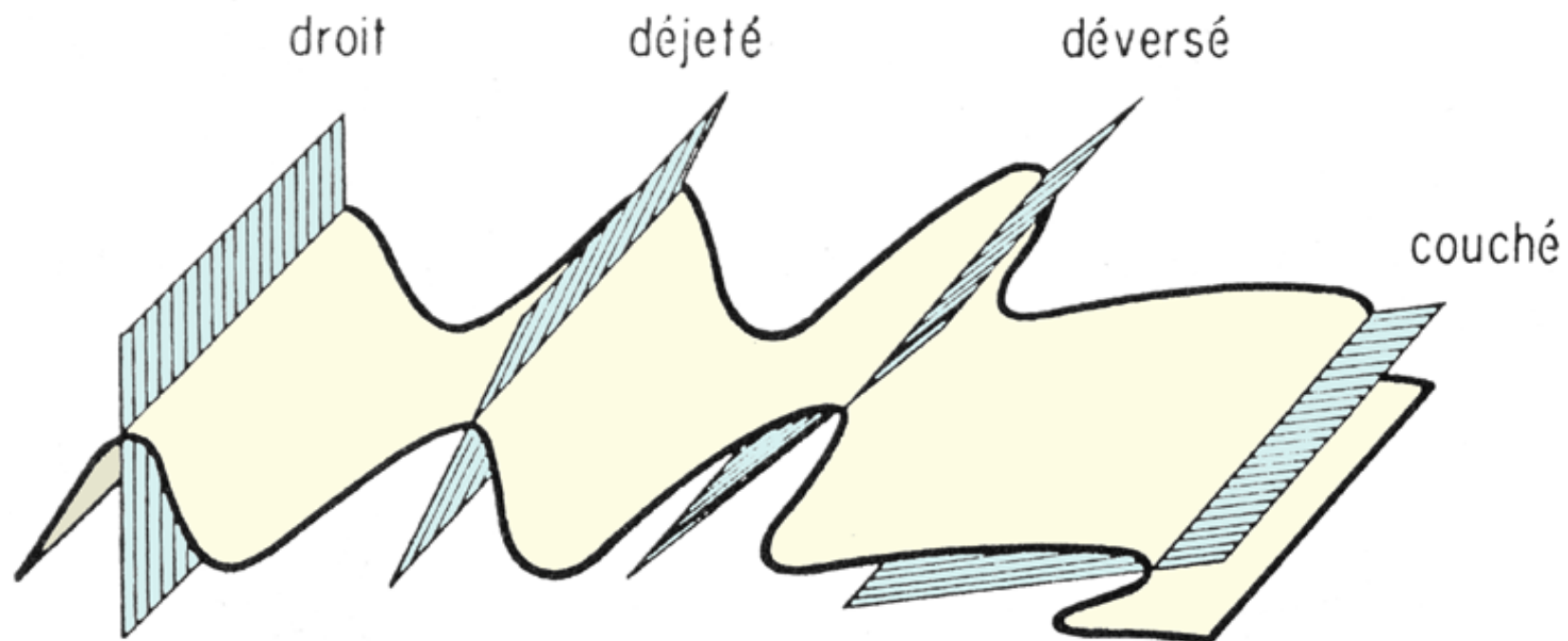
Pli non plan et cylindrique



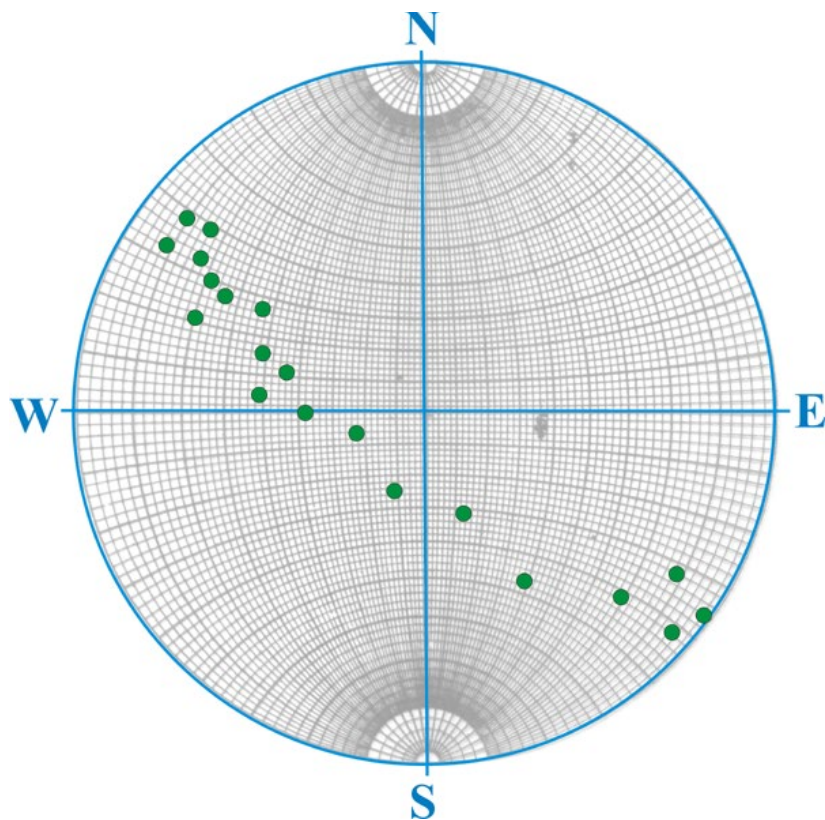
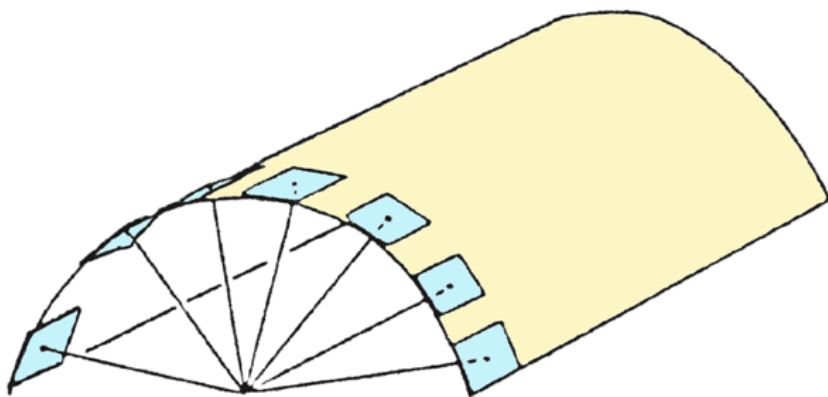
Pli plan et conique



Pli non plan et non cylindrique



NICOLAS, A., Principe de tectonique. Eds. MASSON.



S0 sur les flans du pli

N35° 88°NW

N41° 84°NW

N32° 74°NW

N39° 76°SE

N33° 77°SE

N32° 45°SE

N16° 44°SE

N01° 28°E

N40° 70°SE

N32° 60°SE

N34° 56°SE

N30° 56°SE

N22° 60°SE

N20° 40°SE

N06° 39°E

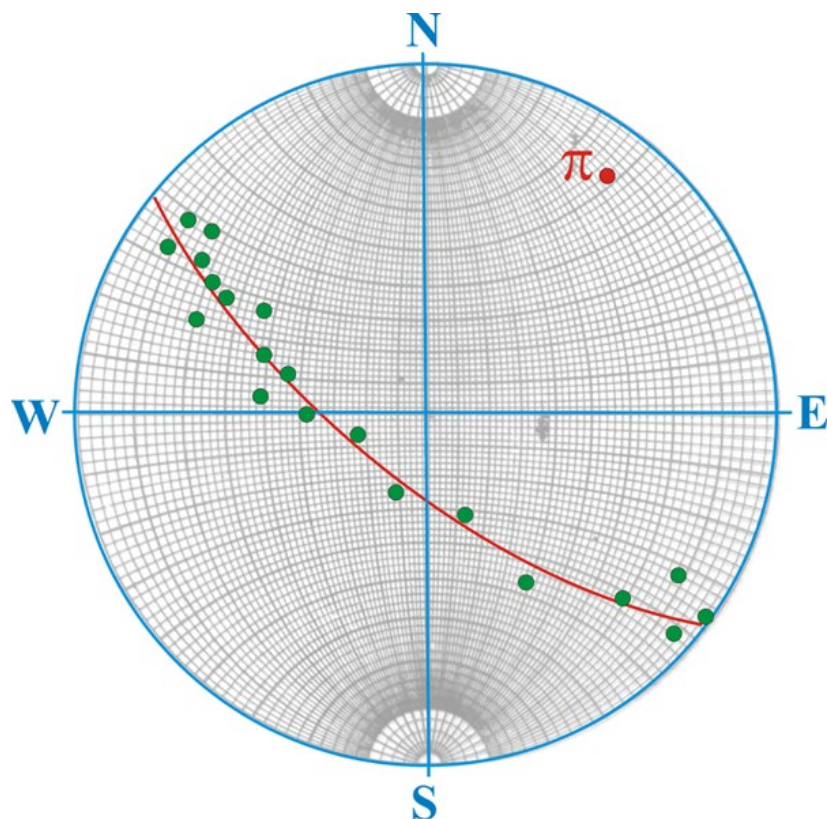
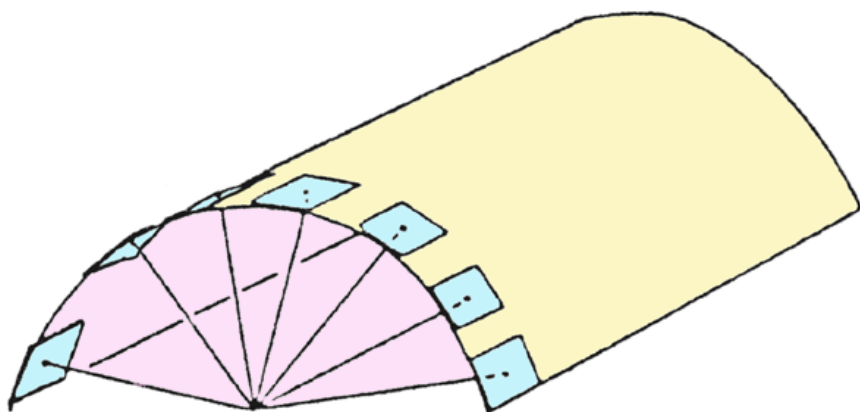
N43° 56°NW

N58° 46°NW

N69° 25°NW

N112° 19°NE





S0 sur les flans du pli :

N35° 88°NW

N41° 84°NW

N32° 74°NW

N39° 76°SE

N33° 77°SE

N32° 45°SE

N16° 44°SE

N01° 28°E

N40° 70°SE

N32° 60°SE

N34° 56°SE

N30° 56°SE

N22° 60°SE

N20° 40°SE

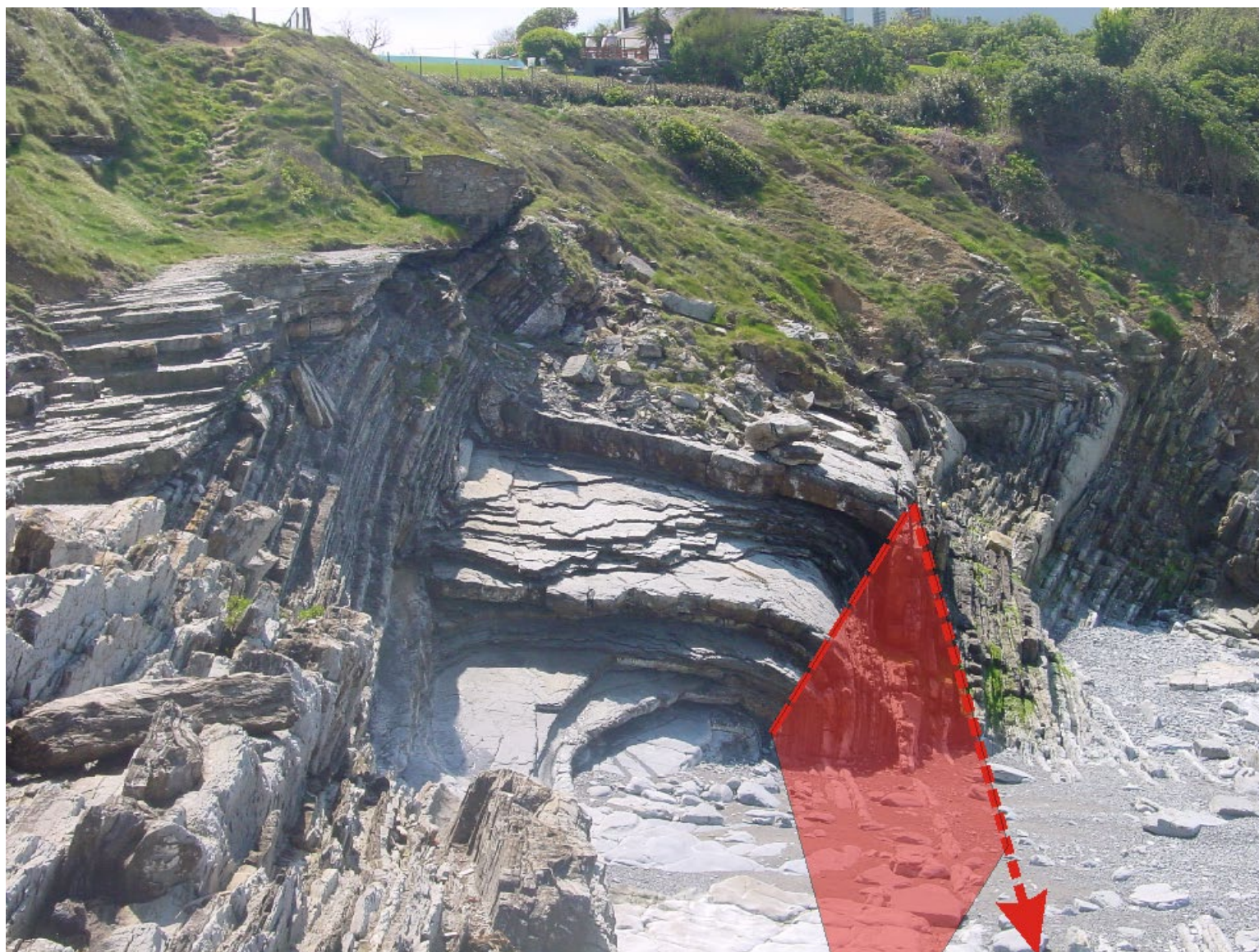
N06° 39°E

N43° 56°NW

N58° 46°NW

N69° 25°NW

N112° 19°NE



Pli

S0:

N 17° 20°WNW

N 55° 26°NW

N 83° 36°NNW

N 85° 46°N

N 96° 65°N

N 103° 60°NNE

N 102° 75°NNE

N 104° 78°NNE

N 112° 80°SSW

N 114° 66°SSW

N 125° 58°SW

N 130° 40°SW

Ligne des charnières :

N106° 20°ESE



Pli

S0:

N 17° 20°WNW

N 55° 26°NW

N 83° 36°NNW

N 85° 46°N

N 96° 65°N

N 103° 60°NNE

N 102° 75°NNE

N 104° 78°NNE

N 112° 80°SSW

N 114° 66°SSW

N 125° 58°SW

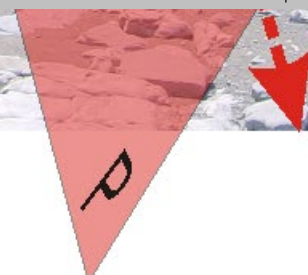
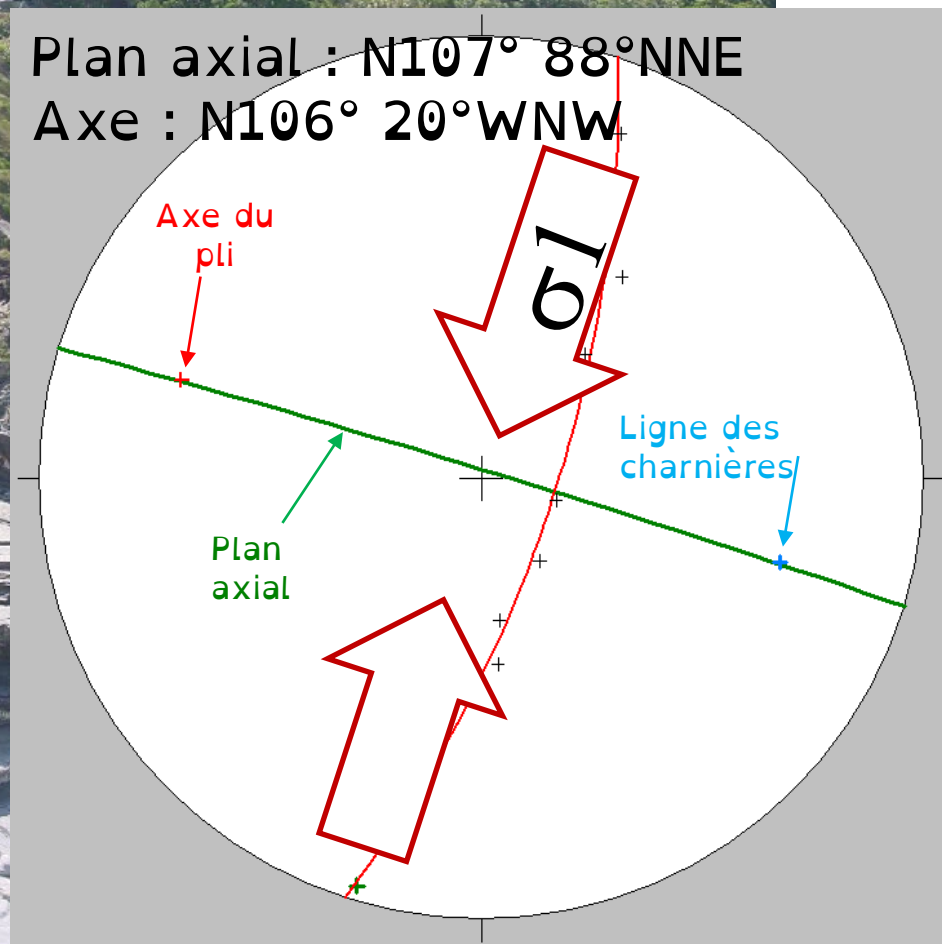
N 130° 40°SW

Ligne des charnières :

N106° 20°ESE

Plan axial : N107° 88°NNE

Axe : N106° 20°WNW



S0 :

N 35° 88°NW

N 41° 84°NW

N 32° 74°NW

N 39° 76°SE

N 32° 45°SE

N 16° 44°SE

N 01° 28°E

N 40° 70°SE

N 32° 60°SE

N 34° 56°SE

N 30° 56°SE

N 22° 60°SE

N 20° 40°SE

N 06° 39°E

N 43° 56°NW

N 58° 46°NW

N 69° 25°NW

N 112° 19°NE

Ligne des charnières :

N10° 40°S

S0 :

N 35° 88°NW

N 41° 84°NW

N 32° 74°NW

N 39° 76°SE

N 32° 45°SE

N 16° 44°SE

N 01° 28°E

N 40° 70°SE

N 32° 60°SE

N 34° 56°SE

N 30° 56°SE

N 22° 60°SE

N 20° 40°SE

N 06° 39°E

N 43° 56°NW

N 58° 46°NW

N 69° 25°NW

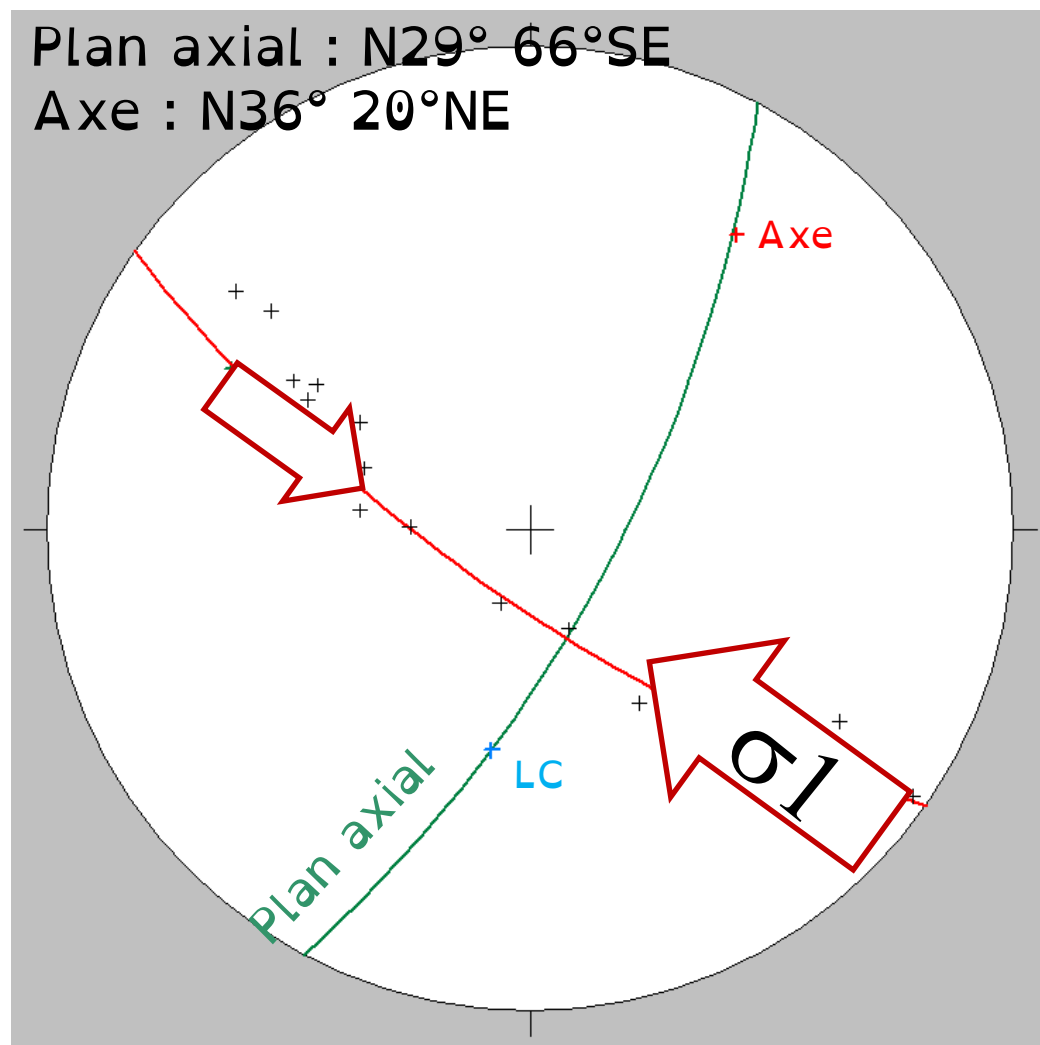
N 112° 19°NE

Ligne des charnières :

N10° 40°S

Plan axial : N29° 66°SE

Axe : N36° 20°NE



Pli

S0 :

N55° 26°NW

N83° 36°NNW

N85° 46°N

N96° 65°N

N103° 60°NNE

N102° 75°NNE

N104° 78°NNE

N112° 80°SSW

N114° 66°SSW

N125° 58°SW

N130° 40°SW

Ligne des charnières : N120° 16°SE

Pli

S0 :

N55° 26°NW

N83° 36°NNW

N85° 46°N

N96° 65°N

N103° 60°NNE

N102° 75°NNE

N104° 78°NNE

N112° 80°SSW

N114° 66°SSW

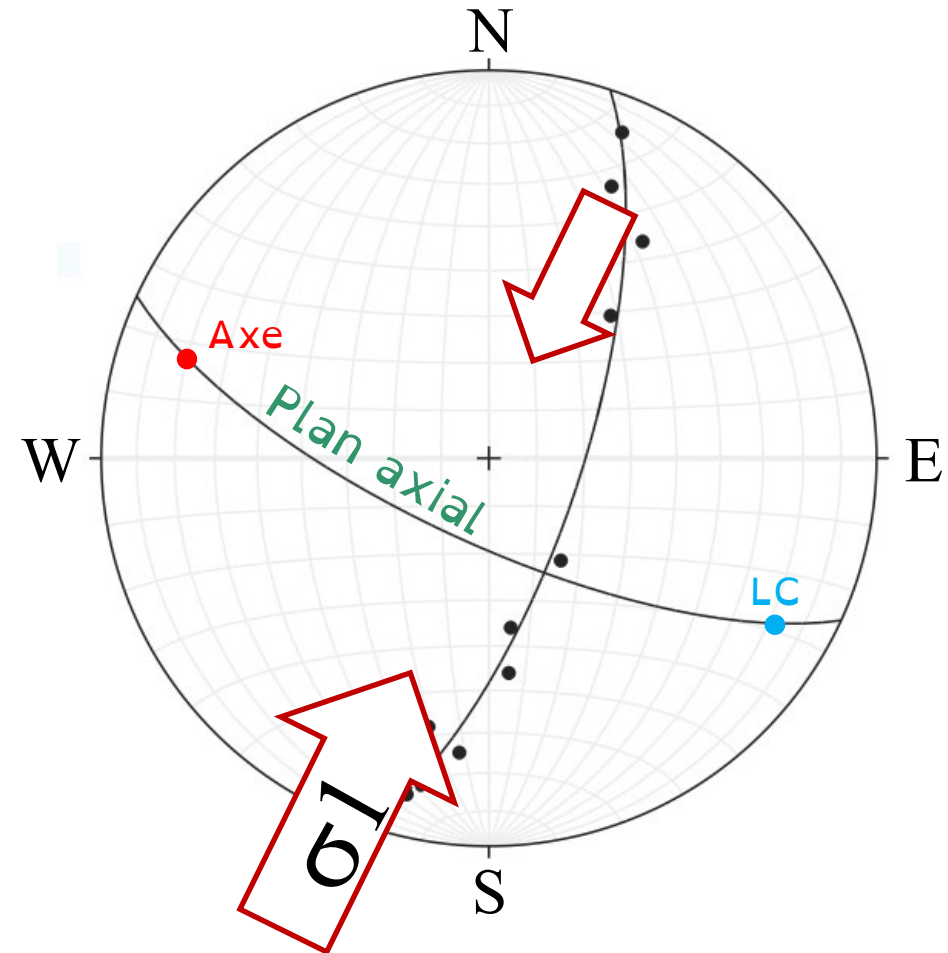
N125° 58°SW

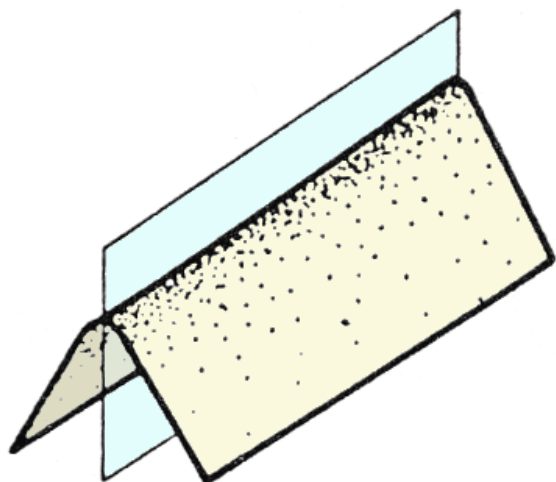
N130° 40°SW

Ligne des charnières : N120° 16°SE

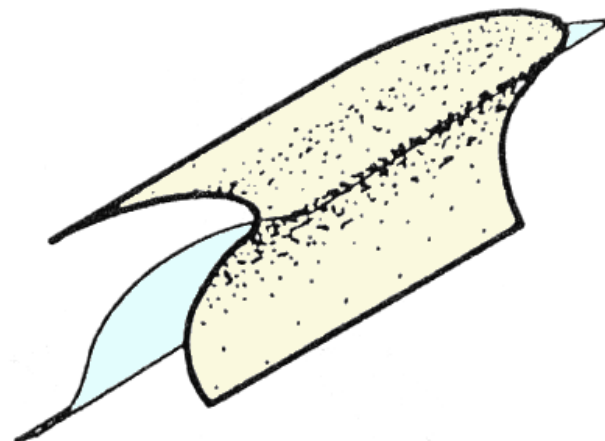
Axe : N108° 19° WNW

Plan axial : N114° 72°SW

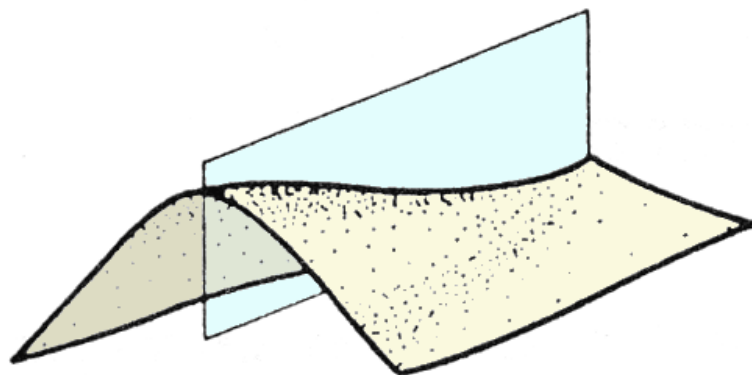




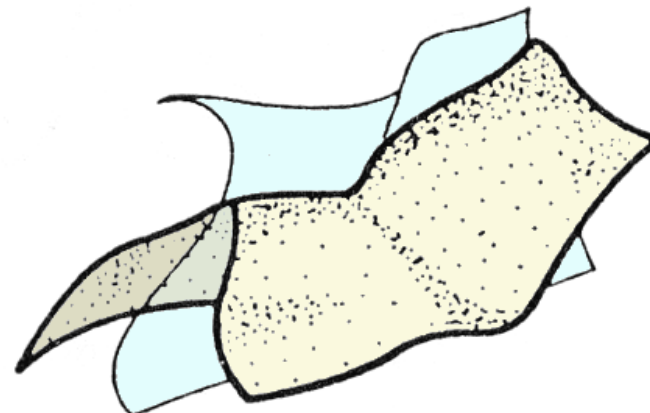
Pli plan et cylindrique



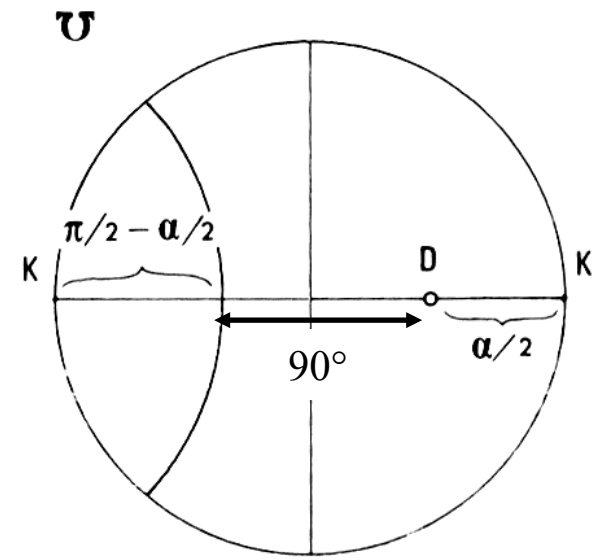
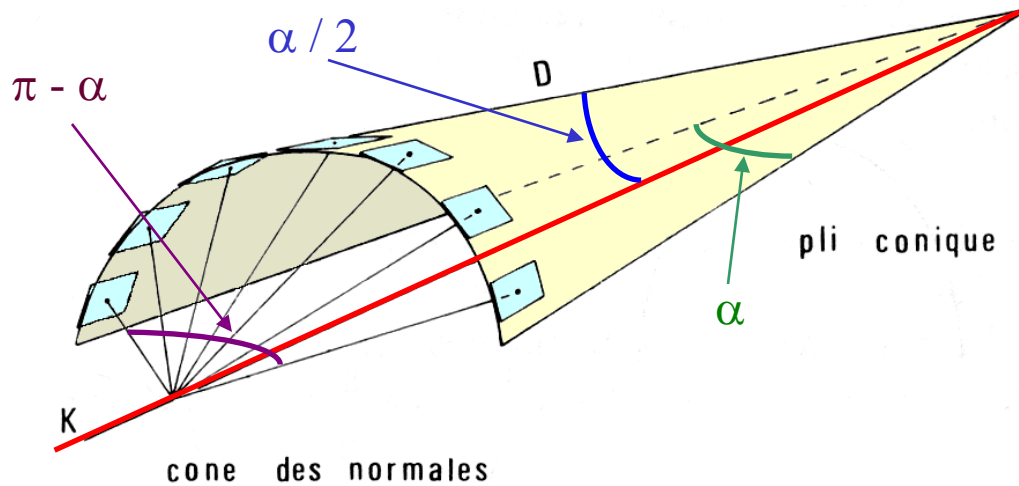
Pli non plan et cylindrique



Pli plan et conique



Pli non plan et non cylindrique

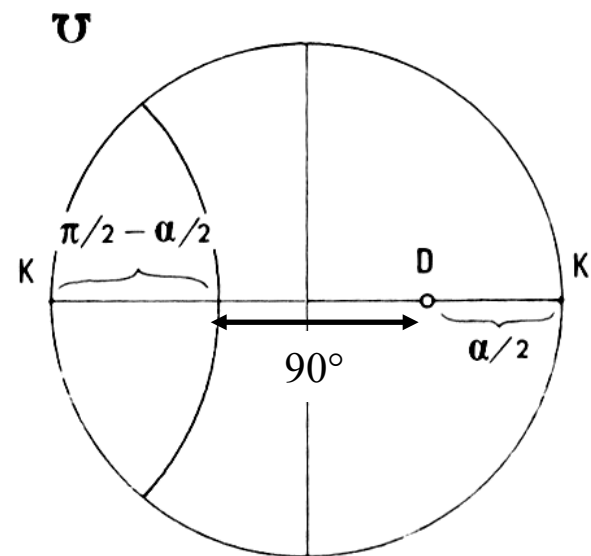
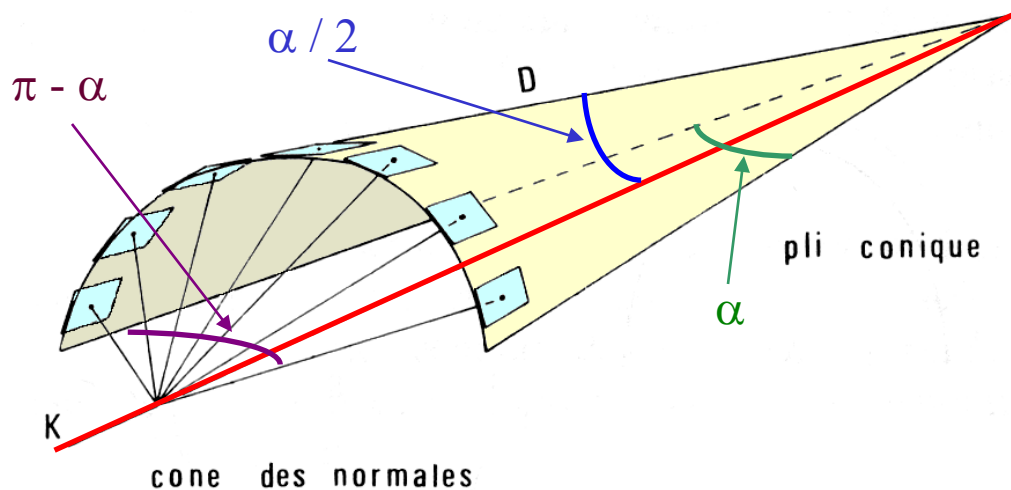


- α : angle apical du pli
- $\pi - \alpha$: angle du cône des normales
- K : axe des deux cônes opposés
- D : charnière du pli

Pour les plis cylindriques la direction de l'horizontale des flancs est celle de l'axe. Pour les plis coniques ce n'est jamais le cas : les plans convergent sur l'axe.

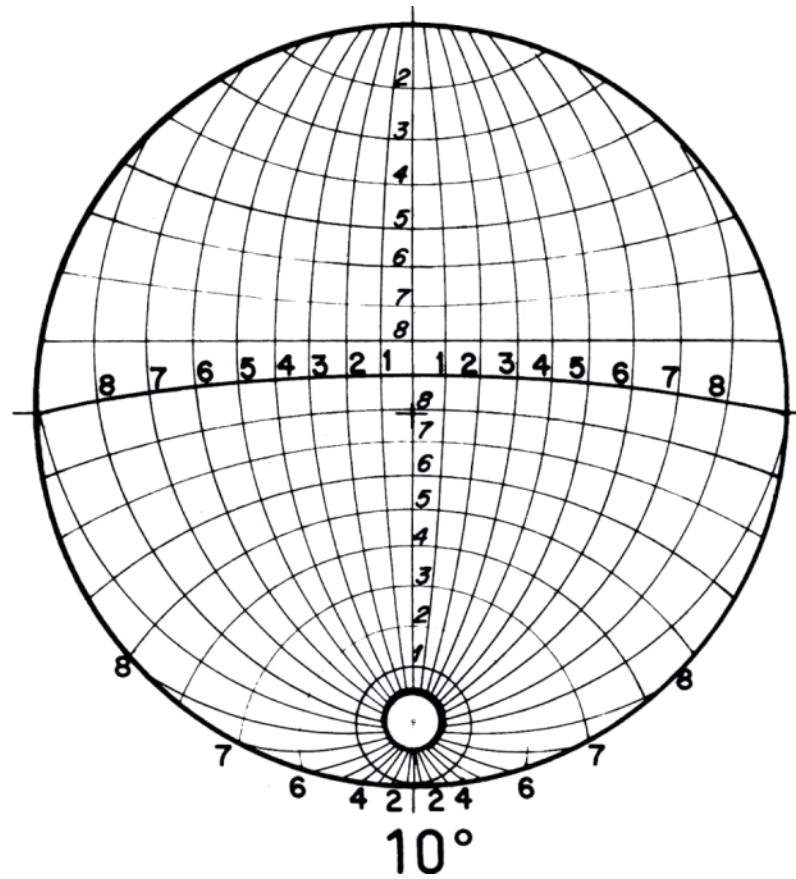
Les normales à ces plans ne forment pas un plan mais une surface conique : le cône des normales.

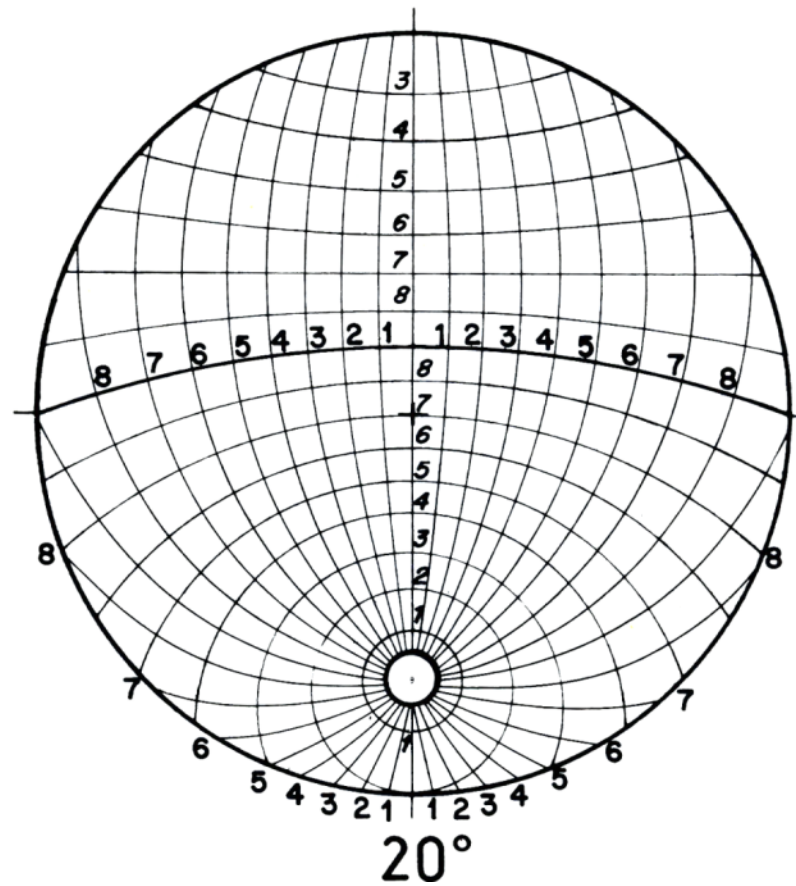


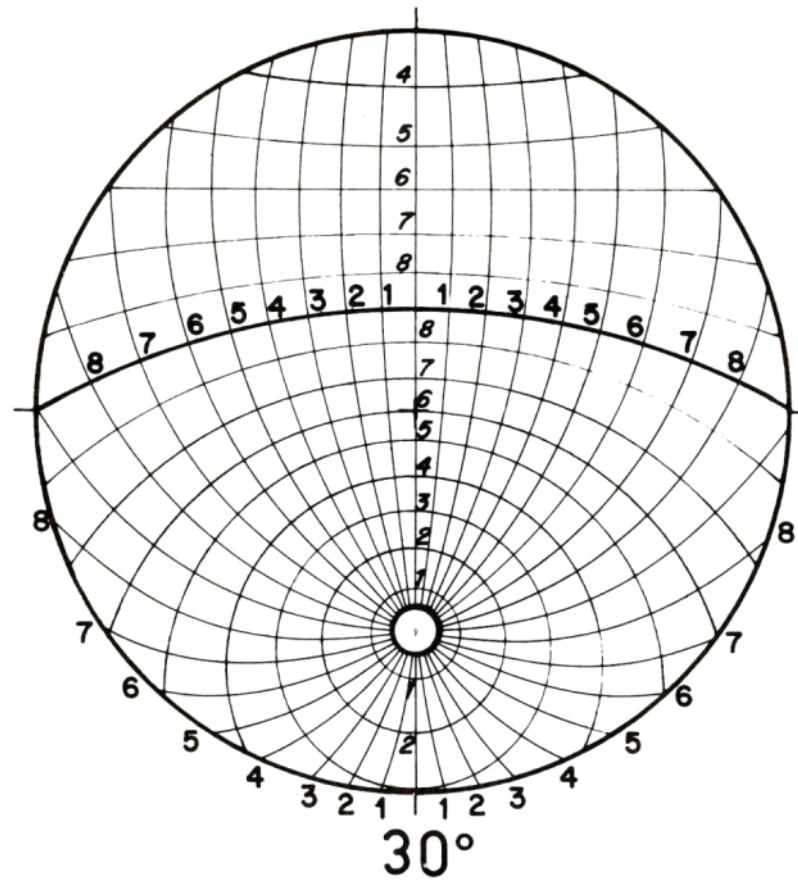


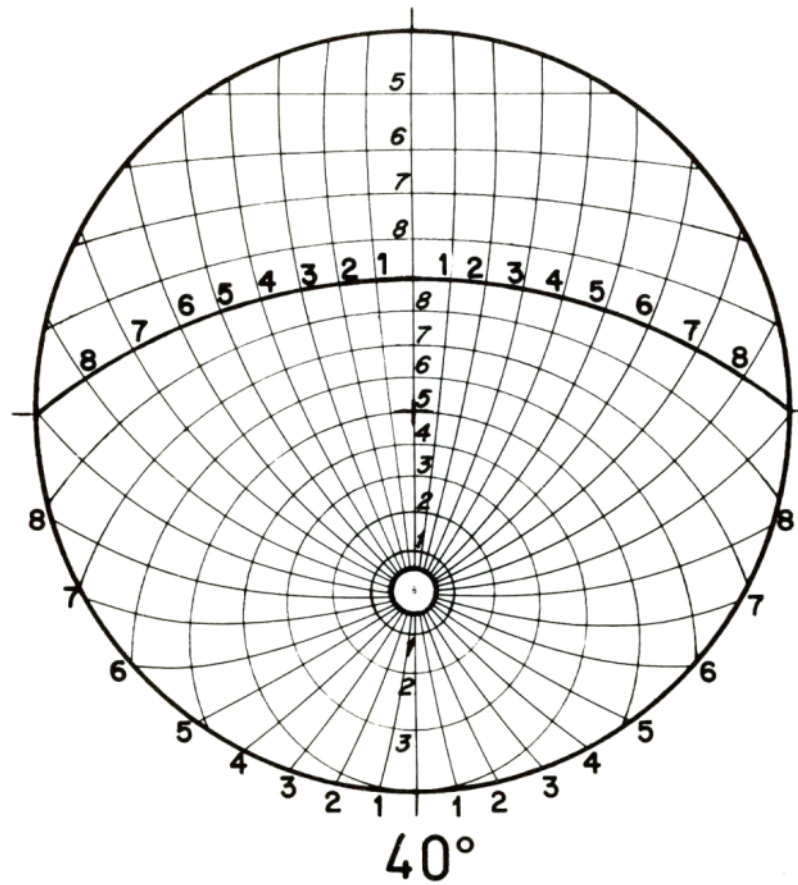
- α : angle apical du pli
- $\pi - \alpha$: angle du cône des normales
- K : axe des deux cônes opposés
- D : charnière du pli

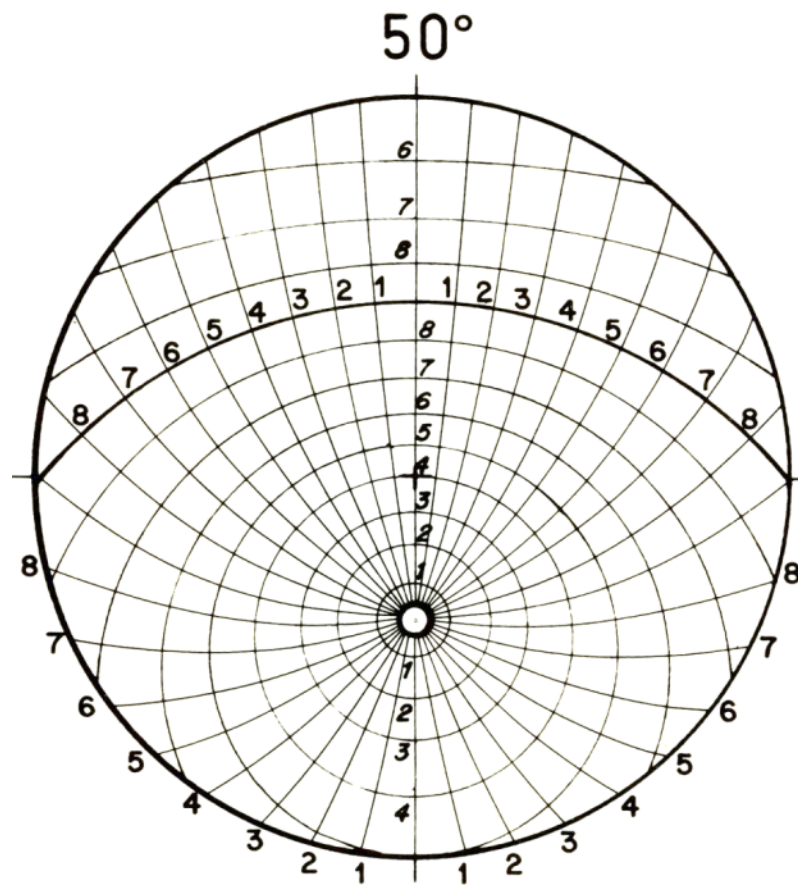
1. On reporte tous les plans plissés par leur pôles
2. On cherche le petit cercle sur lequel ils s'organisent
3. On trace de K (ligne horizontale) et on en déduit la direction axiale
4. On trace D (charnière du pli) à 90° du petit cercle sur l'axe NS
5. On en déduit l'angle apical du pli (lecture de $\alpha/2$ entre sur le diamètre NS entre D et K)

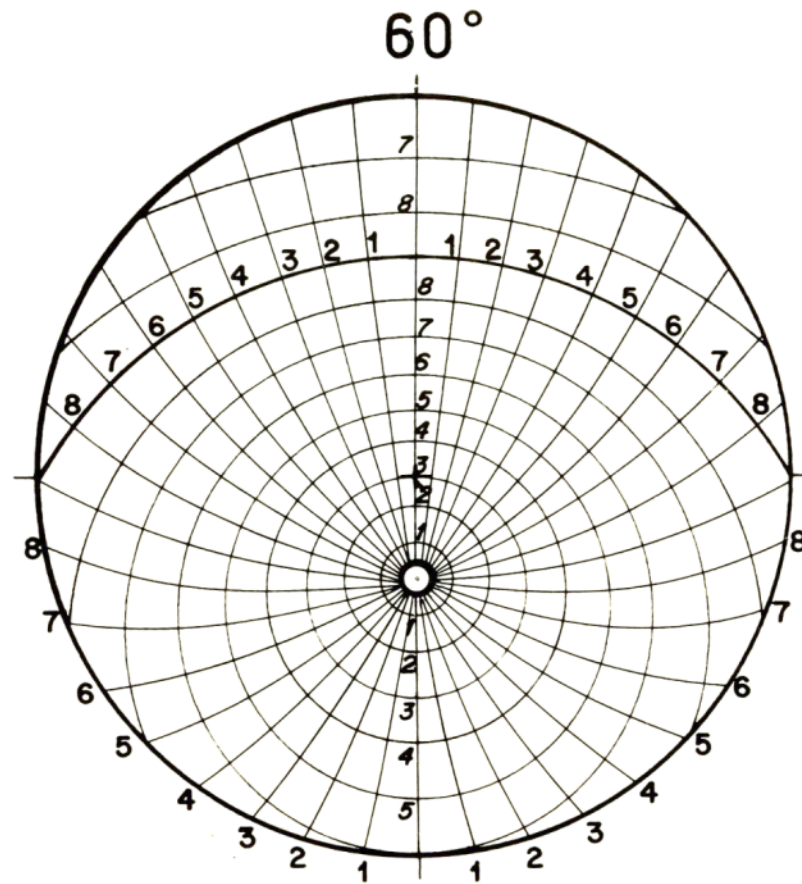


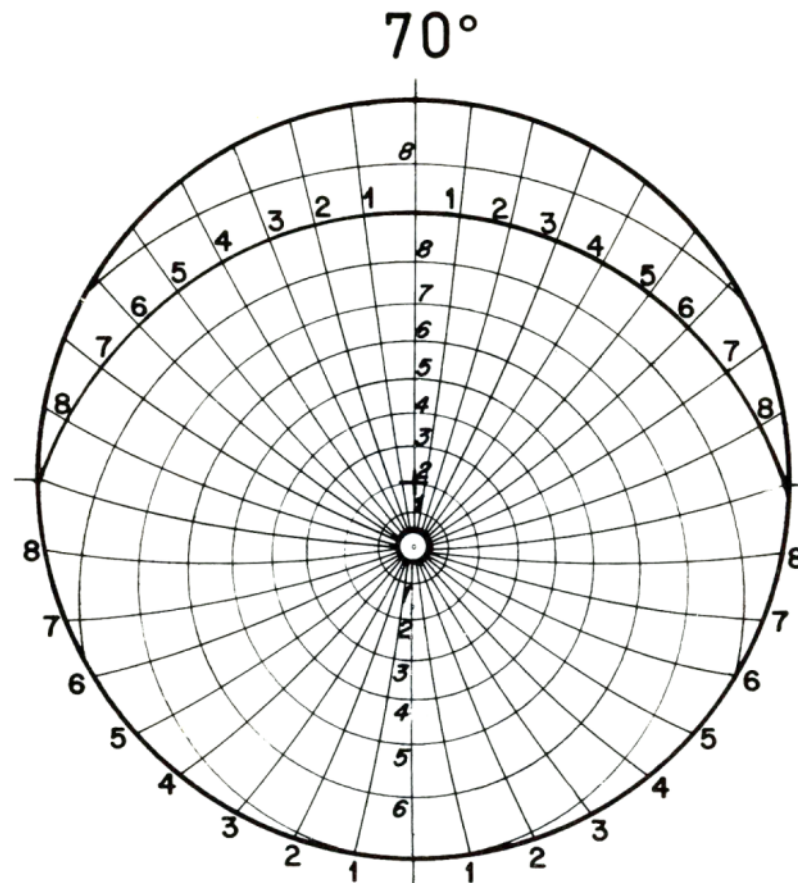


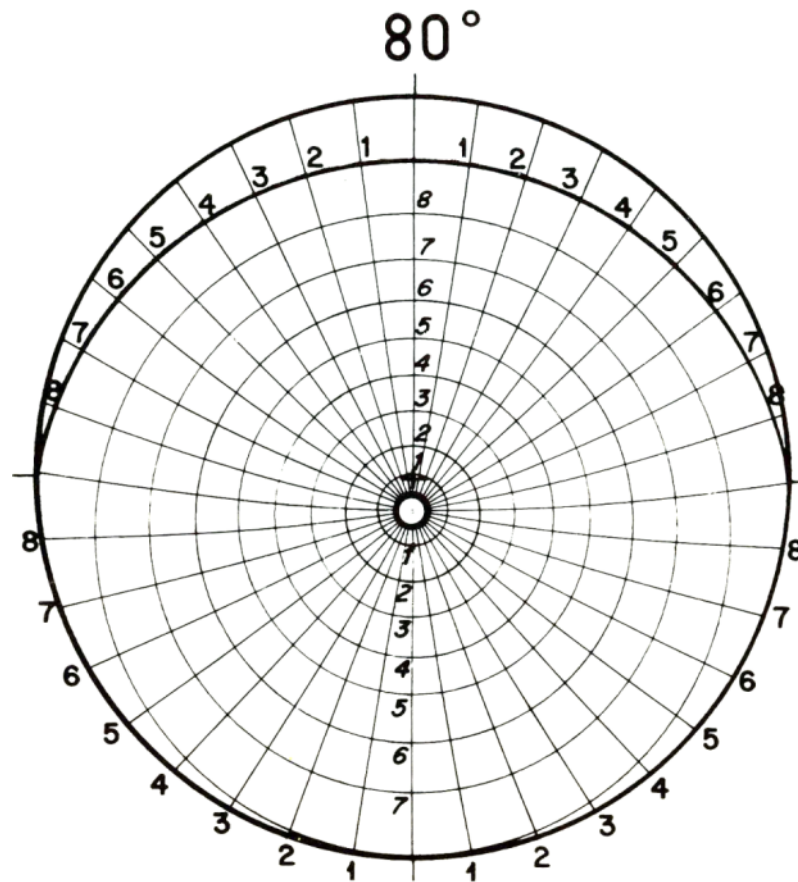


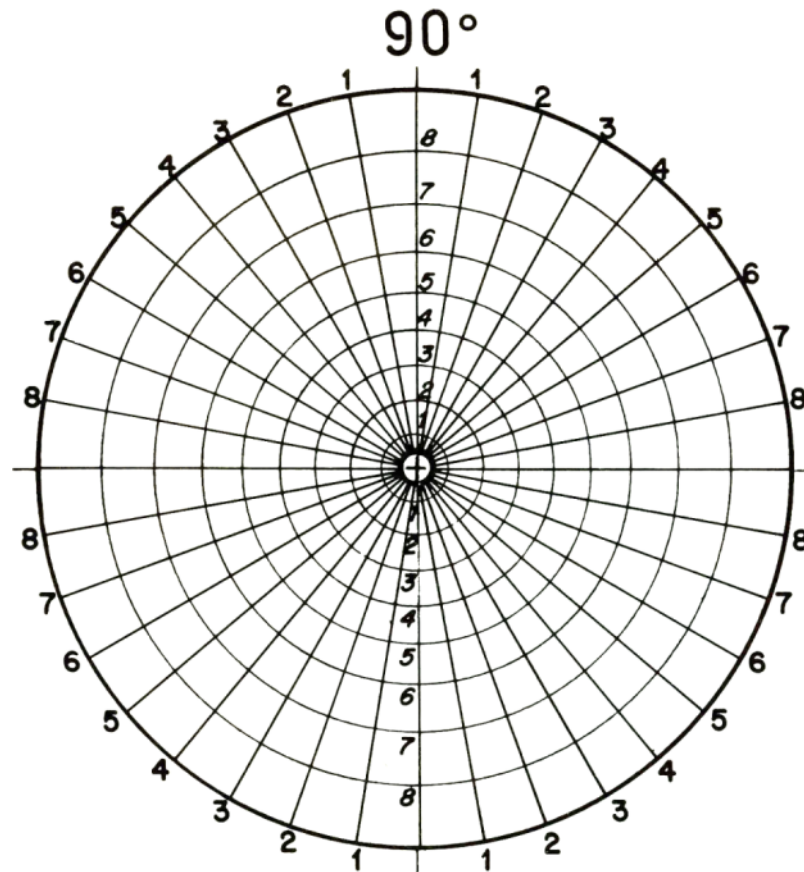












Pli

S0 :

N123° 50°NE

N135° 66°NE

N140° 90°

N40° 90°

N42° 70°NW

N50° 56°NW

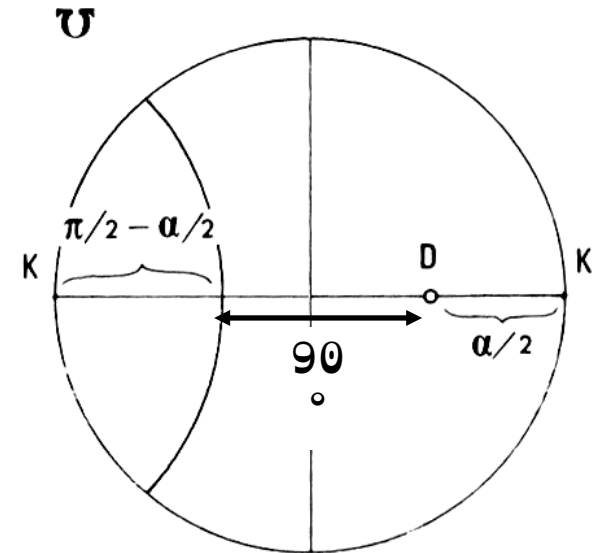
N60° 48°NW

N70° 42°N

N90° 40°N

N42° 76°NW

N140° 80°NE



1. On reporte tous les plans plissés par leur pôles.
2. On cherche le petit cercle sur lequel ils s'organisent.
3. On trace de K (ligne horizontale) et on en déduit la direction axiale.
4. On trace D (charnière du pli) à 90° du petit cercle sur l'axe NS.
5. On en déduit l'angle apical du pli (lecture de $\alpha/2$ entre sur le diamètre NS entre D et K).

Pli

S0 :

N123° 50°NE

N135° 66°NE

N140° 90°

N40° 90°

N42° 70°NW

N50° 56°NW

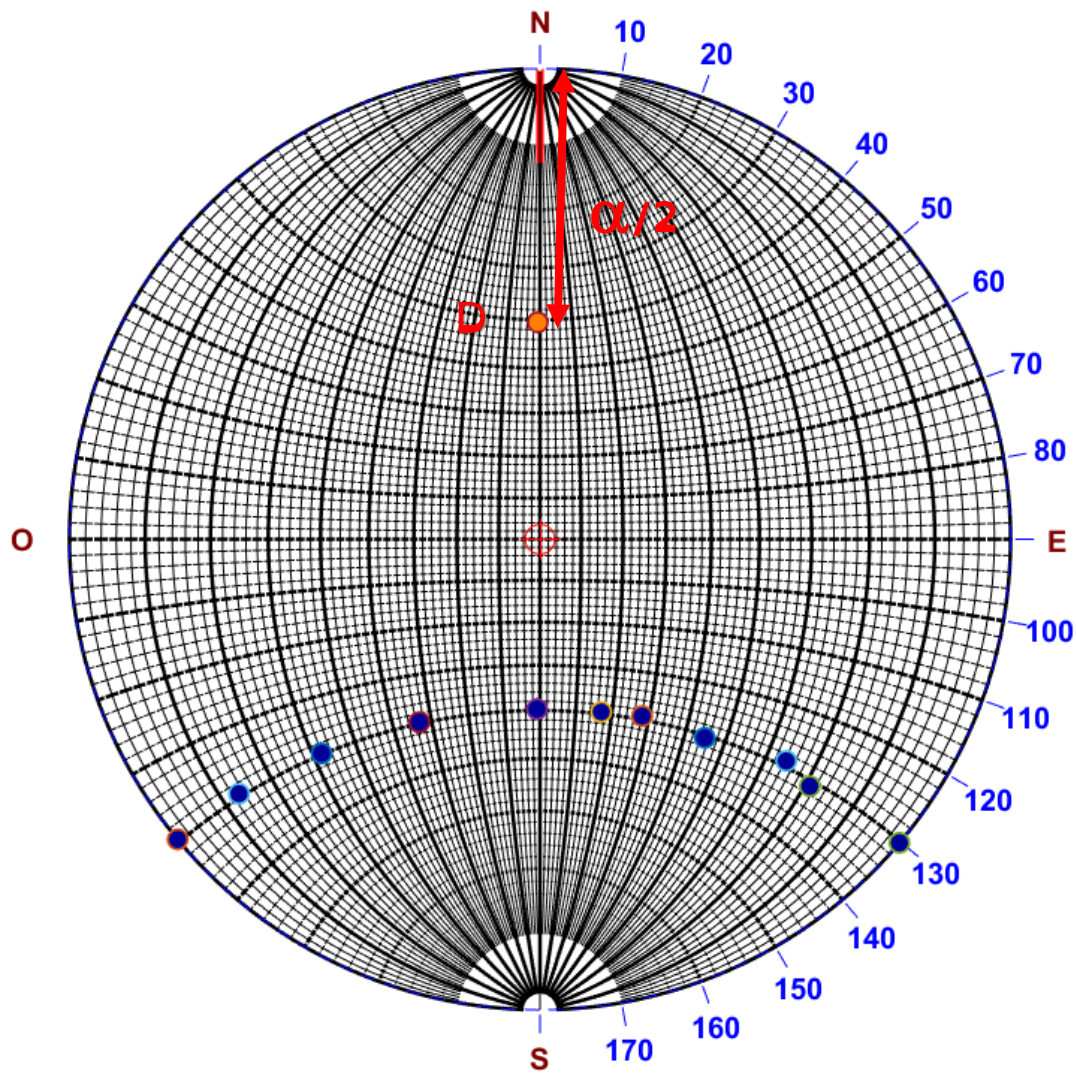
N60° 48°NW

N70° 42°N

N90° 40°N

N42° 76°NW

N140° 80°NE



Direction : N 0°
angle apical 80°

Angle entre deux lignes :

N35° 30°SSW

N170° 78°NNW

Angles dièdre entre deux plans :

N60° 60°SE

N12° 30°ESE

Angle dièdre entre un plan et une ligne :

N130° 71°NW

N150° 75°SW

Plan défini par les lignes :

N45° 60°SW

N10° 89°N

N43° 05°NE

Sur le front de taille vertical d'une carrière de direction N45°, une couche géologique monoclinale à un pendage apparent de 10° vers le SW

Sur un autre front de taille vertical, de direction N 90° cette même couche présente un pendage apparent de 40° vers l'est.

1 : Donnez la direction de la couche et son pendage réel.

2 : Quelles directions peut-on donner à de nouveaux fronts de taille pour obtenir un autre pendage apparent de 45° ?

Pli

S0

N105° 52°NNE

N48° 42°NW

N24° 68°WNW

N04° 78°W

N168° 83°ENE

N142° 70°NE

N138° 64°NE

N125° 61°NNE

N75° 44°NNW

N68° 54°NNW

Ligne des charnières : N45° 10°SW

Axe : N170° 48°NNE

Plan axial : N38° 56°NW

Stries glaciaires

Sur une surface structurale, des stries glaciaires ont été mesurées.

Surface portant les stries : N50° 60°SE.

Stries de pendage : 20°NE, 22°NE, 30°ENE, 35°ENE, 54°S, 55°S, 56°S, 58°S.

Quelles sont les paléo-directions d'écoulement glaciaire ?

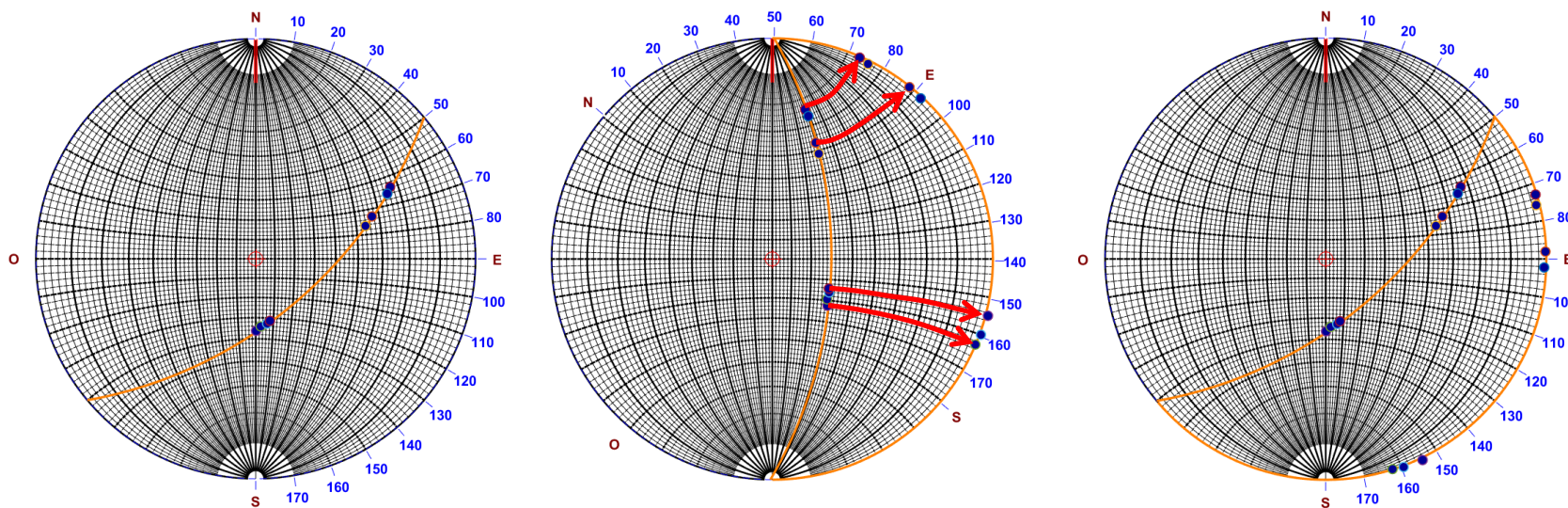
Stries glaciaires

Sur une surface structurale, des stries glaciaires ont été mesurées.

Surface portant les stries : $N50^{\circ} 60^{\circ}SE$.

Stries de pendage : $20^{\circ}NE$, $22^{\circ}NE$, $30^{\circ}ENE$, $35^{\circ}ENE$, $54^{\circ}S$, $55^{\circ}S$, $56^{\circ}S$, $58^{\circ}S$.

Quelles sont les paléo-directions d'écoulement glaciaire ?



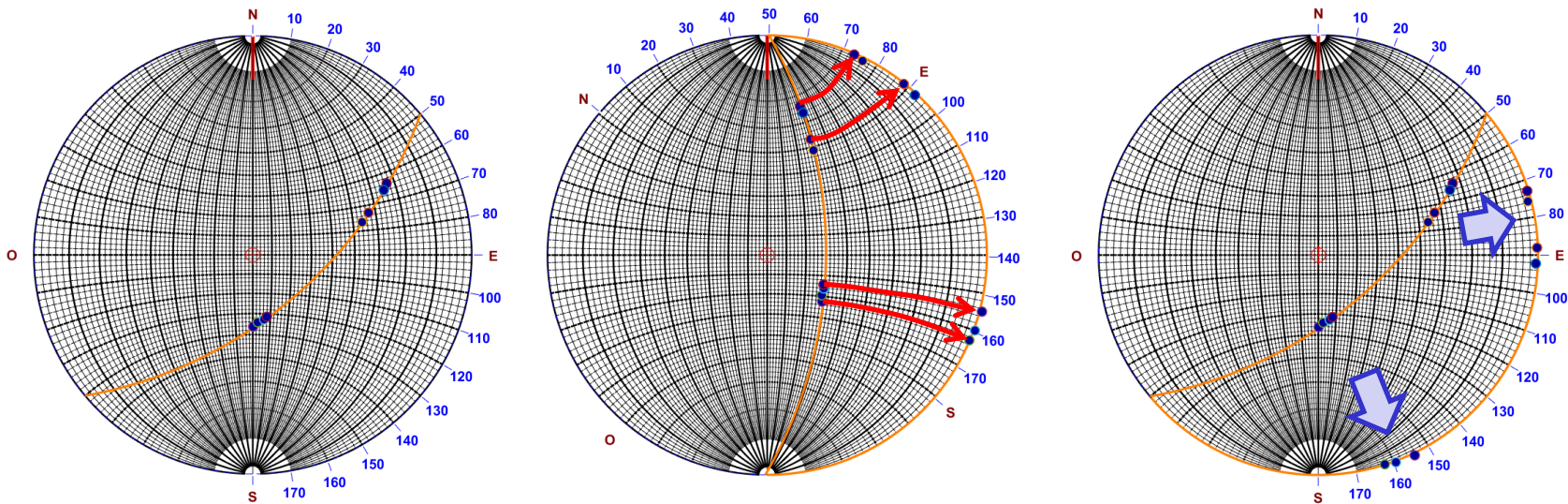
Stries glaciaires

Sur une surface structurale, des stries glaciaires ont été mesurées.

Surface portant les stries : $N50^\circ 60^\circ SE$.

Stries de pendage : $20^\circ NE$, $22^\circ NE$, $30^\circ ENE$, $35^\circ ENE$, $54^\circ S$, $55^\circ S$, $56^\circ S$, $58^\circ S$.

Quelles sont les paléo-directions d'écoulement glaciaire ?



Direction 1 : $N80^\circ$

Direction 2 : $N160^\circ$

Paléo-courants marins

Sur le flanc inverse d'un pli cylindrique des traces de paléo-directions de courants ont été mesurées.

S0 : N40° 30°NW.

Directions & sens des traces de courants : N20°NE, N24°NE, N30°NE.

Quelle est la paléo-directions des courants ?

Paléo-direction & sens : N60°

Pli

S0 :

N02° 40°E

N38° 80°SE

N24° 70°SE

N14° 40°E

N04° 48°E

N160° 32°NE

N134° 28°NE

N114° 30°NE

N80° 50°N

N68° 60°NW

N58° 72°NW

N54° 70°NW

N46° 84°NW

Ligne des charnières : N45° 60°SW

Axe :

Plan axial :