



2019 2020

# Construction Stéréographique d'une structure géologique : Les plis

TP/TD Licence S6 L3



**KACEMI ALI**

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD TLEMCEN DEPARTEMENT : « SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS »

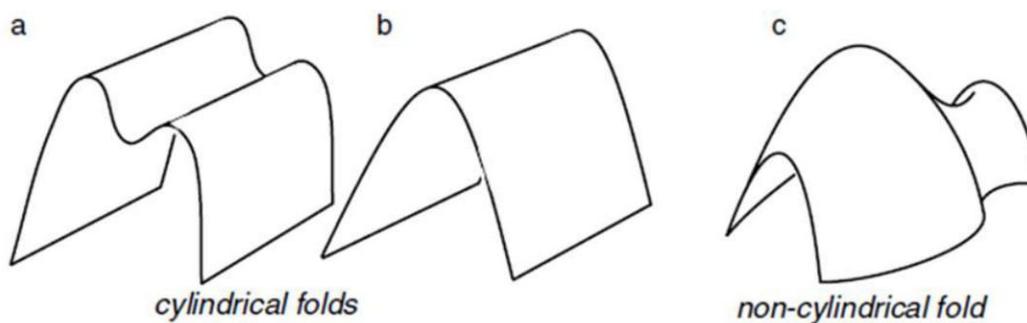
## TP/TD N° 9 & 10 : REPRESENTATION STEREOGRAPHIQUE D'UN PLI

### 1. Exemple de construction de l'axe d'un pli cylindrique

Dans des plis à l'échelle de l'affleurement, il est souvent possible de mesurer les orientations des caractéristiques géométriques comme : *la ligne de charnière de pli* et *les flancs de pli*, directement avec une boussole et un clinomètre sur le terrain. Dans ces cas, la projection stéréographique est utilisée pour manipuler ces données, y compris le calcul de l'angle d'interflanc (angle d'ouverture d'un pli).

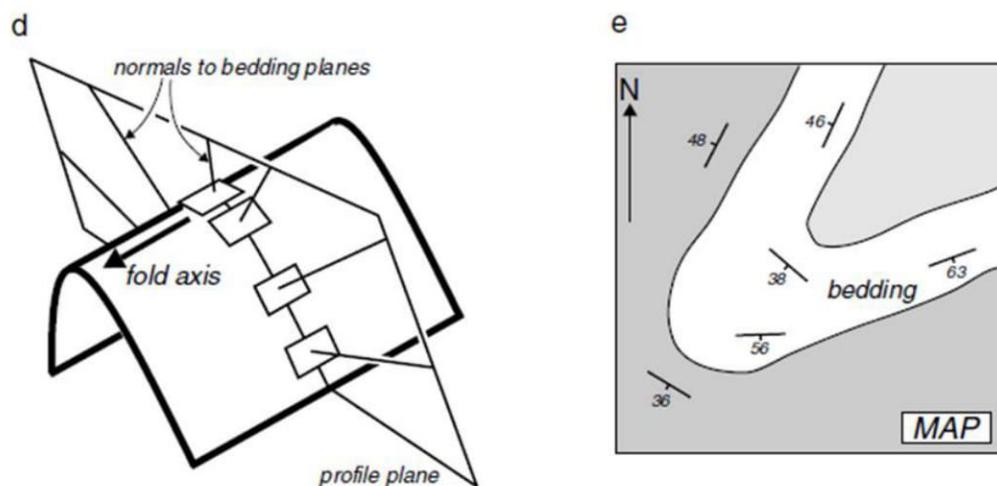
Pour les plis qui sont plus grands que l'échelle d'affleurement, la projection stéréographique peut être employée aussi pour l'évaluation de l'orientation de l'axe de pli et le plan axial.

L'axe du pli peut être défini dans les plis cylindriques (figure 1 a et b).



**Fig. 1 :** plis cylindriques (a et b) et plis non cylindriques c

Un pli cylindrique peut être facilement identifié par les mesures des orientations des surfaces plissées (stratifications par exemple) prises dans différents endroits à travers le pli (fig. 2 d et e). Toutes les normales (perpendiculaires) aux plans de stratification dans un pli cylindrique sont parallèles à un simple plan, le plan de profil (profile plane).

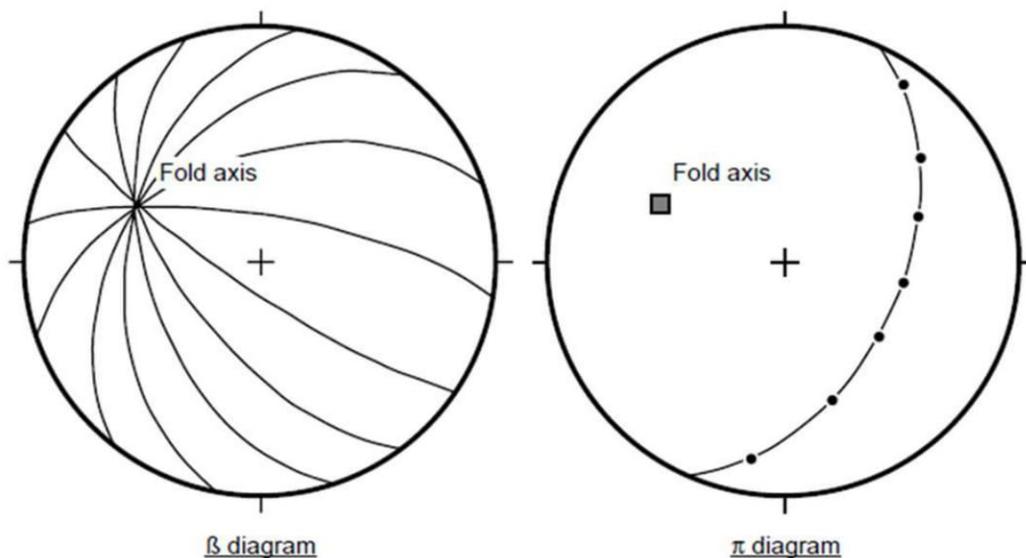


**Fig. 2 :** plan de profil (a) et visualisation de structure d'un pli sur carte géologique (b)

En projection stéréographique, un pli cylindrique est un pli tel que les pôles des couches, mesurés en plusieurs endroits de la surface du pli, se mettent en zone sur un même grand cercle. L'axe du pli est alors la droite perpendiculaire au grand cercle sur lequel se mettent en zone les pôles des couches.

Si on fait plusieurs mesures des couches sur un pli parfaitement cylindrique et ensuite les tracées en tant que grands cercles sur le stéréogramme, tous les grands cercles s'intersecteront en un seul point (fig. 3  $\beta$ ). Ce point est l'axe de pli (fig. 3  $\beta$  et  $\pi$ ). Les pôles des couches (plans) se trouveront tous sur un même grand cercle (fig. 3  $\pi$ ). D'ailleurs, c'est le test pratique de si un pli est cylindrique ou non.

Si le grand cercle peut être trouvé sans ambiguïté alors, selon notre objectif, le pli peut être considéré comme cylindrique. Autrement les plis sont classés comme non-cylindrique (fig. 1 c).



**Fig. 3 :** Stéréogramme  $\beta$  traces cyclographiques des couches projetées et stéréogramme  $\pi$  pôles des plans des couches projetées et mis sur un même grand cercle

### PROCEDURE :

Il suffit en principe de trois mesures de pendage pour définir l'axe d'un pli cylindrique. Dans la pratique, il est utile, en raison de l'imprécision des mesures et des irrégularités de la surface, de prendre un plus grand nombre de mesures réparties sur l'ensemble du pli. Il faut en outre de préférence, utiliser dans la construction de l'axe, les couches de flancs et les couches de charnières pour obtenir une définition précise de l'axe.

Une fois tous les pôles des couches portés sur le stéréogramme, il suffit de rechercher, en tournant le calque, le grand cercle suivant lequel les pôles se mettent au mieux en zone.

**APPLICATION :****Reconstruction de l'axe d'un pli :**

Des mesures de stratifications ont été effectuées (en série normale) dans l'ordre ci-dessous en suivant une couche repère de calcaire.

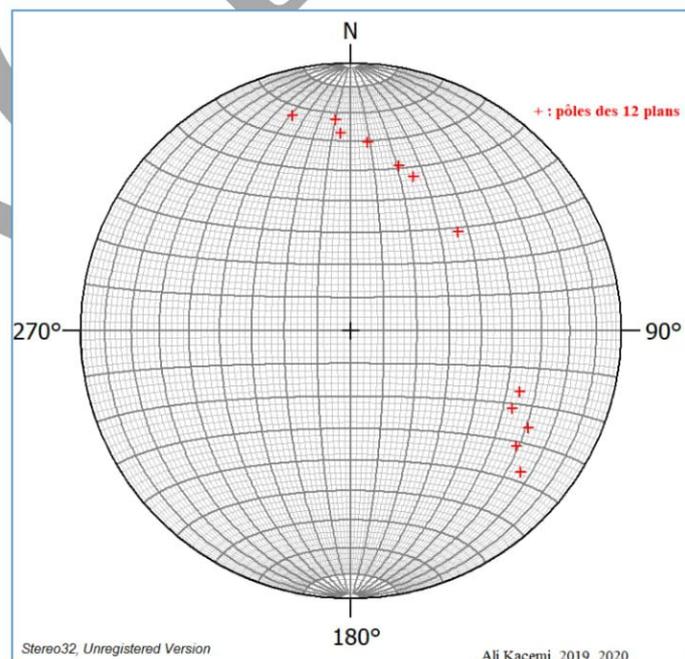
P1 : N75-72S	P7 : N137-45SW
P2 : N86-68S	P8 : N20-56W
P3 : N87-63S	P9 : N26-56W
P4 : N95-60S	P10 : N29-64NW
P5 : N106-54S	P11 : N35-64NW
P6 : N112-52S	P12 : N40-71NW

Représenter ce pli à partir de ces plans de stratifications.

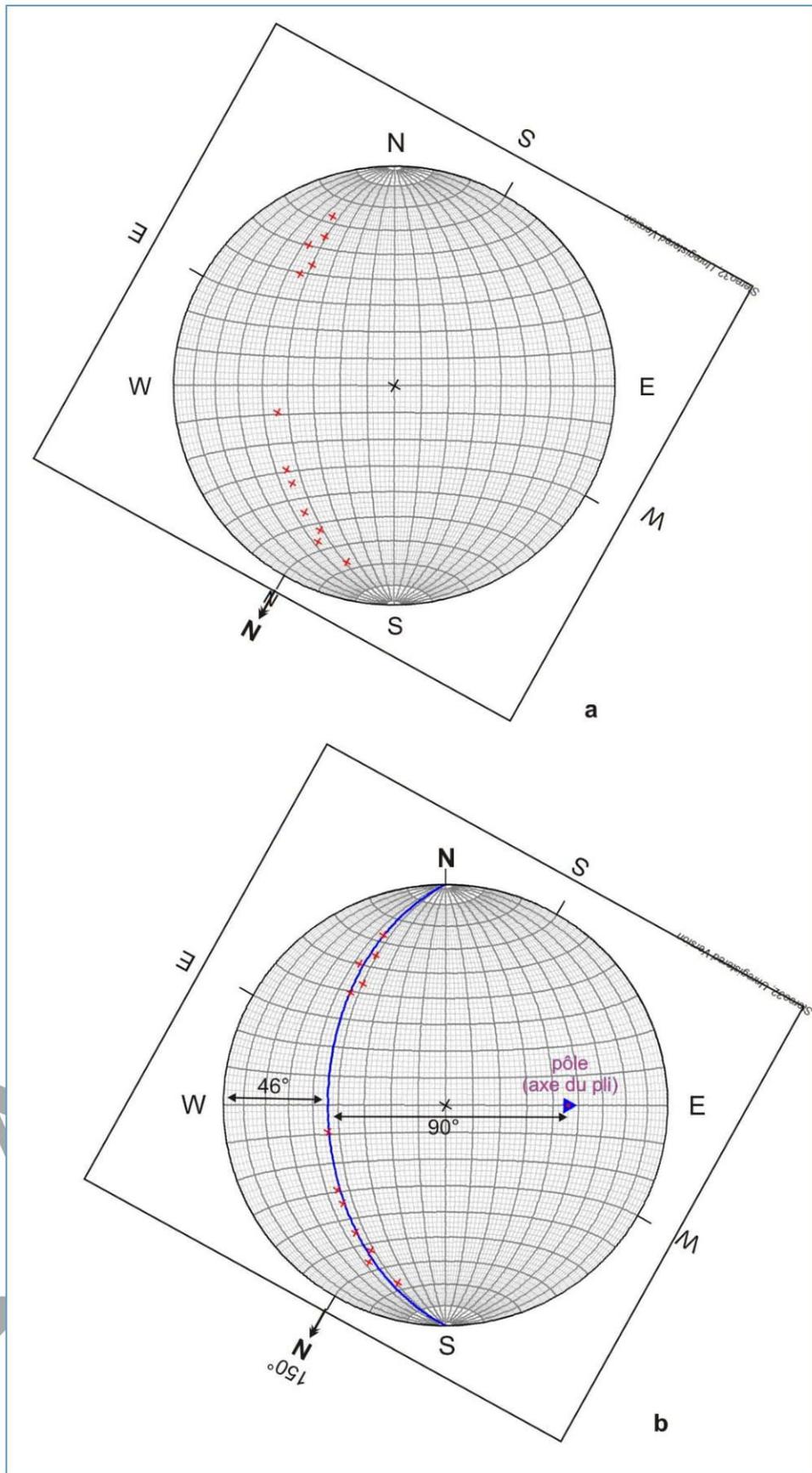
Calculer l'orientation de son axe avec la méthode adéquate

**METHODE :**

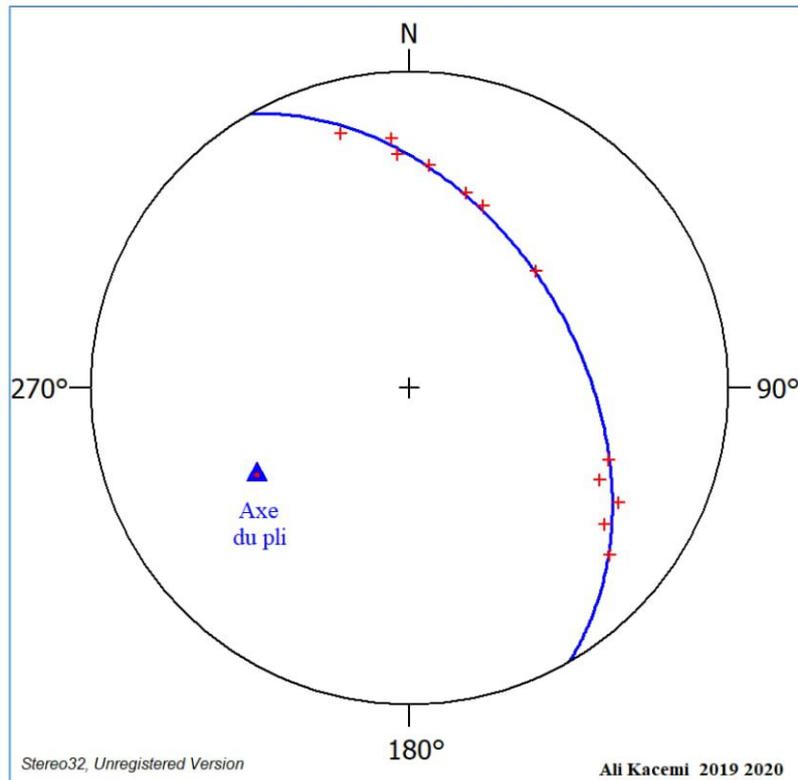
- Représenter les 12 plans par leurs pôles (fig. 4) ;
  - Faire tourner le stéréogramme (le papier-calque) jusqu'à ce que tous les pôles viennent se situer sur ou près d'un même grand cercle (fig. 5 a) (le plan de profil « profile plane ») ;
  - Tracer le pôle de ce grand cercle ;
  - Le pôle du plan (P : N150 46NE) construit c'est l'axe du pli (fig. 5 b) ;
  - Déterminer l'attitude de cet axe (voir méthode de détermination des valeurs d'azimut et de plongement d'une droite), en amenant la trace du pôle sur le diamètre principal Nord-Sud et lire les valeurs de l'azimut et du plongement. Dans ce cas N60 44SW (240 – 44), voir stéréogramme (fig. 5 c).
- Il s'agit d'un pli cylindrique de direction N240, à axe plongeant de 44° vers cette direction c'est-à-dire vers le Sud – Ouest.



**Fig. 4 :** Représentation stéréographique des 12 plans par leurs pôles



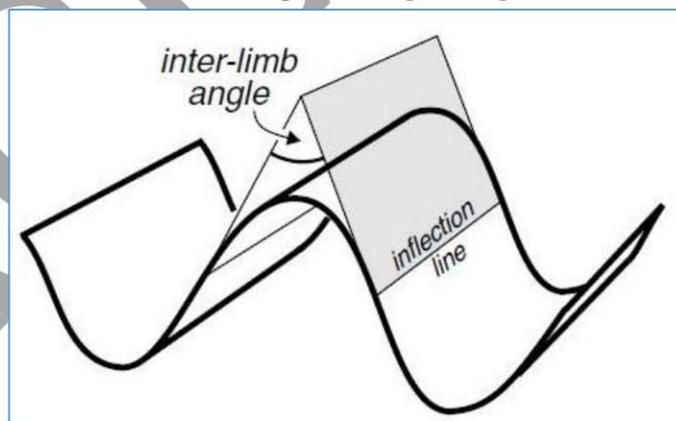
**Fig. 5 :** Etapes de construction d'un axe de pli, **a :** mettre les pôles des plans sur un même grand cercle (N150 46NE), **b :** tracer le pôle de ce plan : c'est l'axe du pli, N60 44SW



**Fig. 5 c :** Stéréogramme de la projection stéréographique d'un pli et l'axe de ce pli (244 44)

## 2. Mesure de l'angle d'inter-flancs d'un pli (ou angle d'ouverture d'un pli)

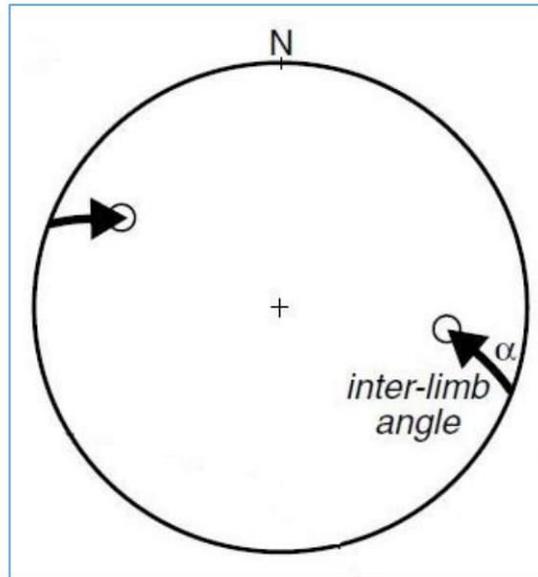
L'angle d'inter-flancs (ou d'ouverture d'un pli) exprime le serrage d'un pli. Comme son nom l'indique, c'est l'angle entre les deux flancs du pli. En mesurant cet angle les orientations des flancs utilisées sont ceux aux extrémités du pli, le long des lignes d'inflexion (fig. 6 a).



**Fig. 6 a :** angle d'inter-flancs (angle d'ouverture) de pli et lignes d'inflexion

La méthode stéréographique implique simplement le tracé des pôles des deux attitudes de flancs et la mesure de l'angle entre ces pôles ; comme il est expliqué au-dessus (mesure de l'angle entre deux plans). Cependant, comme toujours avec cette construction, le stéréogramme offre deux angles possibles ( $\alpha$  ou l'angle supplémentaire à  $\alpha$  dans la figure 52 b). La décision qui des deux est correcte exige des informations supplémentaires, à savoir l'une ou l'autre, une

idée approximative de la taille de l'angle d'inter-flancs jugée, par exemple, à partir du croquis de votre carnet de terrain.



**Fig. 6 b** : Situation de l'angle d'ouverture du pli  $\alpha$

Une fois mesuré, l'angle d'inter-flancs (l'angle d'ouverture) permet au pli d'être classés dans le plan suivant (figure 6 c) :

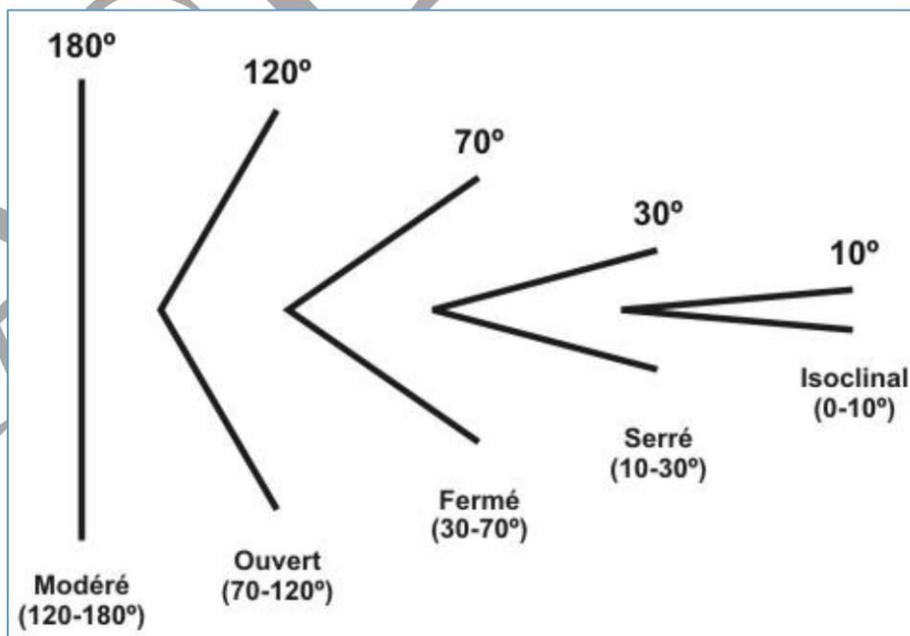
Pli à faible amplitude (Gentle fold) ( $180^\circ$ - $120^\circ$ )

Pli ouvert (Open fold) ( $120^\circ$ - $70^\circ$ )

Pli fermé (Close fold) ( $70^\circ$ - $30^\circ$ )

Pli serré (Tight fold) ( $30^\circ$ - $0^\circ$ )

Pli isoclinal (Isoclinal fold) ( $0^\circ$ ) ¶



**Fig. 6 c** : Classification des plis en fonction de leur angle d'ouverture

*L'angle d'ouverture d'un pli (ou l'angle d'inter-flanc) peut se mesurer sur le stéréogramme d'une autre façon. Cette mesure ne peut être effectuée que si on a la certitude d'avoir reporté sur le stéréogramme les valeurs des pendages aux points d'inflexions des deux flancs des plis.*

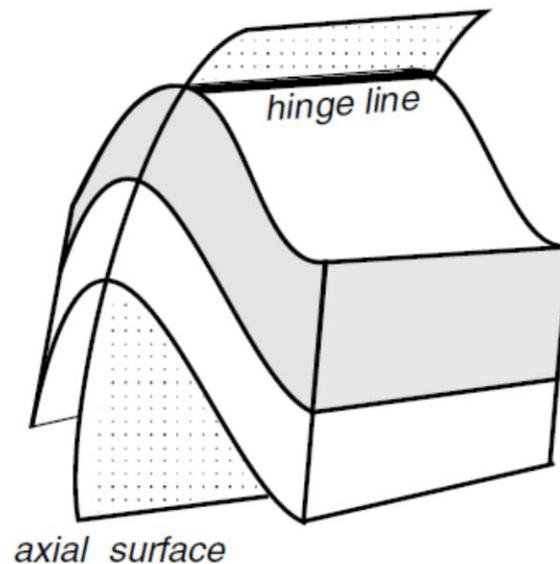
*Si les plis ne sont pas déversés, l'angle d'inter-flancs (angle d'ouverture) du pli est le **supplément de l'écart entre les deux couches extrêmes**. Si les plis sont déversés, l'angle d'ouverture est matérialisé par l'écart entre les pôles des couches inverse et ceux des couches normales.*

### **3. construction du plan axial d'un pli**

Ce problème se présente souvent, tant pour des plis d'échelle métrique, que pour des plis dont les dimensions sont trop importantes pour permettre une mesure directe. Ce problème se pose en dehors des zones de schistosité, où rien ne matérialise ce pan axial.

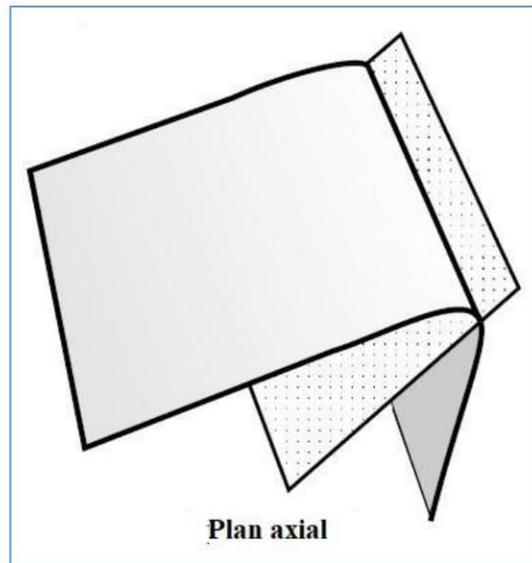
#### **Déterminer la surface axiale (ou plan axial) d'un pli :**

Le terme de surface axiale (ou **plan axial**) est défini de deux manières légèrement différentes. **1<sup>ère</sup> définition** : c'est la surface dans un pli particulier qui contient les lignes de charnière des surfaces successives plissées (figure 7 a).



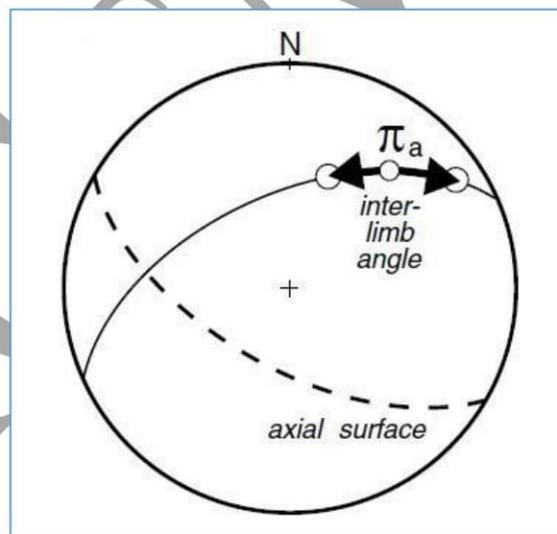
**Fig. 7 a** : Le plan axial (ou surface axiale)

**2<sup>ème</sup> définition** : c'est le plan qui partage en deux, l'angle d'inter-flanc « angle d'ouverture du pli » (fig. 7 b). Il est trouvé par :



**Fig. 7 b** : Plan qui partage en deux l'angle d'inter-flancs (plan axial)

1. tracer les pôles des flancs.
2. identifier qui des angles entre les pôles des flancs correspond à l'angle d'inter flanc (voir ci-dessus).
3. localiser le point médian angulaire de l'angle d'inter-flanc identifié dans l'étape 2. **C'est le pôle de la surface axiale** (du plan axial) ( $\pi_a$  dans la fig. 7 c).



**Fig. 7 c** : Le pôle de la surface axiale (du plan axial) ( $\pi_a$ ) et son plan axial.

**La surface axiale d'un pli cylindrique** comporte géométriquement **la droite qui correspond à l'axe du pli**. La projection de ce dernier devrait donc tomber près du grand cercle du plan axial.

En général, dans les plis d'échelle mésoscopiques, la solution est très simple, une fois l'axe du pli construit si l'on connaît un pendage apparent du plan axial, **il suffit de construire stéréographiquement le plan qui contient à la fois l'axe et le pendage apparent mesuré.**

➤ La mesure sur terrain la plus difficile est celle du plan axial de plis hectométriques dans lesquelles les charnières ont un grand rayon de courbure et sont impossible à localiser à l'observation.

Il est possible alors, par construction, de déterminer approximativement la position du plan axial, si l'on a des informations qui permettent de supposer que le plan axial et le plan bissecteur sont peu différents, c'est à dire si l'on a affaire à des plis isopaques ou à des plis semblables. Une autre condition nécessaire pour que la construction soit rigoureuse est la connaissance des pendages limites des deux flancs du pli. La démarche est la suivante :

- Construire les pôles des couches ;
- Construire l'axe du pli ;
- Localiser sur la zone correspondante les points équidistants des couches extrêmes ;
- Rechercher le grand cercle qui contient à la fois ce point et l'axe du pli. Ce grand cercle est voisin de la trace cyclographique du plan axial du pli.

### APPLICATION :

Soit un pli qui donne les mesures suivantes de la stratification à différents endroits :

N68 ; 30NW

N60 ; 45 NW ;

N88 ; 16N

N35 ; 35SE ;

N41 ; 50SE ;

N20 ; 20E.

Déterminez l'axe du pli et le plan axial

### PROCEDURE :

- Construire les pôles des couches et les mettre sur un même grand cercle (fig. 8 a)
- Construire l'axe du pli (fig. 8 b), les valeurs de l'attitude de l'axe : N50 10NE (50 10°)
- Localiser sur la zone correspondante les points équidistants des couches extrêmes et rechercher le grand cercle qui contient à la fois ce point et l'axe du pli (fig. 8 c). Ce grand cercle c'est la trace cyclographique du plan axial du pli (fig. 8 d) ; les valeurs de l'attitude de la surface axiale : N50 90°
- Visualisation du stéréogramme (fig. 8 e et f)

### RESULTAT ET INTERPRETATION :

Le plan profil (profile plane) ayant pour attitude N140 80SW et porte 6 pôles de plans (fig. 8 b). L'axe de pli construit a pour attitude N50 10NE, et le plan axial N50 90°.

En se référant à la classification de Fleuty (figure 9), il s'agit donc d'un pli droit (pendage du plan axial est égale à 90°) et à axe plongeant de 10° vers le NE.

Pour plus d'interprétation, voir figures 10 et 11.

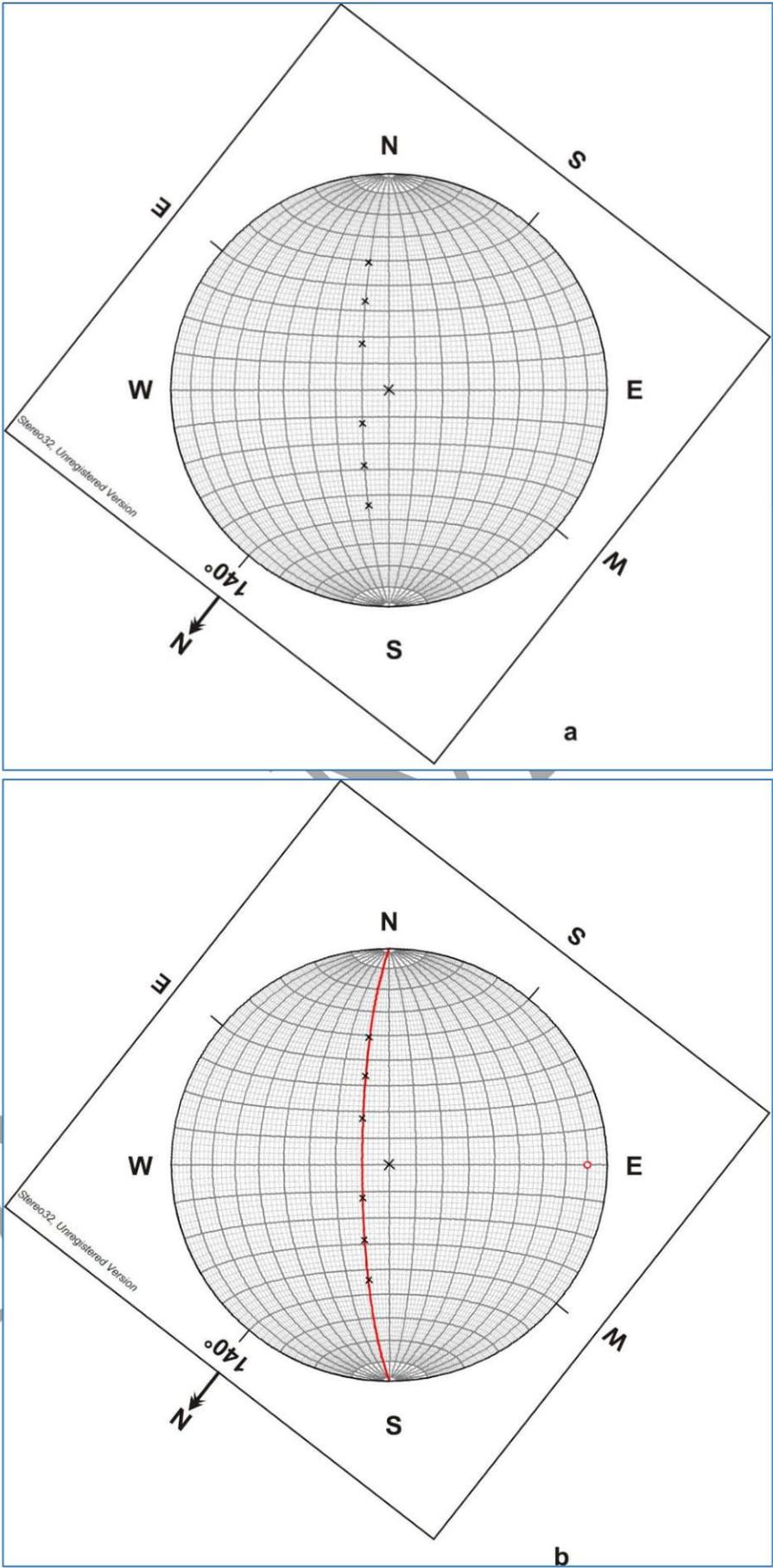
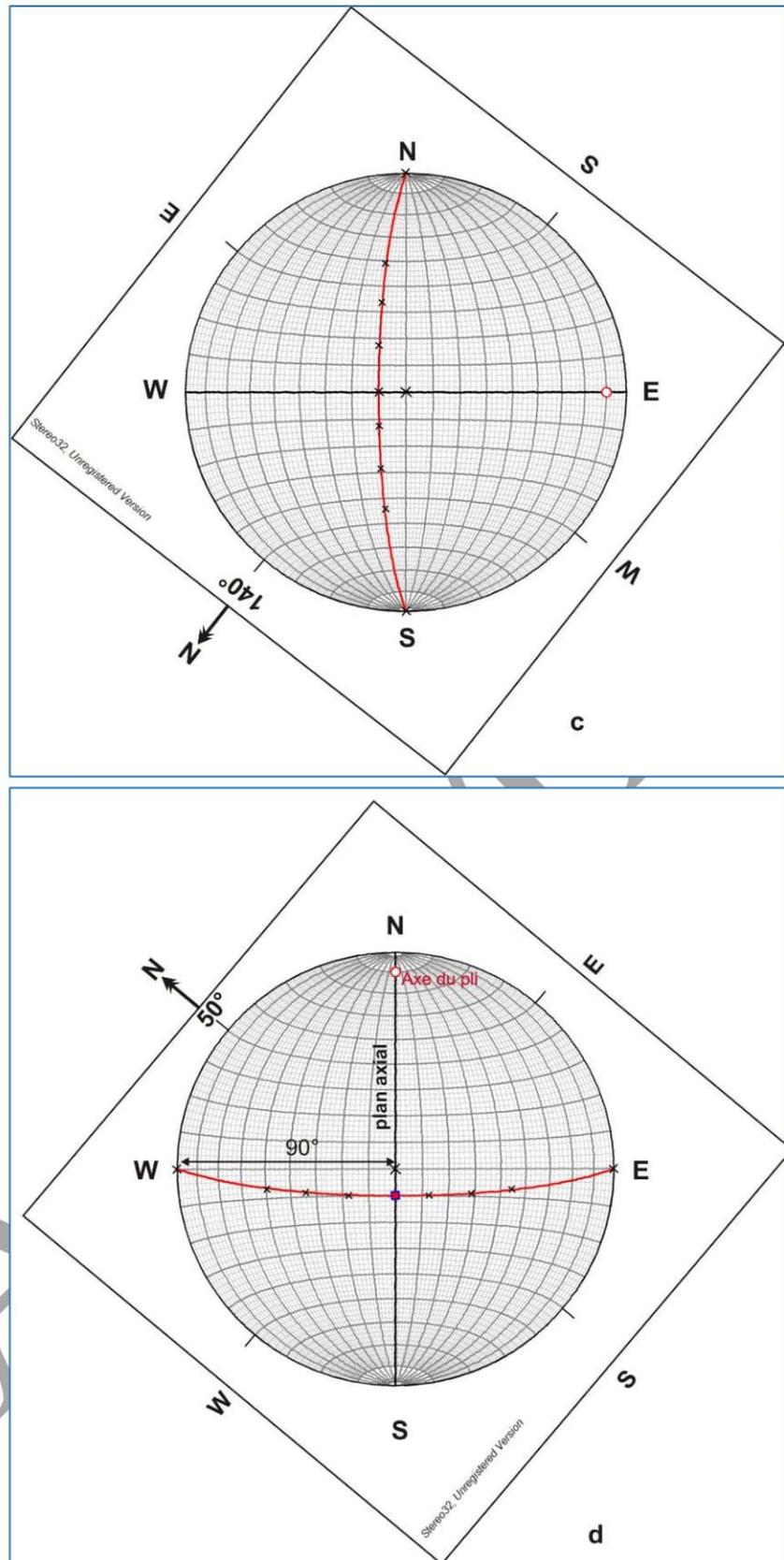
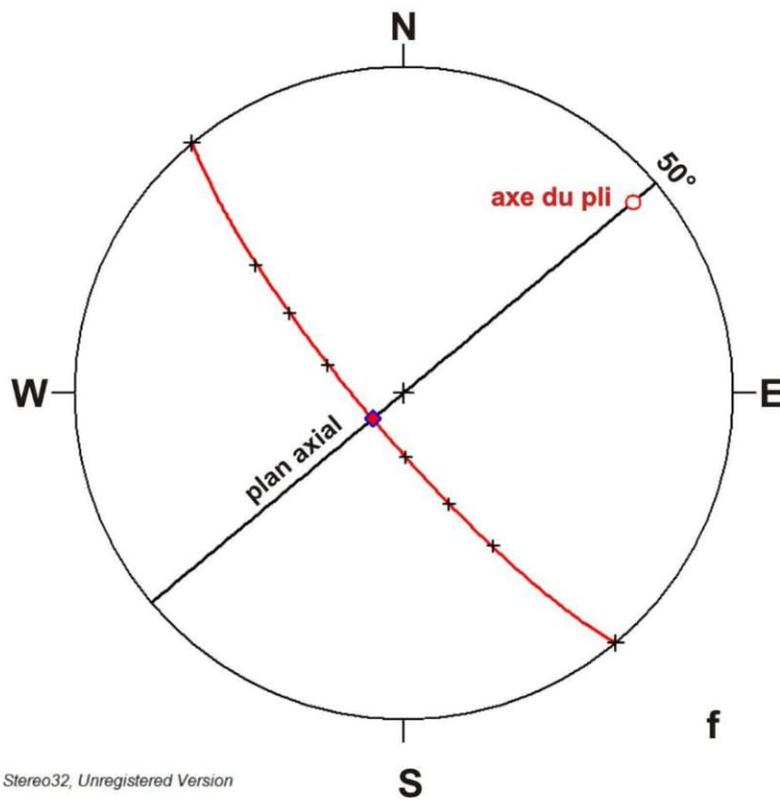
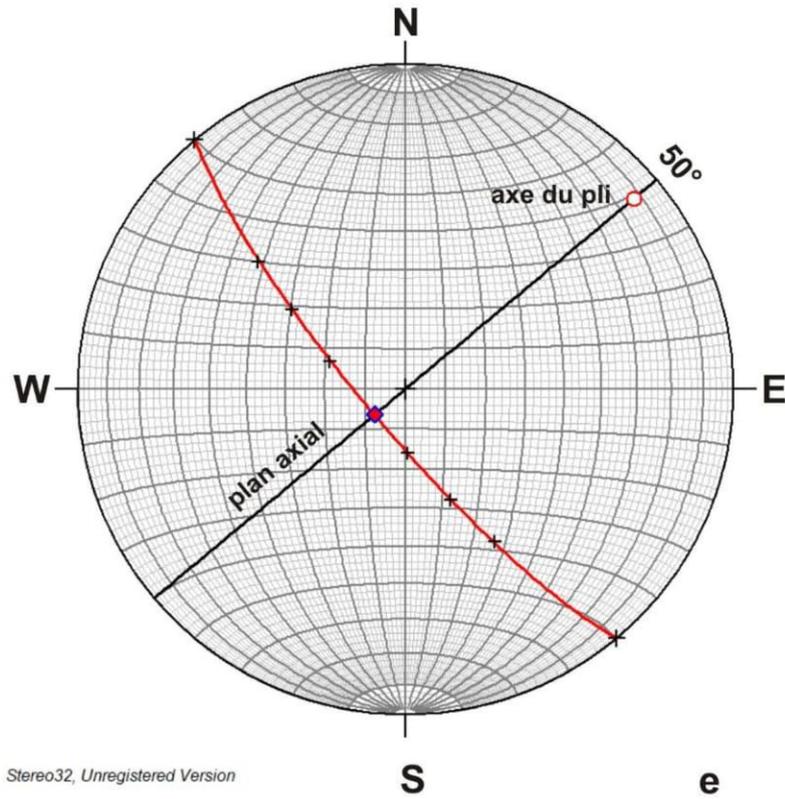


Fig. 8 a et b : Etapes de construction de l'axe du pli et du plan axial



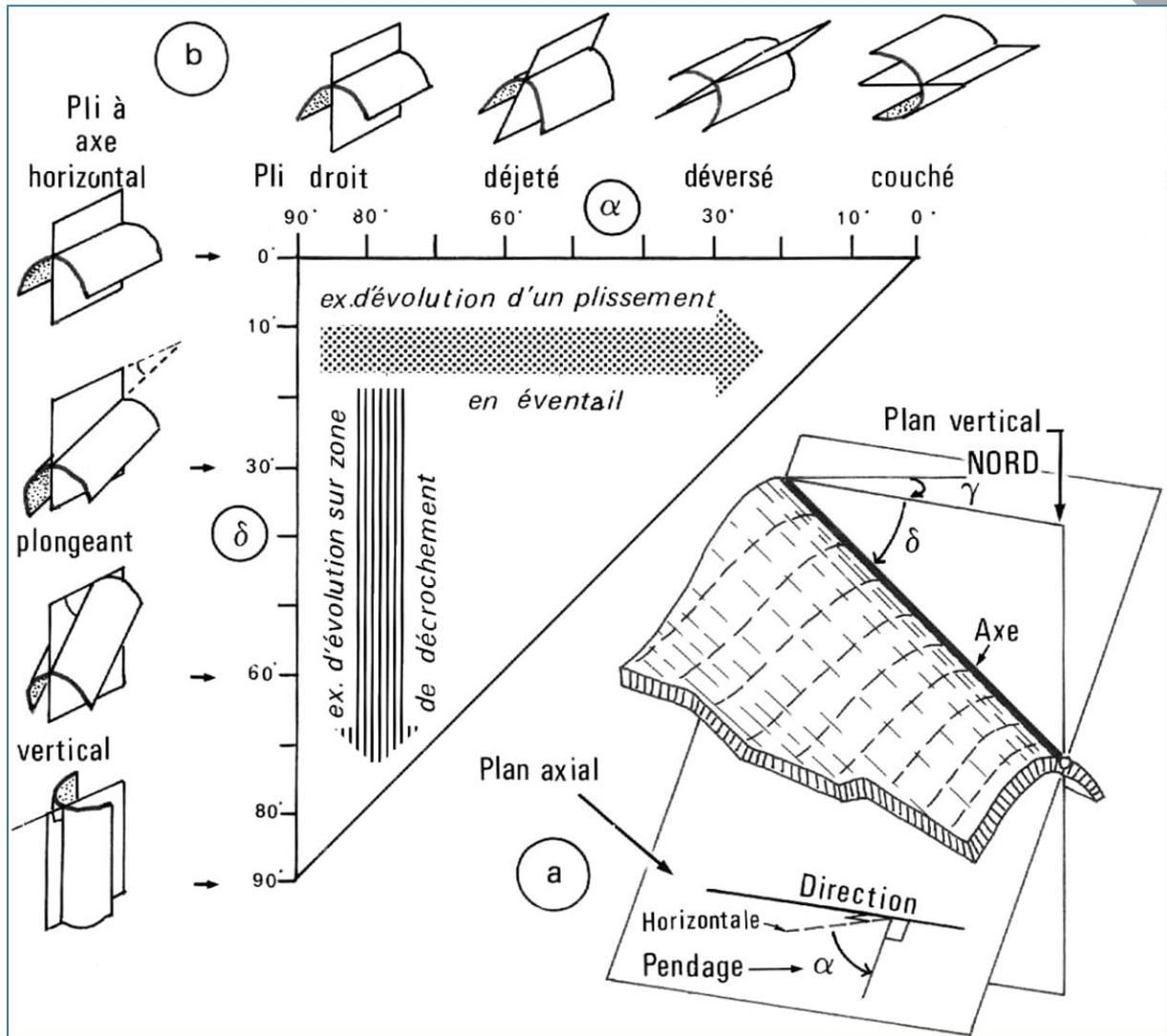
**Fig. 8 :** Etapes de construction d'un axe de pli et d'un plan axial, **a** : mettre les pôles des plans sur un même grand cercle (N140 80SW), **b** : tracer le pôle de ce plan (cercle rouge) : c'est l'axe du pli, N50 10NE ; **c** : construction du plan axial ; **d** : déterminer les valeurs de son attitude : N50 90°.



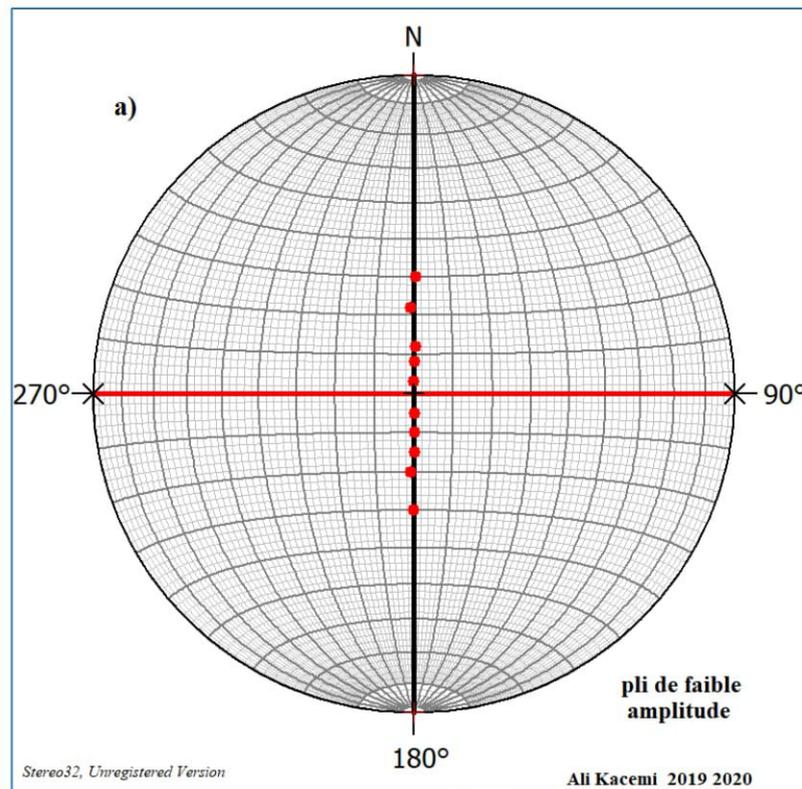
**Fig. 8 e et f :** Visualisation de la projection stéréographique du plan profil du pli, de l'axe du pli et du plan axial (**e** : le canevas et **f** : le stéréogramme).

#### 4. Les différents styles de projection stéréographique des plis : axes de plis et plans axiaux

Afin d'interpréter et donner le type et le style de pli, il faut avoir quelques données sur la géométrie du pli telles que la classification de Fleuty, l'angle d'ouverture du pli (angle d'inter-flancs) figures 9, 10 et 11.

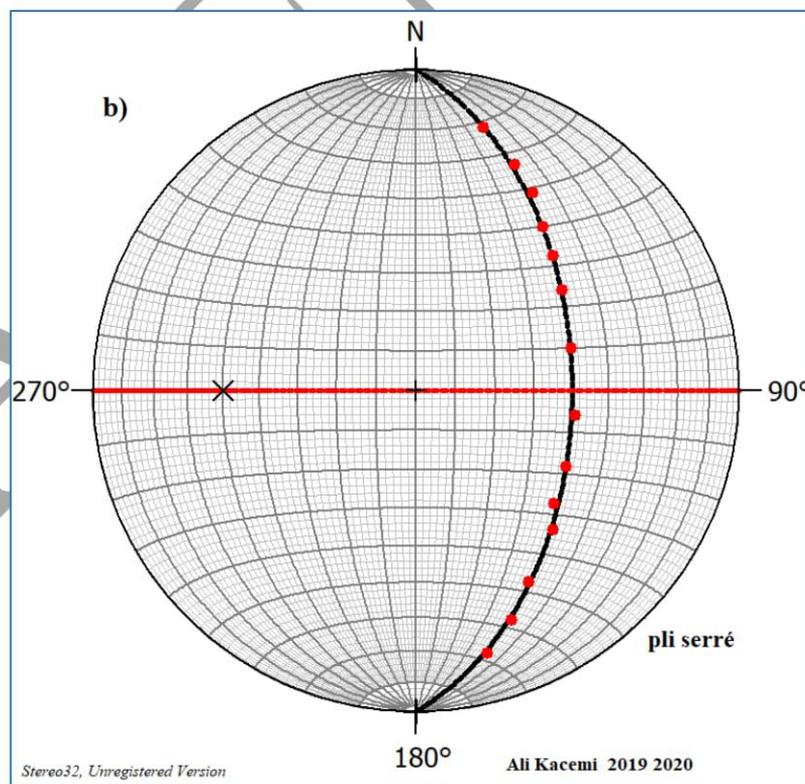


**Fig. 9 :** Classification géométrique des plis selon **Fleuty (1964)**, basée sur le plongement de l'axe (axe  $\delta$ ) et le pendage du plan axial (axe  $\alpha$ ).



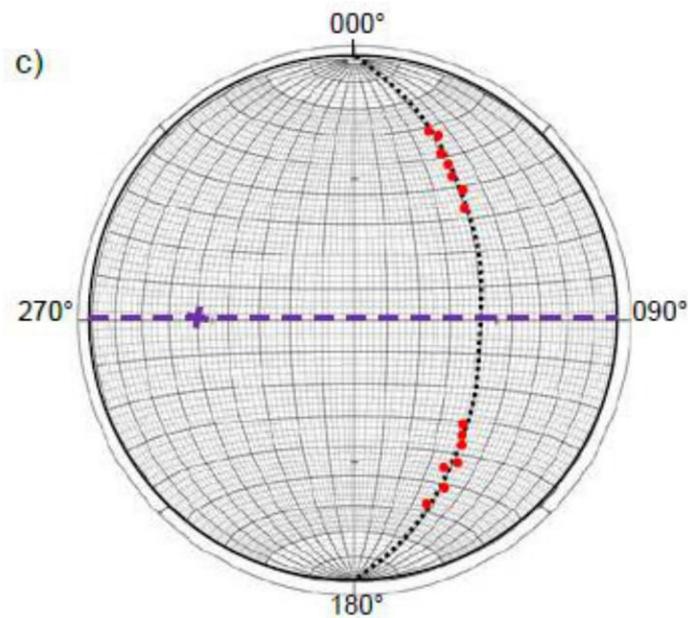
**Fig. 10a :** Pli droit, à axe non-plongeant. **Pli de faible amplitude** (Gentle fold)

Un pli de faible amplitude aura seulement un pendage des couches moins important et donc les pôles de stratification seront concentrés près de la zone du plan axial (figure 10 a).¶



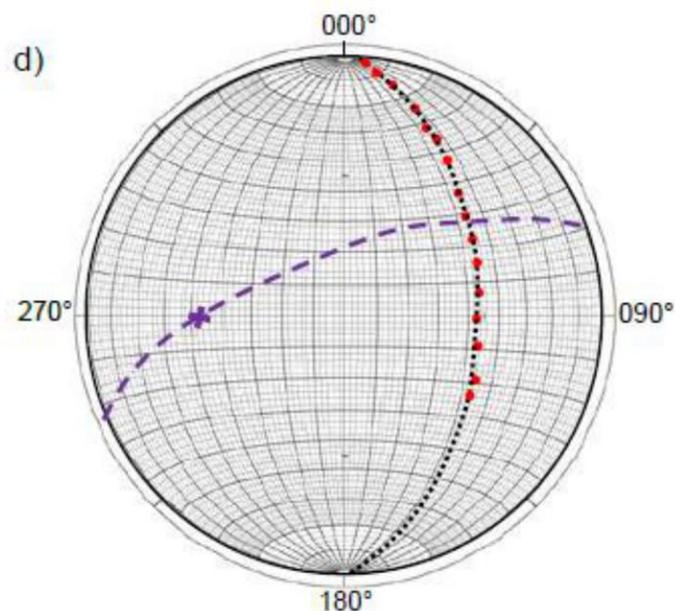
**Fig. 10 b :** Pli droit, à axe plongeant. **Pli serré** (Tight fold)

Un pli serré possède des couches avec une très large gamme de pendage du très raide sur les flancs à horizontal dans la zone de charnière donc les pôles seront largement distribués autour de la trace cyclographique convenable (la figure 10 b).



**Fig. 10 c** : Pli droit, à axe plongeant, **Pli en chevron** (chevron fold)

Pour le **pli en chevron** avec ses flancs droits et charnière pointue, réparti (divise) en zones les pôles et sera dans deux groupes, un pour chaque flanc (figure 10 c).



**Fig. 10 d** : Pli incliné (ou déjeté) à axe plongeant, serré (Inclined folds)

Les plis inclinés auront une distribution asymétrique autour du grand cercle convenable reflétant le pendage plus raide et plus peu profond des flancs (figure 10 d).

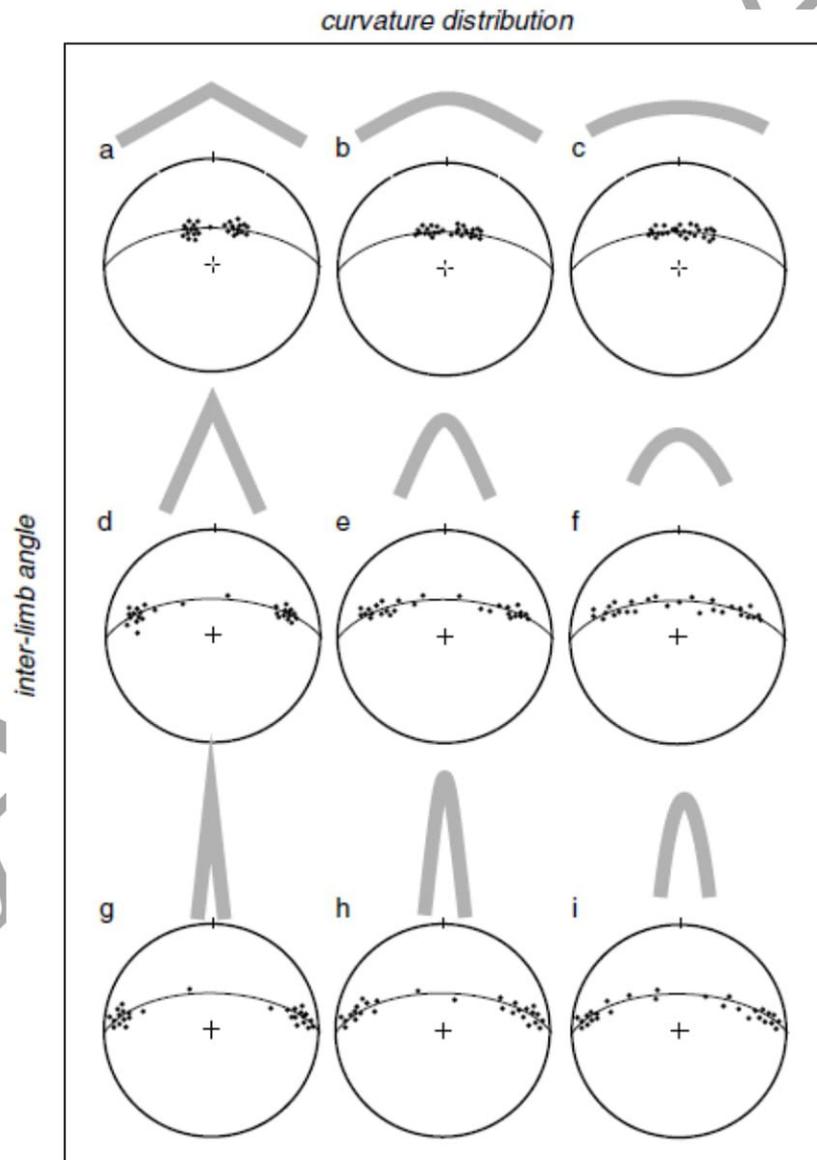
Les plans axiaux des plis droits se traceront en tant que lignes droites-grands cercles sur le stéréogramme, tandis que les plans axiaux des plis inclinés se représenteront en tant que grands cercles incurvés.

Les cercles convenables des **plis non plongeants** se traceront en tant que lignes droites-grands cercles sur le stéréogramme (figure 10 a).

Pour des plis plongeants les cercles qui conviennent seront de grands cercles incurvés (figures 10 b-d).

Les axes de pli des plis non-plongeants se traceront sur le cercle fondamental du stéréogramme, tandis que les axes de pli des plis plongeants se représenteront à l'intérieur du stéréogramme.

**Visualisons des stéréogrammes des différents plis avec le type de plissement** en fonction de la distribution de courbure et l'angle d'ouverture du pli (angle d'inter-flancs) : (figure 11).



**Fig. 11** : Visualisation de la projection stéréographique de plis avec le type de plissement selon la distribution de courbure et l'angle d'ouverture du pli (angle d'inter-flancs)

**EXERCICES :**

**1<sup>er</sup> Exercice :** Représentation d'un pli cylindrique :

Pli : les valeurs des attitudes de la stratification  $S_0$  : sur les flancs du pli

N 17°20'NW

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 : N108°20'ESE

Représentation et interprétation du pli

**2<sup>ème</sup> Exercice :**

Des mesures de stratifications ont été effectuées (en série normale) dans l'ordre ci-dessous en suivant une couche repère de calcaire.

- Quelles sont les caractéristiques géométriques de ce pli ?
- Calculer l'orientation de son axe avec la méthode adéquate.
- L'axe de pli n'était pas visible sur le terrain en raison d'une zone à forte couverture végétale. Retrouver la mesure la plus « proche » de l'axe du pli.

P1: N75-72S

P2: N86-68S

P3: N87-63S

P4: N95-60S

P5: N106-54S

P6: N112-52S

P7: N137-45SW

P8: N20-56W

P9: N26-56W

P10: N29-64NW

P11: N35-64NW

P12: N40-71NW.

**NB :** Tous les TD/TP proposés dans cette plateforme sont déjà approuvés par le conseil scientifique de l'université Abou Bekr Belkaïd (pour l'habilitation).