Cartes géologiques

Par Marc-André Bérubé et Michel Rocheleau

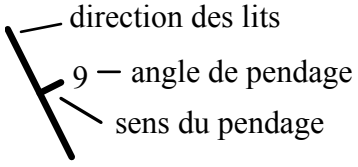
1 - **Direction et pendage**

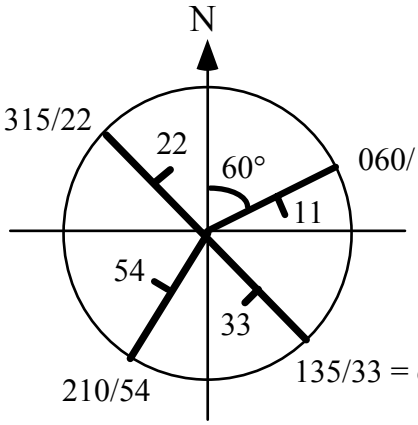
L'attitude des lits dans une masse rocheuse sédimentaire (lithologie) ou celle de plans d'orientation préférentielle (schistosité, gneissosité, cisaillement,...) ou de plans de cassure préférentielle (e.g. joints, diaclase, faille,...) dans une masse rocheuse quelconque est exprimée par la direction et le pendage.

Direction: orientation d'une ligne imaginaire horizontale appartenant au plan de litage, d'orientation ou de cassure, par rapport au nord (azimut). Par convention, la direction est toujours donnée dans le sens horaire par rapport au nord et prend une valeur comprise entre 000 et 360, en considérant que le pendage devra être mesuré dans le sens horaire par rapport à la direction (voir croquis ci-après).

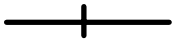
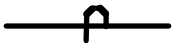
Pendage: angle en degrés entre ce plan et le plan horizontal mesuré à angle droit de la direction, vers la pente et toujours dans le sens horaire par rapport à la direction. Le pendage prend une valeur comprise entre 00 (plan horizontal) et 90 (plan vertical).

Représentation sur une carte:



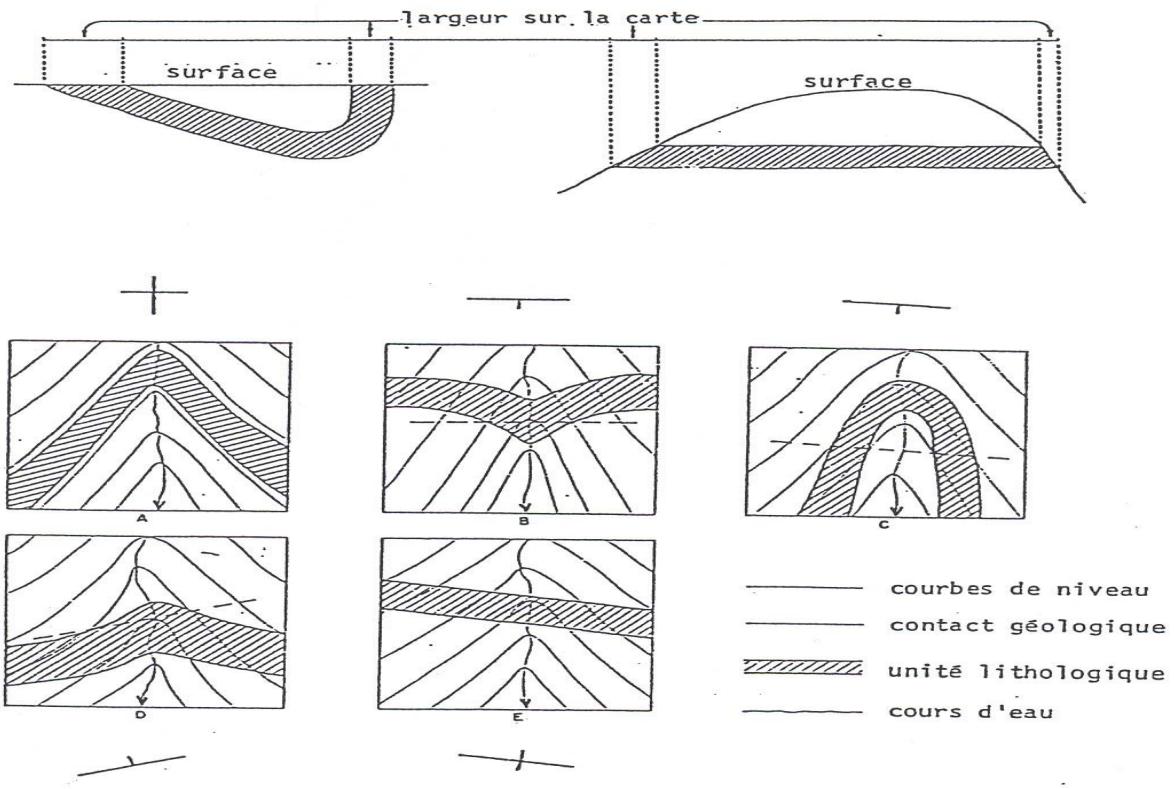


La direction est toujours mesurée dans le sens horaire par rapport au nord et dans le même sens que le pendage

Cas particuliers: lits horizontaux: , verticaux: , retournés: 

2 - Influence de l'attitude des lits et de la topographie sur la carte géologique

- La **largeur apparente** d'une unité rocheuse sur une carte géologique dépend de son attitude (direction et pendage) et de la topographie.

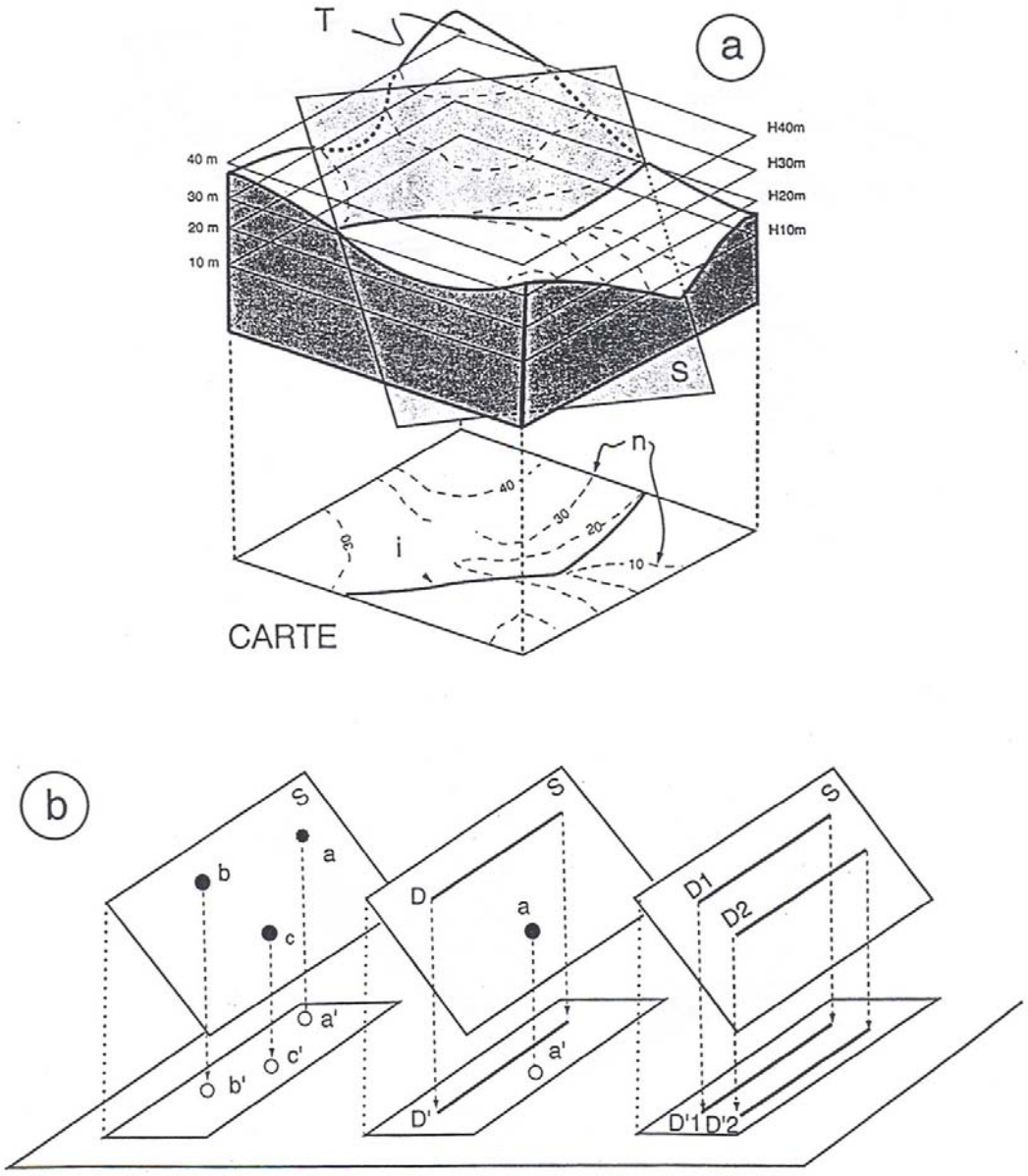


- **Lits horizontaux:** les contacts géologiques sont parallèles aux courbes de niveau (voir croquis A sur la figure précédente).
- **Lits à pendage dans le même sens que la pente de la vallée** (e.g. dans le même sens que le courant d'un cours d'eau):

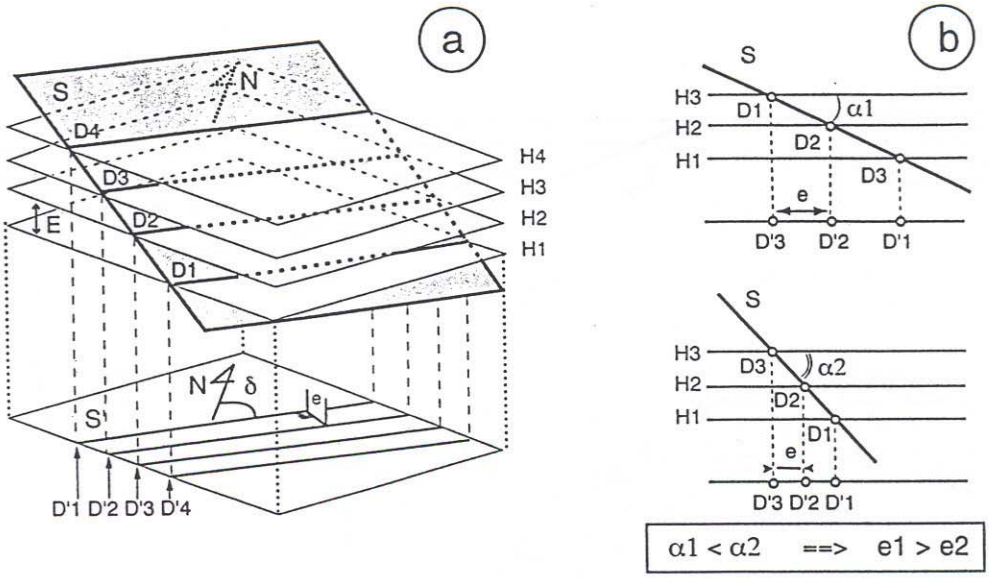
- pendage plus abrupt que la pente de la vallée (ou du cours d'eau): les contacts pointent vers la pente de la vallée, dans le sens du pendage des lits (voir croquis B sur la figure précédente).
- pendage moins abrupt que la pente de la vallée (ou du cours d'eau): les contacts pointent dans le sens contraire à la pente de la vallée et au pendage des lits (voir croquis C sur la figure précédente).

- **Lits à pendage dans le sens contraire à la pente de la vallée** (e.g. dans le sens opposé au courant d'un cours d'eau): les contacts pointent dans le sens contraire à la pente de la vallée, dans le sens du pendage des lits (voir croquis D sur la figure précédente).
- **Lits à pendage vertical** (dyke,...): les contacts géologiques ne sont pas influencés par la topographie et ils sont droits sur la carte géologique.

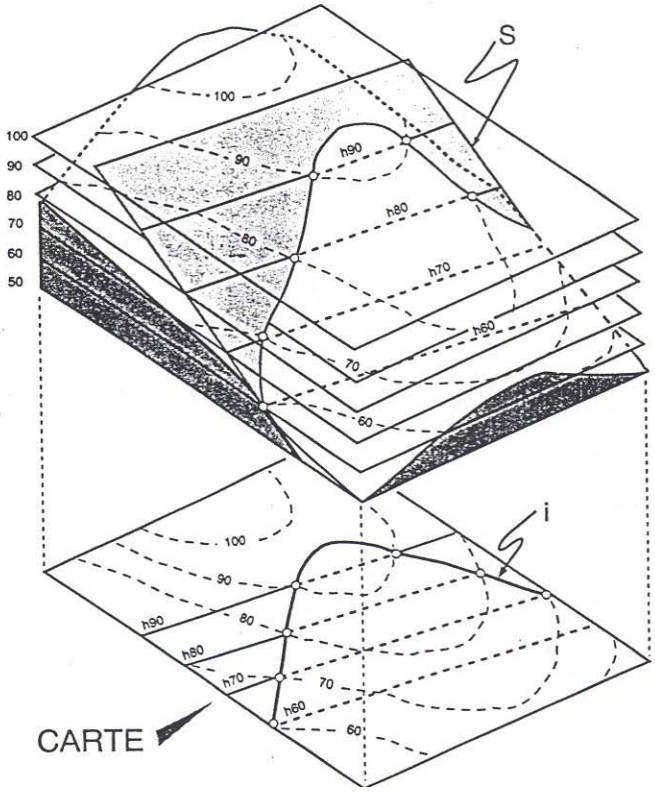
Note: Les phénomènes précédents ne sont observables que sur les cartes où le relief est important.



a) Intersection d'une surface géologique (S) avec une surface topographique (T) : vue en trois dimensions et en carte.
b) Définition d'une surface plane en géométrie dans l'espace.



Intersection d'une surface (S) avec des plans horizontaux équidistants (H) : détermination du réseau d'horizontales direct (Rh) et projeté (Rh') de cette surface S.
a) vue dans l'espace,
b) vue en coupe montrant la variation de e en fonction de α.



Réseau d'horizontales du plan S : vue dans l'espace et en carte.

3 - <u>Détermination de la direction des lits</u> (En l'absence de symboles sur la carte)

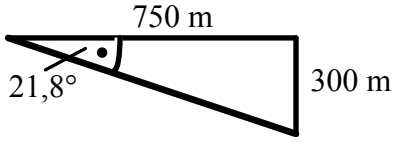
Une ligne reliant les points d'intersection d'un contact géologique donné avec une même courbe de niveau: (1), est nécessairement horizontale, (2), appartient au plan du contact géologique donné (avant érosion), et (3), est donc parallèle à la direction de ce plan de contact (i.e. à une ligne horizontale imaginaire située sur ce plan. De plus, l'élévation de la courbe de niveau considérée correspond à l'élévation du plan de contact géologique à cette position sur la carte.

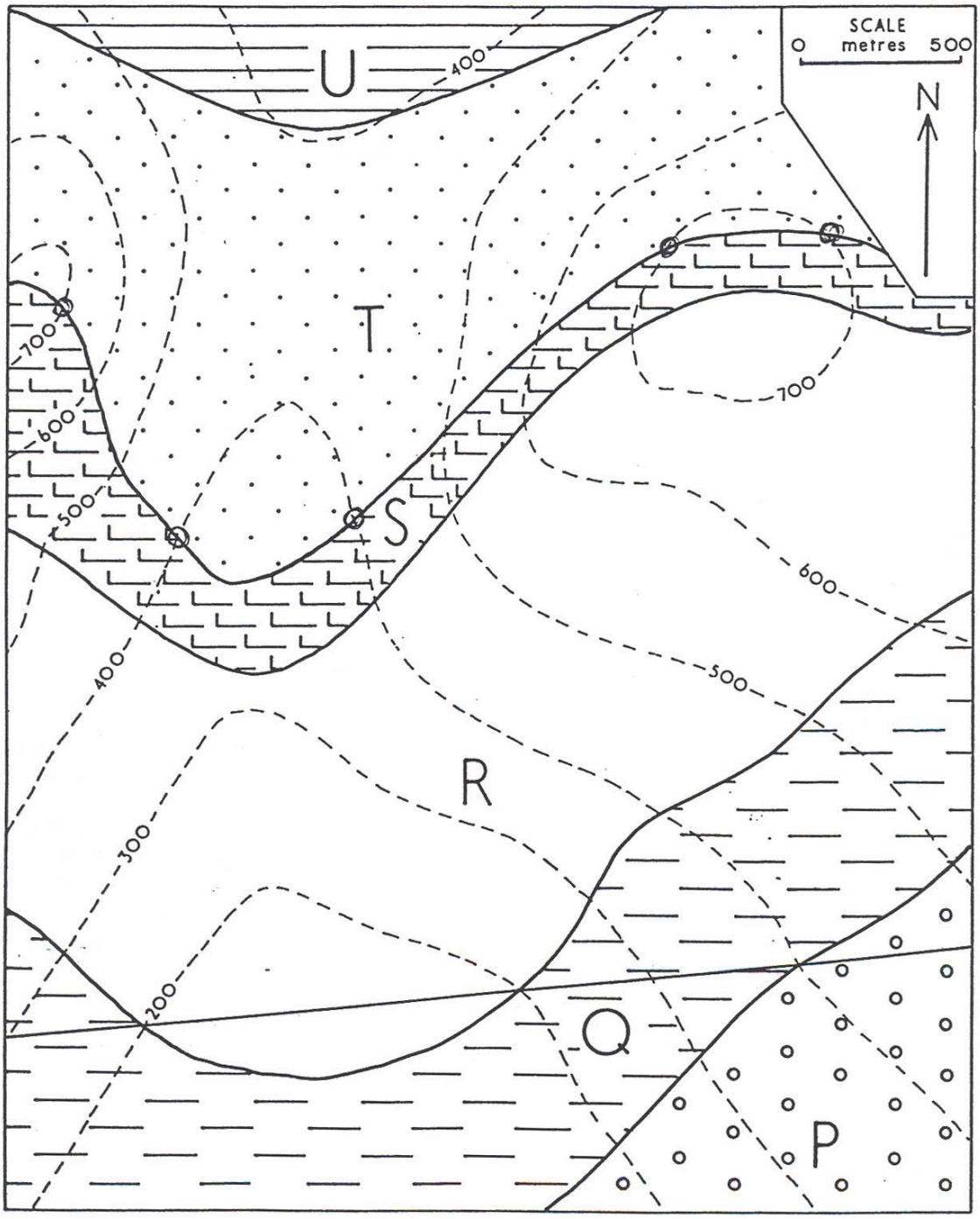
Sur la carte qui précède, le contact géologique TS (entre la roche T et la roche S) traverse la courbe de niveau 700 m en 3 points. Ces 3 points reposent donc sur la ligne de direction de niveau 700 m de ce contact. Si les lits sont plats, parallèles et d'épaisseur uniforme pour chaque lithologie, toutes les lignes de direction seront droites, parallèles et également espacées (à cause du pendage constant des lits). C'est ce que l'on observe sur la carte précédente où les lignes de direction des autres contacts UT et SR ont pu également être tracées. La direction des lits est ici approximativement de 084 (si le pendage est vers le sud) ou de 264 (si le pendage est vers le nord).

4 - <u>Détermination du pendage des lits</u> (En l'absence de symboles sur la carte)

Le pendage est l'inclinaison des lits par rapport à l'horizontale, à 90° de leur direction, mesurée dans le sens de la pente. Pour le déterminer, on n'a besoin que de deux lignes de direction cotées (i.e. dont on connaît l'élévation et la position sur la carte). Dans l'exemple précédent, la ligne de direction d'élévation 400 m du contact TS est située au sud de celle d'élévation 700 m (du même contact). Le pendage de ce dernier est donc vers le sud (plus précisément à 90° de la direction du contact qui est alors de 084 et non de 264).

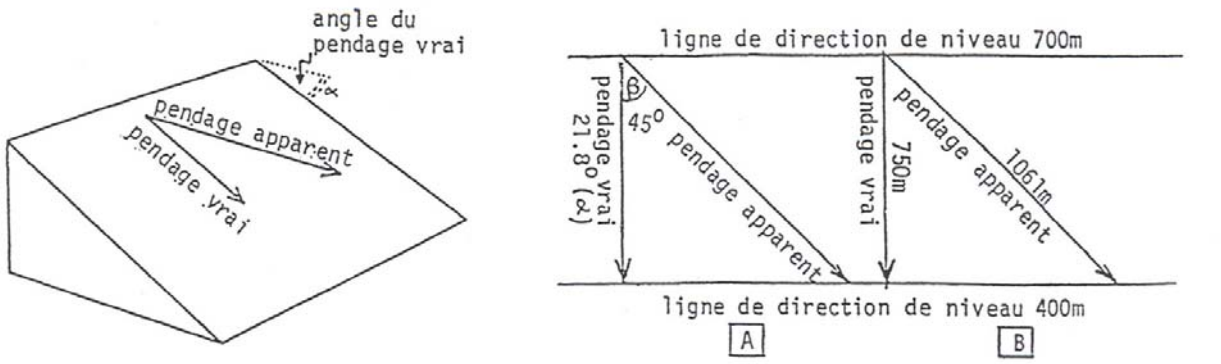
La valeur du pendage en degrés est déterminée à partir de la distance horizontale entre les lignes de direction. Dans le cas précédent, la distance horizontale entre les deux lignes de direction précitées est d'environ 750 m (distance mesurée parallèlement au pendage) pour une dénivellation de 300 m (différence d'élévation entre les deux lignes de direction appartenant au même plan TS). Le pendage du lit TS est donc de 21,8° (arctg 300 m / 750 m).




SCALE
metres 500
N
U
T
S
R
Q
P
400
700
600
500
300
200

5 - Détermination du pendage apparent des lits

Il est parfois nécessaire d'évaluer l'inclinaison des lits dans une autre direction que celle du pendage, par exemple lorsque l'on doit dessiner une section verticale pour la construction d'un barrage, par exemple. Il y a deux façons de procéder:



Solution analytique: À partir du pendage vrai (α) et de l'angle horizontal (β) entre la direction des lits et celle considérée:

$$\text{Pendage apparent } \alpha^* = \text{arctg } (\text{tg } \alpha \times \cos \beta)$$

Dans l'exemple représenté sur le croquis A de la figure précédente, le pendage apparent α* à 45° horizontalement (β) par rapport à un pendage vrai de 21,8° (α) serait de 15,8°.

Solution graphique: À partir des lignes de direction cotées et de la distance horizontale entre ces lignes dans la direction considérée (distance mesurée en plan):

$$\text{Pendage apparent } \alpha^* = \text{arctg } (\text{dénivellation} / \text{distance horizontale})$$

Dans l'exemple représenté sur le croquis B de la figure précédente, le pendage apparent serait de 15,8° selon la direction choisie (arctg 300 m / 1061 m).

Note: Le pendage apparent ne peut jamais être supérieur au pendage vrai.

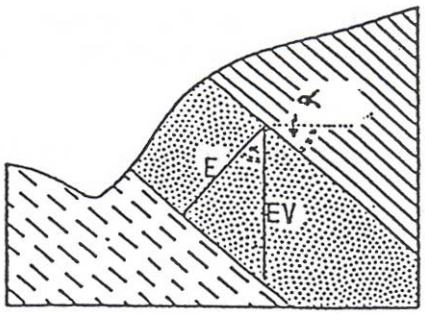
6 - Détermination de l'épaisseur des lits

L'épaisseur des lits se détermine à partir des lignes de direction cotées et de l'épaisseur verticale (EV). Sur la carte précédente, la ligne de direction de niveau 500 m du contact SR (toit de l'unité S) coïncide avec la ligne de direction de niveau 400 m du contact TS (base de l'unité S). L'épaisseur verticale du lit S est donc de 100 m. Autrement dit, un forage vertical effectué par exemple au point A sur la carte, d'élévation 600 m, rencontrerait le toit et la base de l'unité S à des profondeurs respectives de forage de 100 m (niveau 500 m) et de 200 m (niveau 400 m), pour une épaisseur verticale (EV) de 100 m.

La véritable épaisseur du lit est mesurée perpendiculairement au litage. L'angle α entre EV (épaisseur verticale) et E (épaisseur vraie) est égal à l'angle du pendage, et l'on obtient:

$$E \text{ (épaisseur vraie)} = EV \cos \alpha \quad (\text{où } \alpha = \text{angle du pendage})$$

Dans l'exemple présenté, le lit S a une épaisseur vraie de 92,8 m (= 100 m x cos 21,8°).

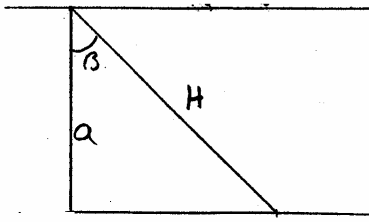


COUPE PERPENDICULAIRE À LA DIRECTION DES STRATES

Calcul du pendage apparent d'une strate (solution trigonométrique)

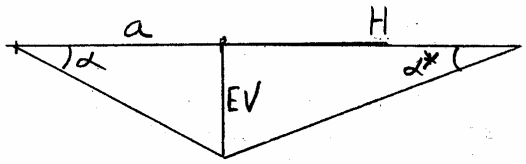
$$tg\,\alpha^* = \frac{EV}{H}$$

$$H = \frac{a}{\cos\beta}$$

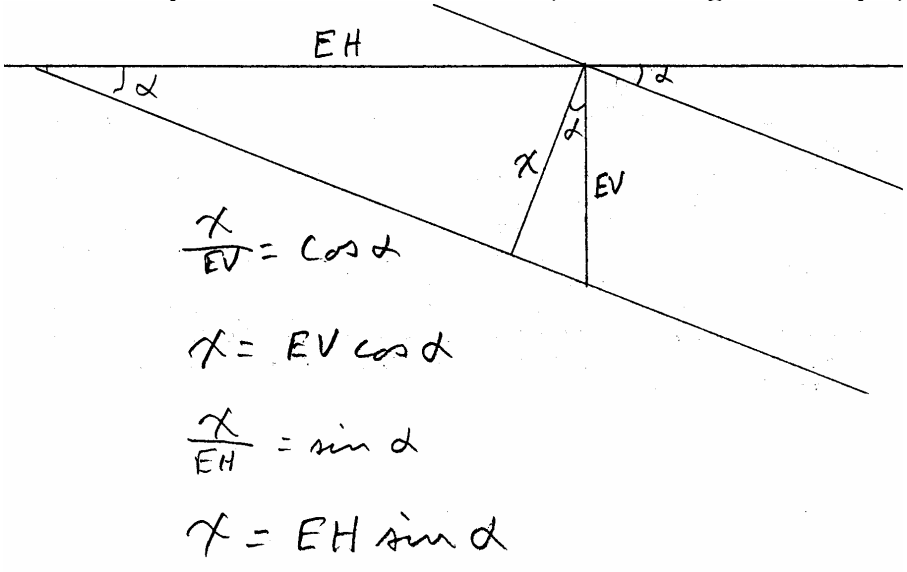


$$tg\,\alpha^* = \frac{EV \cdot \cos\beta}{a}$$

$$= tg\,\alpha \cdot \cos\beta$$



Calcul de l'épaisseur réelle d'une strate (solution trigonométrique)



$$\frac{x}{EV} = \cos\alpha$$

$$x = EV\cos\alpha$$

$$\frac{x}{EH} = \sin\alpha$$

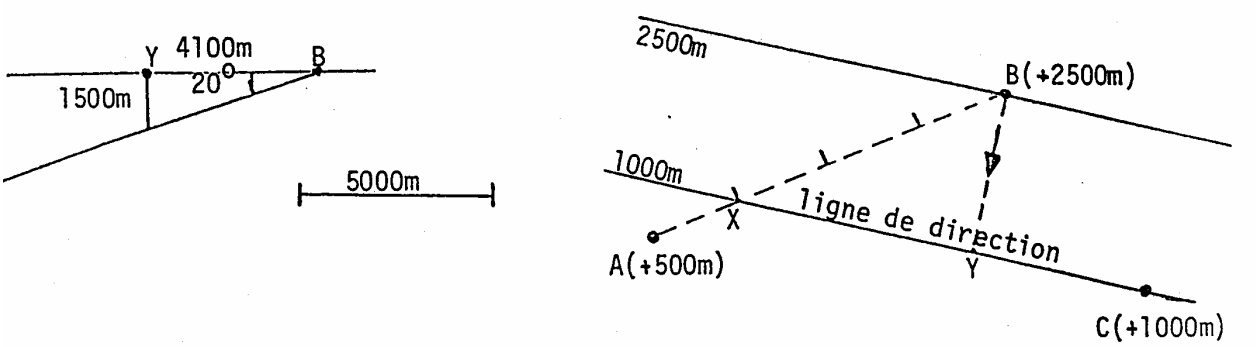
$$x = EH\sin\alpha$$

7. PROBLÈMES DE GÉOMÉTRIE DANS L'ESPACE

7.1 - Problèmes à trois points

Si les élévations d'un contact géologique quelconque (contact entre deux lits, lit mince, veine, faille, niveau supérieur d'un aquifère,...) sont connues (affleurements, forages,...) en trois points, on peut déterminer la direction et le pendage de ce contact en supposant un pendage uniforme. Ce principe est fréquemment appliqué en géologie, en génie géologique, en génie minier et en génie civil. On procède ainsi:

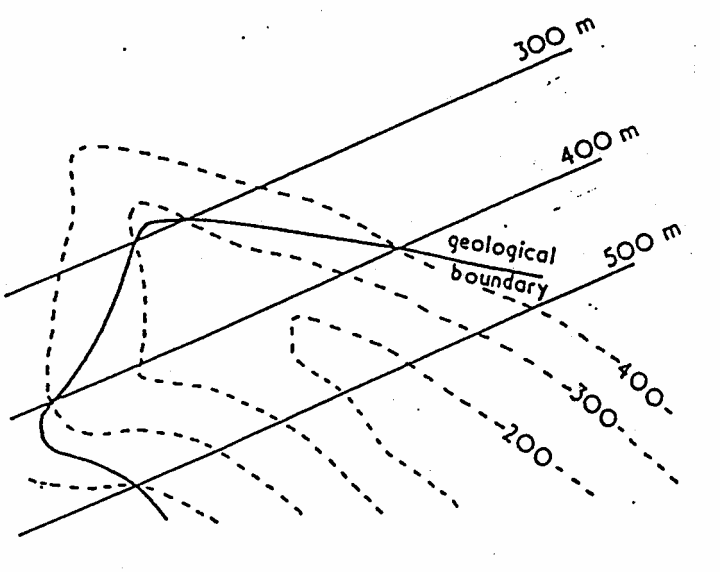
- Joindre le point le plus élevé au point le moins élevé (par rapport au niveau de la mer).
- Diviser le segment de droite obtenu en parties égales en accord avec l'échelle de la carte.
- Positionner sur cette ligne le point de même élévation que le troisième point d'élévation intermédiaire.



On a donc ainsi deux points appartenant au même contact géologique et de même élévation; par définition, ils sont situés sur une même ligne de direction de ce contact dont on connaît par surcroît l'élévation. Les autres lignes de direction cotées peuvent être tracées parallèlement à la première, et le pendage du contact peut être obtenu comme d'habitude, i.e. à partir des élévations de ces lignes de direction et de leur espacement horizontal.

7.2 - Insertion d'affleurements

Il s'agit de relier tous les points appartenant à la fois à la surface du terrain et au contact considéré. On repère d'abord les points d'intersection des courbes de niveau avec les lignes de direction de même élévation appartenant au contact. On relie ensuite ces points en interpolant entre les courbes de niveau.



7.3 - Profondeur de forage

On détermine l'élévation du contact étudié à la verticale du site de forage à l'aide encore une fois des lignes de direction. La profondeur de forage est la différence entre l'élévation du site de forage et celle du contact géologique. On peut appliquer cette procédure pour estimer par exemple la profondeur d'une unité lithologique jouant le rôle d'aquifère, pour déterminer le site du forage le moins coûteux (profondeur d'intersection la plus faible),...

7.4 - Pendage apparent des lits tel qu'observé en section

Une remarque importante s'impose en ce qui concerne les coupes géologiques. En effet, le pendage apparent des lits tels qu'observés en section dépendra de l'orientation de cette section par rapport à la direction des lits. Ce pendage apparent variera entre 0° (coupe parallèle à direction des lits) et le pendage vrai α (coupe perpendiculaire à la direction des lits).

EXERCICES 2A

ATTITUDE ET ÉPAISSEUR DES LITS EN ABSENCE DE PLIS ET FAILLES

a) Sur la carte géologique/topographique suivante, dessinez les lignes de direction des contacts géologiques AB, BC, CD, DE et EF.

b) Quels sont la direction et le pendate des lits? _____ / _____

c) Quelle est l'épaisseur (verticale) apparente des unités lithologiques B, C, D et E?

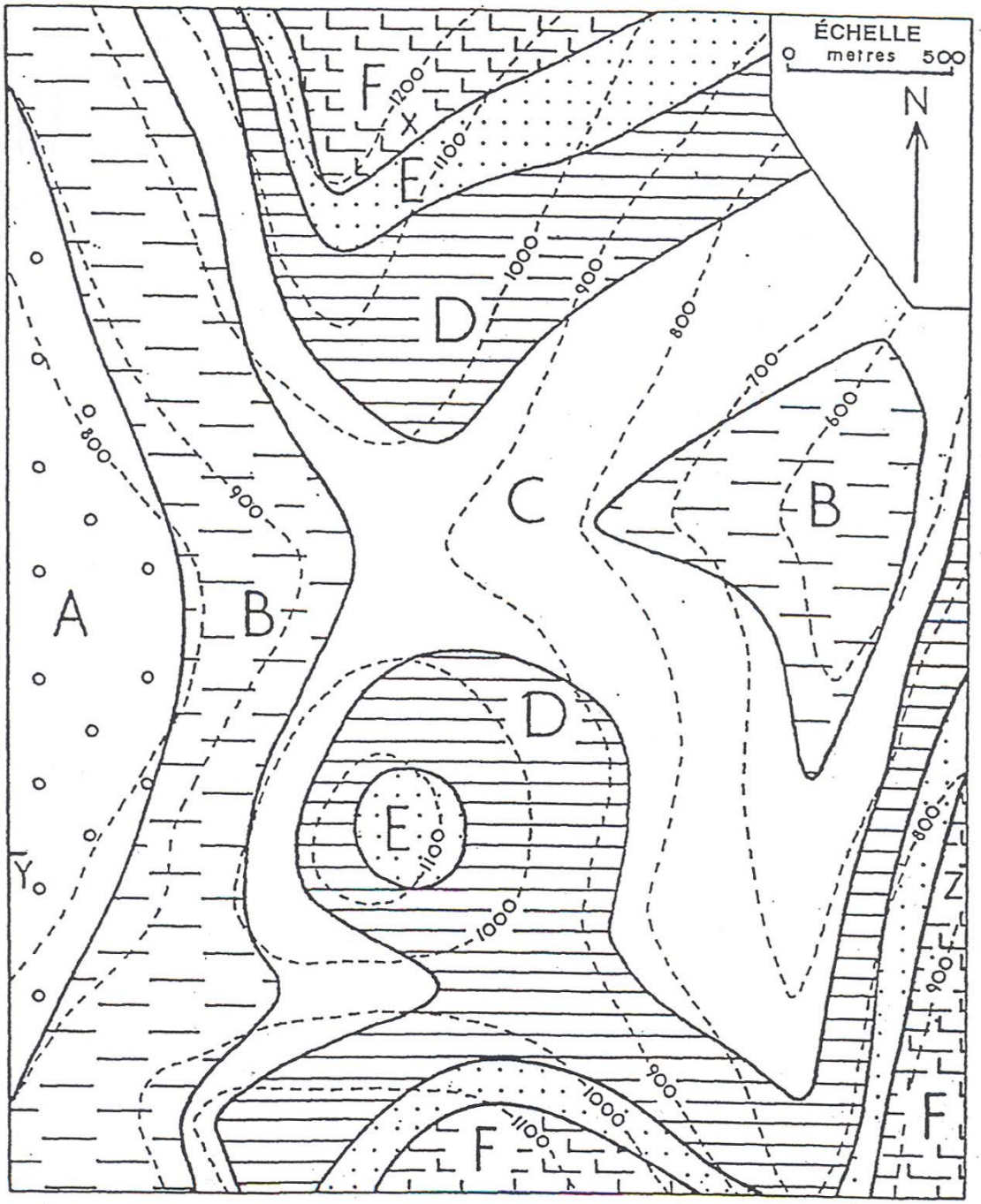
Unité B: _____ Unité C: _____ Unité D: _____ Unité E: _____

d) Quelle est l'épaisseur vraie des unités lithologiques B, C, D et E?

Unité B: _____ Unité C: _____ Unité D: _____ Unité E: _____

e) Quel serait le pendage apparent des lits selon une coupe verticale N-60°-E?_____ degrés

f) Numérotez, directement sur la carte, les différentes unités lithologiques de 1 (la plus vieille) jusqu'à 6 (la plus jeune).


ÉCHELLE
metres 500
N
F
E
D
C
B
A
1200
1100
1000
900
800
700
600
LÉGENDE
GRÈS
SHALE
CALCAIRE
ARGILE
CONGLOMÉRAT

Carte A

EXERCICES 2B

PROBLÈME À 3 POINTS, INSERTION D'AFFLEUREMENTS ET PROFONDEUR DE FORAGE (région non plissée)

Trois trous de forage (verticaux) effectués aux points A, B et C sur la carte topographique suivante atteignent un lit de charbon à des profondeurs respectives de 400, 100 et 250 m. De plus, en A, le forage a traversé complètement ce lit et l'a intersecté sur une longueur de 50 mètres.

a) Par la méthode des 3 points appliquée directement sur la carte, déterminez la direction du lit de charbon. (Note: Il faut d'abord déterminer les élévations du lit de charbon aux points A, B et C par rapport au niveau de la mer).

b) Tracez sur la carte les lignes de direction du lit aux 50 mètres.

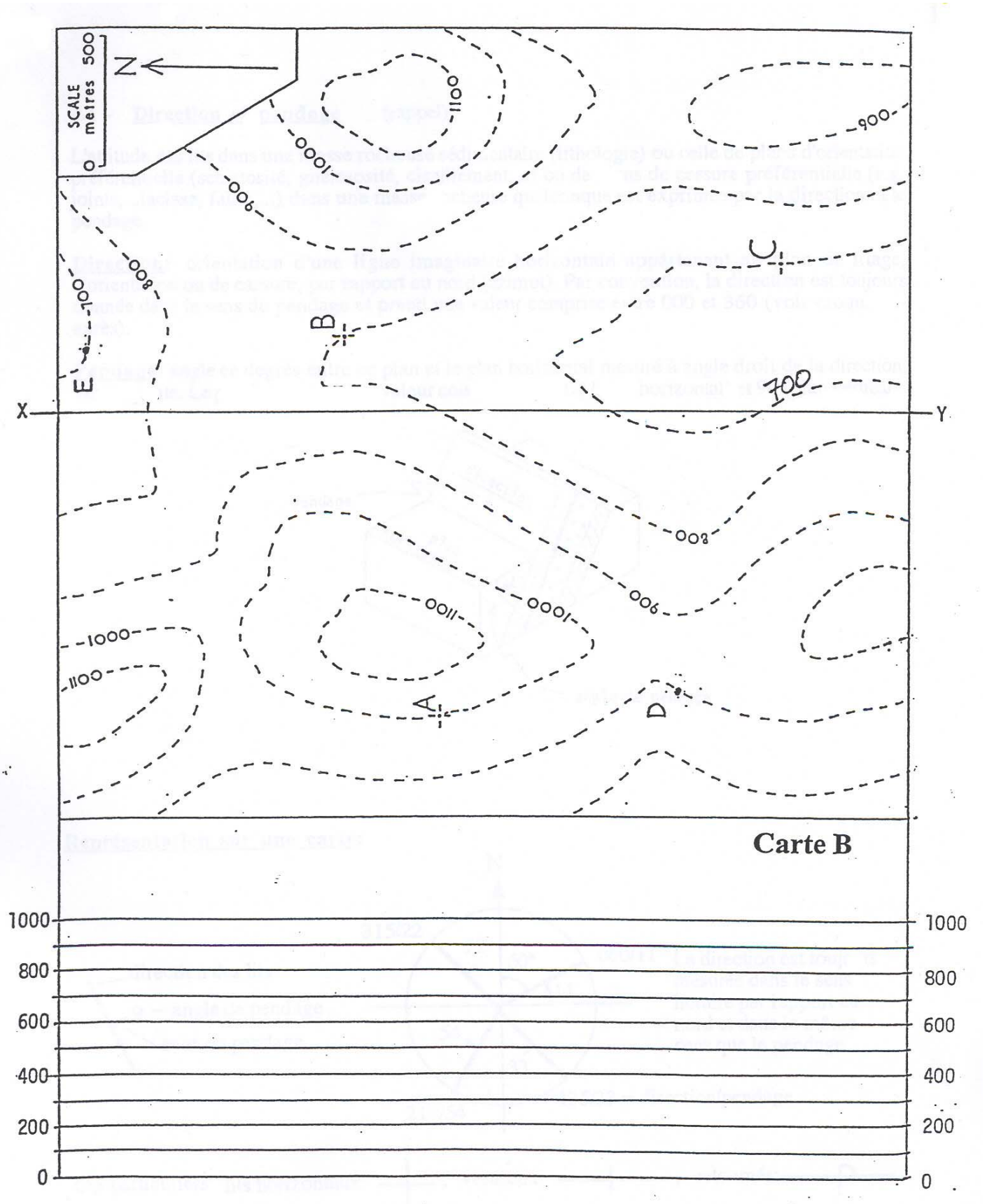
c) Quels sont la direction et le pendage du lit? _____ / _____

d) À quelle profondeur de forage vertical devrions-nous intercepter le lit aux points D et E?

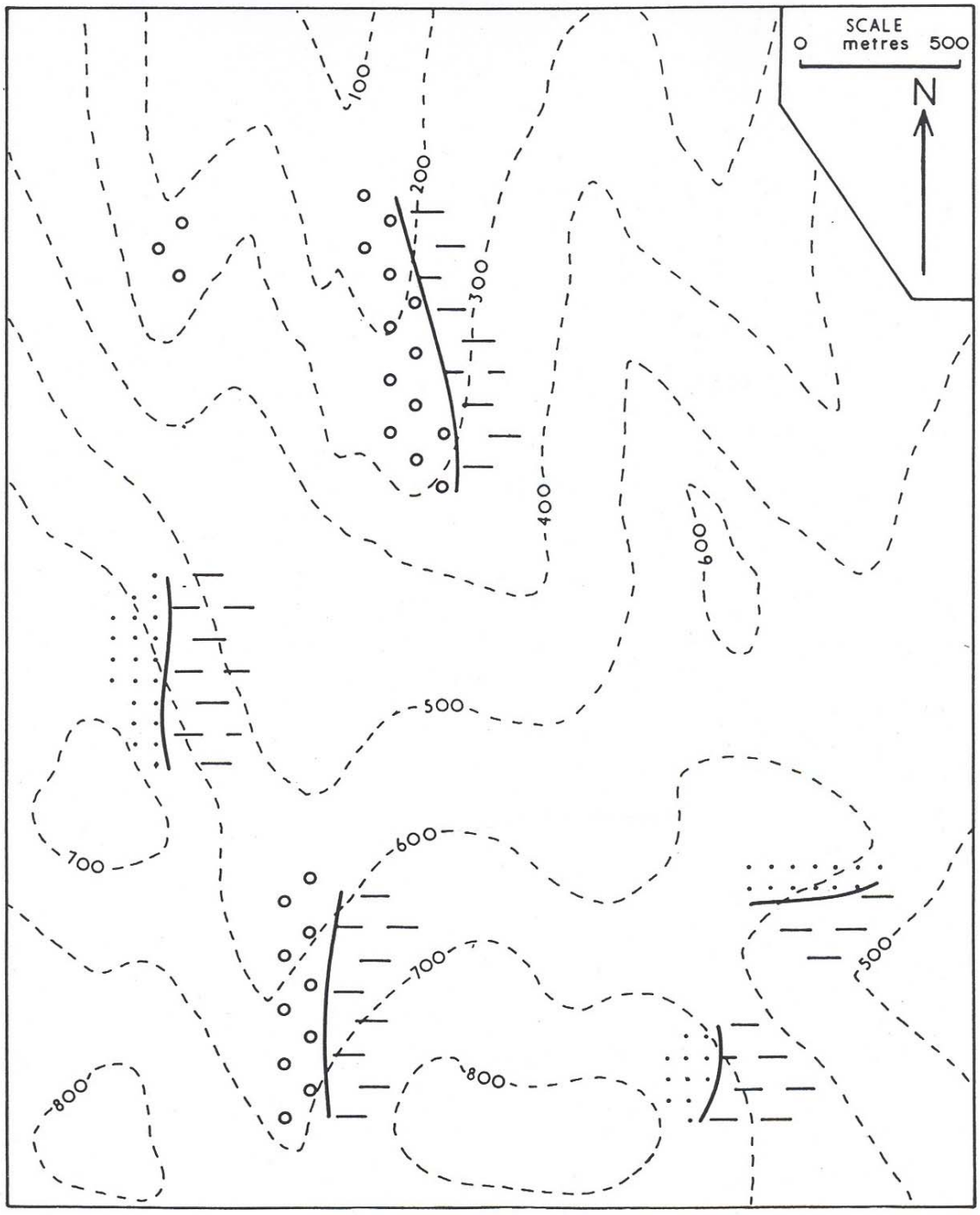
Point D: _____ mètres Point E: _____ mètres

e) Déterminez l'aire correspondant à l'affleurement du lit de charbon sur la carte (il suffit en somme de tracer les contacts du sommet du lit et de la base du lit, l'aire entre les deux courbes correspondant à l'affleurement.

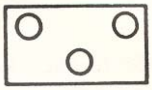
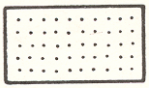
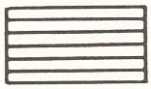
f) Dans l'espace prévu à cette fin au bas de la carte, dessinez une coupe géologique le long de la ligne XY. (Utilisez la méthode de projection des lignes de direction).


SCALE
metres 500
0
N
1100
1000
900
800
700
600
E
B
C
A
D
X
Y
1000
800
600
400
200
0

Carte B



EXERCICE 2C. Cette carte représente les affleurements de trois unités lithologiques :

CONGLOMERAT  **GRES**  **MUDSTONE** 

A - Complétez la carte en traçant les limites entre les 3 unités lithologiques. Il faut assumer que toutes les unités ont le même pendage.

B - Quelle est la direction_____ et le pendage_____ des strates.

C - Numérotez ces trois unités de 1 (la plus vieille) jusqu'à 3 (la plus jeune)