



TD de Géologie Structurale 2025-2026

TD 1. Analyse des couches monoclinales isohypses

Buts

Analyser l'orientation et la distribution en carte et dans le sous-sol des couches horizontales et inclinées.

Principes

Utilisation des isohypses pour analyser l'orientation des couches, pour compléter une carte géologique et pour comprendre la distribution d'une couche en sous-sol.

Notions abordées au cours des TD

- Isohypses
- Construction des isohypses à partir des données d'affleurement des contacts géologiques ;
- Carte géologique des strates horizontales et des strates inclinées (les V dans les vallées)
- Calcul de la direction et du pendage des strates inclinées utilisant les isohypses
- Différence entre une vraie épaisseur et une épaisseur verticale

Définition et propriétés d'une isohypse (Figs. 1 et 2)

Une **isohypse** est une **ligne d'égale altitude** (isoaltitude) sur une surface géologique. Pour une surface géologique monoclinale (= plane) mais inclinée, les isohypses sont donc espacées en altitude de façon régulière (espacement vertical), leur espacement en carte (vue de dessus) est donc par conséquent également régulier (voir Fig. 1). En **carte**, les isohypses d'une couche **monoclinale** sont des **lignes, parallèles entre elles et équidistantes** (Fig. 1).

Définition d'une ligne de niveau (Fig. 2)

Une « ligne » de niveau (ou courbe de niveau) est une courbe de la surface topographique d'isoaltitude (= ayant la même altitude partout) (voir Fig. 2).

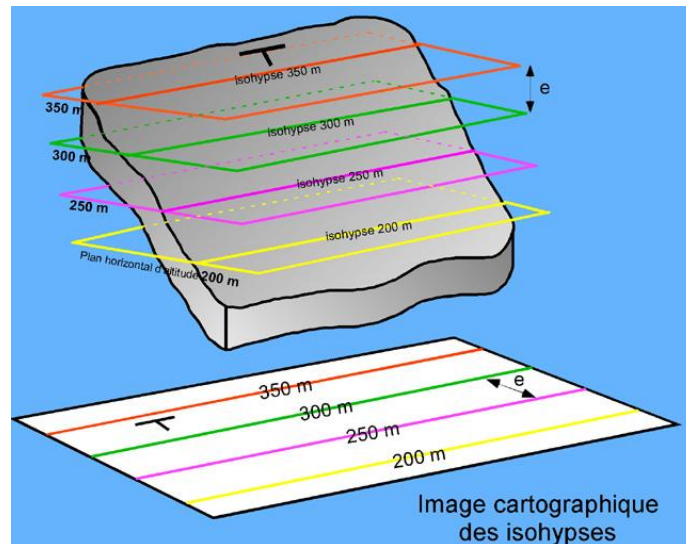


Fig. 1 : exemple d'une couche géologique monoclinale (ex : couche sédimentaires, niveau de charbon...). 4 plans horizontaux ont été tracés entre 200m et 350m d'altitude. Ils intersectent la surface supérieure (=le toit) de la couche et définissent des lignes de même altitude: les isohypses. La projection de ces isohypses en carte donne des lignes parallèles entre elles et équidistantes (distance e).

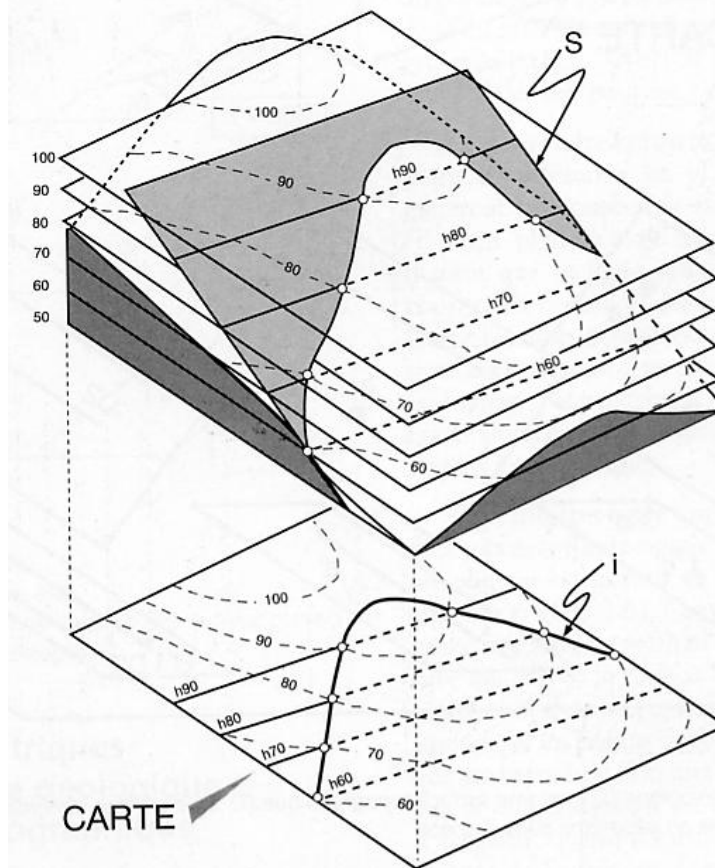


Fig. 2 : exemple d'une surface géologique monoclinale (ex : faille, fracture ...) qui affleure à la surface et intersecte la topographie. 6 plans horizontaux situés tous les 10m d'altitude ont été représentés. Ils intersectent la topographie pour définir des courbes de niveau et la surface géologique pour définir des isohypses. En carte les isohypses sont parallèles et équidistantes. Elles intersectent les courbes de niveau de même altitude au niveau du tracé de la surface géologique.

Les isohypses : un outil de cartographie puissant (Figs. 3 et 4)

Les conditions d'affleurement offrent souvent des observations limitées de la géologie à la surface. En effet des formations géologiques superficielles et récentes (sols, alluvions, dépôts glaciaires...), la végétation où même des constructions humaines couvrent souvent les formations géologiques. Dans le cas de surfaces monoclinales inclinées, l'utilisation des isohypses est un moyen puissant pour extrapoler leur position à la surface. Cette technique est illustrée ci-dessous avec deux cas de figure.

Cas 1 (Fig. 3) - Si on a 2 affleurements de la même altitude (Fig. 3). Il est facile de tracer un isohypse (iso150 dans l'exemple donné en Fig. 3). Si un 3^{ème} affleurement existe, mais à une autre altitude, et en supposant la surface géologique monoclinale, alors il est facile de tracer en ce point une deuxième isohypse (iso 100 sur la Fig. 3) parallèle à la première. Ces deux premières isohypses permettent d'estimer l'équidistance horizontale et donc de tracer autant d'isohypses que l'on veut. On peut alors trouver les intersections entre ces isohypses et la topographie et reconstruire le tracé complet, au niveau de la surface topographique, de cette surface géologique étudiée.

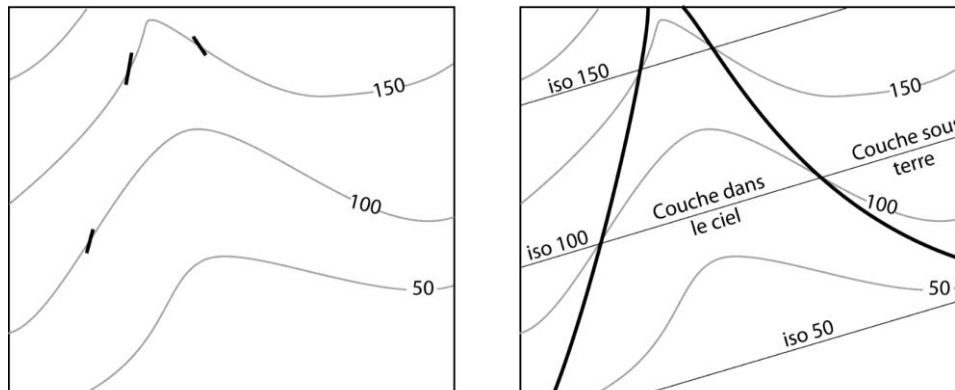


Fig. 3 : exemple d'extrapolation du tracé d'une surface géologique au niveau de la topographie à partir de 3 affleurements (dont 2 ont la même altitude) et en s'appuyant sur les isohypses. Les détails de la méthode sont décrits dans le texte principal.

Cas 2 (Fig. 4) - Si malheureusement on a 3 affleurements mais d'altitude différentes (Fig. 4). Par 3 points ne passe qu'un seul plan, ici la surface géologique qui nous intéresse. Celle-ci peut être en dessous ou au-dessus de la topographie. Pour tracer une isohypse il est nécessaire d'avoir 2 points de même altitude appartenant à la surface géologique. Pour cela on trace un triangle entre les 3 points. Sur les côtés de ce triangle, il est facile de connaître l'altitude de n'importe quel point. On peut donc choisir un point de même altitude que le 3^{ème} sommet. On peut alors tracer les isohypses. Par exemple, sur la figure 4, prenons un point à mi chemin du côté du triangle entre les points 50m et 150m. Ce point est à 100m d'altitude. Le 3^{ème} affleurement (3^{ème} sommet du triangle) est lui aussi à 100m. Je peux donc tracer une première isohypse (iso100m) et ensuite facilement l'iso150 et l'iso50, puis toutes les autres.

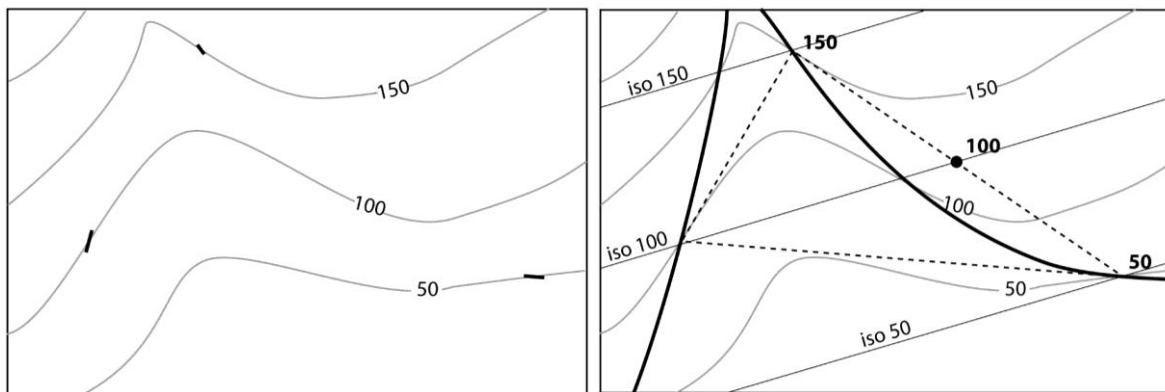


Fig. 4 : exemple d'extrapolation du tracé d'une surface géologique au niveau de la topographie à partir de 3 affleurements d'altitude différentes et en s'appuyant sur les isohypses. Les détails de la méthode sont décrits dans le texte principal.

Les notions de direction, de pendage (Fig. 5)

La direction et le pendage se mesurent sur des surfaces géologiques planes, c'est à dire monoclinales. Par exemple, des litages de couches, le toit ou le mur d'une couche, des schistosités, des failles, des fractures...

Direction : la direction d'une surface géologique plane (monoclinale) est **l'angle**, dans le plan horizontal, entre **une ligne horizontale** contenue dans cette surface et le **Nord magnétique**.

Le pendage : c'est **l'angle maximal** (= plus grande pente), mesuré dans un plan vertical, entre la surface géologique et un plan horizontal.

NB : Il est très facile, à partir des isohypses de déterminer la direction et le pendage...

La convention dite « ENSG »

La **direction** (=strike en anglais) est prise par rapport au **Nord** magnétique avec la boussole. Elle est représentée par une valeur de trois chiffres entre 000 et 180° **en tournant vers l'est à partir du nord (en sens horaire)**. Rigoureusement on encadre la valeur de la direction d'un N et d'un E pour indiquer que la mesure se fait à partir du N en tournant vers l'E. En raccourci on écrit souvent N30-42 NW au lieu de N030E-42 NW ou encore 030/42 NE.

Le **pendage** (= dip en anglais) est pris avec le clinomètre. Il est représenté par une valeur de deux chiffres (00 à 90°). Attention, la direction étant donnée entre 0 et 180° il existe donc deux directions de pendages possibles.

La **direction de pendage** est représentée par une ou deux lettres (N, S, E, O, SE, NW etc..) suivant le cadran vers où pend la surface étudiée.

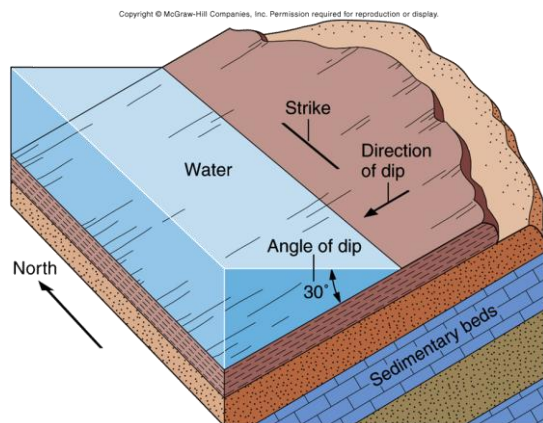


Fig. 5 : bloc diagramme 3D montrant une série sédimentaire monoclinale inclinée. La ligne noire (strike) est une ligne horizontale contenue par la surface géologique marron. Son angle avec le Nord est la direction. La flèche indique la plus grande pente. Dans cet exemple la direction est donc de 0° et le pendage de 30° vers l'ouest. Le plan se note : N030E-30O

La notion de V dans la vallée (Fig. 6)

Dans la pratique, sur beaucoup de cartes géologiques les isohypses sont souvent difficiles à tracer car les échelles sont trop petites. On ne peut donc pas s'appuyer sur cette technique pour connaître précisément la direction et le pendage d'une surface géologique. Néanmoins, on peut très souvent caractériser qualitativement l'orientation des surfaces en s'appuyant sur leurs intersections avec la surface topographique. On regarde en particulier ces relations au niveau des vallées car ici la topographie présente des reliefs marqués. On s'appuie alors sur le « V dans la vallée » illustré par la figure 3 ci-dessous.

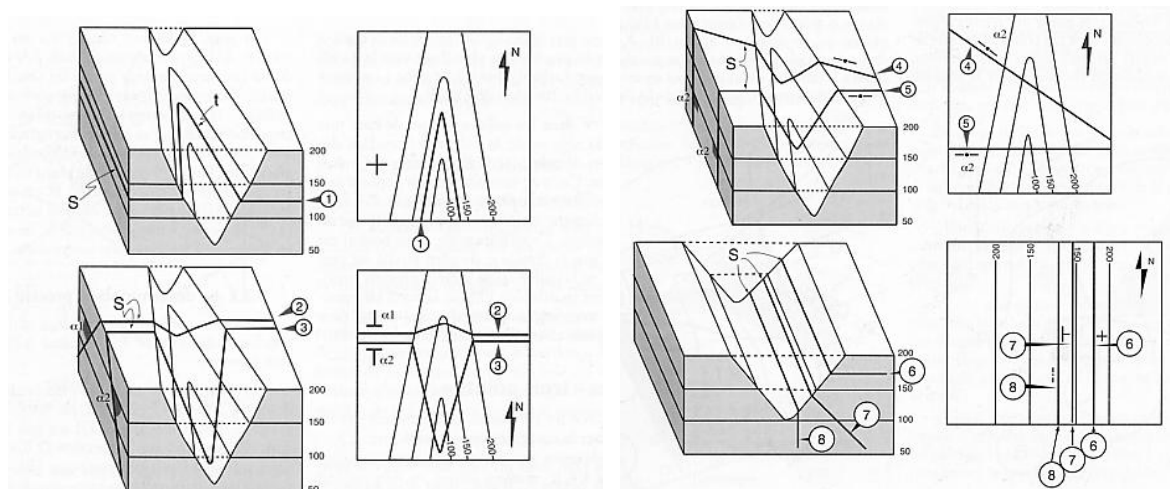


Fig. 6 : bloc diagramme 3D et vues en carte illustrant la notion de V dans la vallée. Suivant leur pendage et leur direction, des surfaces géologique recoupant une vallée peuvent intersecter la topographie de telle manière qu'elles dessinent un V en carte (schéma de gauche). La pointe du V indique la direction du pendage. Plus il est fermé plus le pendage sera faible. Plus il est ouvert plus le pendage sera fort. Une couche verticale ne forme pas de V (schéma en haut à droite). Une couche dont la direction est parallèle à la vallée ne forme pas non plus de V, et ceci quelque soit son pendage (schéma en bas à droite).

EXERCICES

Exercice 1 : l'objectif de cet exercice est de réaliser une carte géologique complète d'une région où, du fait d'une couverture de sol et de forêt importante, seuls quelques affleurements de roche existent. Vous allez pour cela vous appuyer sur la minute de terrain donnée ci-dessous et les isohypses pour extrapoler à l'ensemble de la zone étudiée. Votre objectif est aussi d'estimer la profondeur d'une couche de grès du Jurassique qui est potentiellement aquifère car poreuse.

1. Une faille a été observée en trois points de la surface au Nord de la carte. Pour reconstruire son tracé complet faites, **avec l'enseignant**, les étapes suivantes :

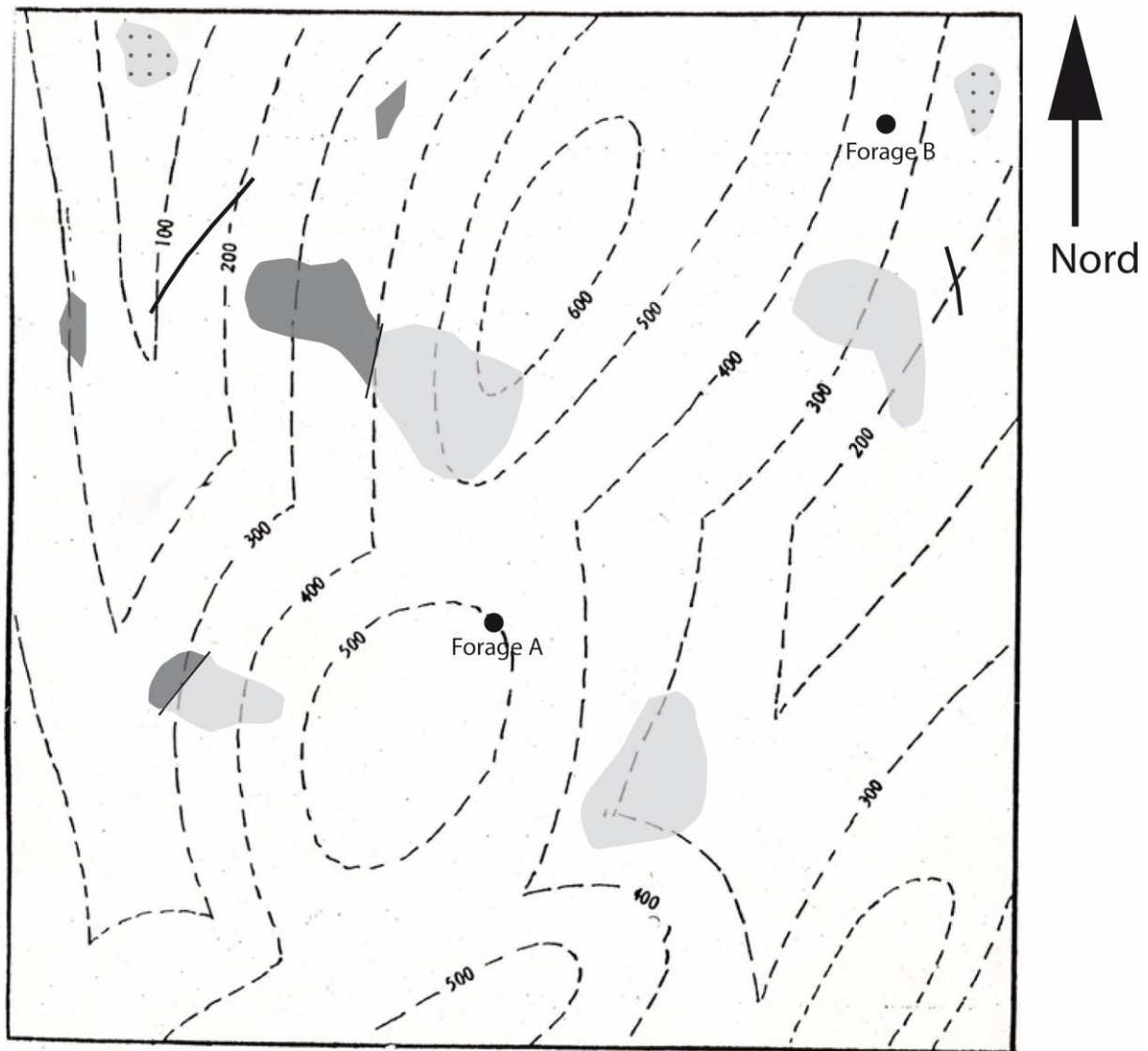
- ⇒ Tracez l'isohypse d'altitude 200m (iso200) à partir des deux affleurements de la faille qui ont été observés sur la ligne de niveau à 200m. Il s'agit en effet de deux points de même altitude (isoaltitude) appartenant à la faille. Ils définissent donc une isohypse.
- ⇒ En supposant la faille plane tracez l'isohypse d'altitude 100m (iso100). (Rappel : sur **un plan les isohypses sont des lignes, parallèles entre elles et équidistantes**). L'iso100 est donc parallèle à l'iso200 mais passe par l'affleurement qui a été observé au niveau de la ligne de niveau 100m, à l'ouest. En déduire les isohypses à 300m (iso300) et 400m (iso 400)
- ⇒ Mettez des points aux intersections entre les isohypses et les courbes de niveau pour la même altitude. S'il y a intersection entre une isohypse et une courbe de niveau de même altitude cela veut dire que la faille est située à la même altitude que la topographie, donc qu'elle affleure.
- ⇒ A partir de l'ensemble de ces points reconstituez le tracé complet de la faille en surface.
- ⇒ Déterminer la direction et le pendage de cette faille et donnez les suivant la convention ENSG

2. Le mur (= limite inférieure) d'une couche de calcaire d'âge Paléogène a été observé en deux points à la surface et à -300m sous la surface au niveau du forage A. Sur le même principe que l'exemple précédant, reconstituez le tracé de cette limite en surface, déterminez sa direction et son pendage et donnez les suivant la convention ENSG. Vous supposerez une couche monoclinale.

3. Sous le Paléogène on trouve une couche d'argilite d'âge Crétacé. Sachant que cette couche a une épaisseur de 400m, déterminez son épaisseur verticale et donc à quelle profondeur on trouvera le toit (limite supérieure) du Jurassique situé sous le Crétacé (NB : toit du Jur. = mur du Crét.) au niveau du forage A. Quelle est l'altitude absolue de ce toit (par rapport au niveau de la mer) ?

4. Au Nord de la faille on ne trouve que des affleurements de conglomérats d'âge Néogène. Qu'en déduisez vous sur la nature probable de la faille ?

5. Complétez et coloriez dans son ensemble la carte géologique. Mettez des figurés appropriés au jeu de la faille.



..... Conglomérats- Néogène

Calcaire- Paléogène

Argilite - Crétacé

— Faille

Echelle: 1/10000ème

Exercice 2 : l'objectif de cet exercice est d'estimer la température potentiel d'un aquifère en profondeur. L'eau souterraine est naturellement chauffée au contact des roches en profondeur (~4°C tous les 100m dans un bassin sédimentaire). Cette eau chaude profonde représente une source de chaleur durable permettant de chauffer les habitations individuelles ou des installations collectives (piscine). C'est ce qu'on appelle la géothermie basse température (<90°C). Dans la région de Reillane (**Figure 1**) où il existe plusieurs couches sédimentaires d'âge tertiaire (Oligocène à Miocène, couches g et m) qui sont poreuses, riches en eau et qui s'étendent en profondeur (couches g2c à m1).

Afin d'évaluer le potentiel géothermique dans cette région, vous devez donc réaliser une coupe structurale (**AB, Figure 1**) qui vous permettra d'estimer les profondeurs atteintes par ces couches et donc les températures associées. Vous devez pour cela déterminer précisément des pendages et les épaisseurs des couches à l'aide des isohypses. Pour vous aider dans cette démarche, répondez aux questions suivantes.

1) Etudiez la carte géologique de Reillane dans la région située à l'ouest de Reillane et au Nord de Céreste. Déterminez, à partir des V dans la vallée, qualitativement l'orientation des couches de m1 (miocène) et g3a et b (Oligocène). **POUR VOUS AIDER DANS VOTRE REFLEXION, UTILISEZ LES PETITS MODELES 3D MIS A DISPOSITION.**

2) A l'aide des isohypses et de l'extrait de carte donné ci-dessous, déterminez précisément l'orientation (directions, pendages, direction de pendage) du mur de la couches g3b. Donnez votre réponse suivant la convention ENSG

NB: les isohypses ne sont pas toujours strictement parallèles et équidistantes entre elles. Il faut faire avec.

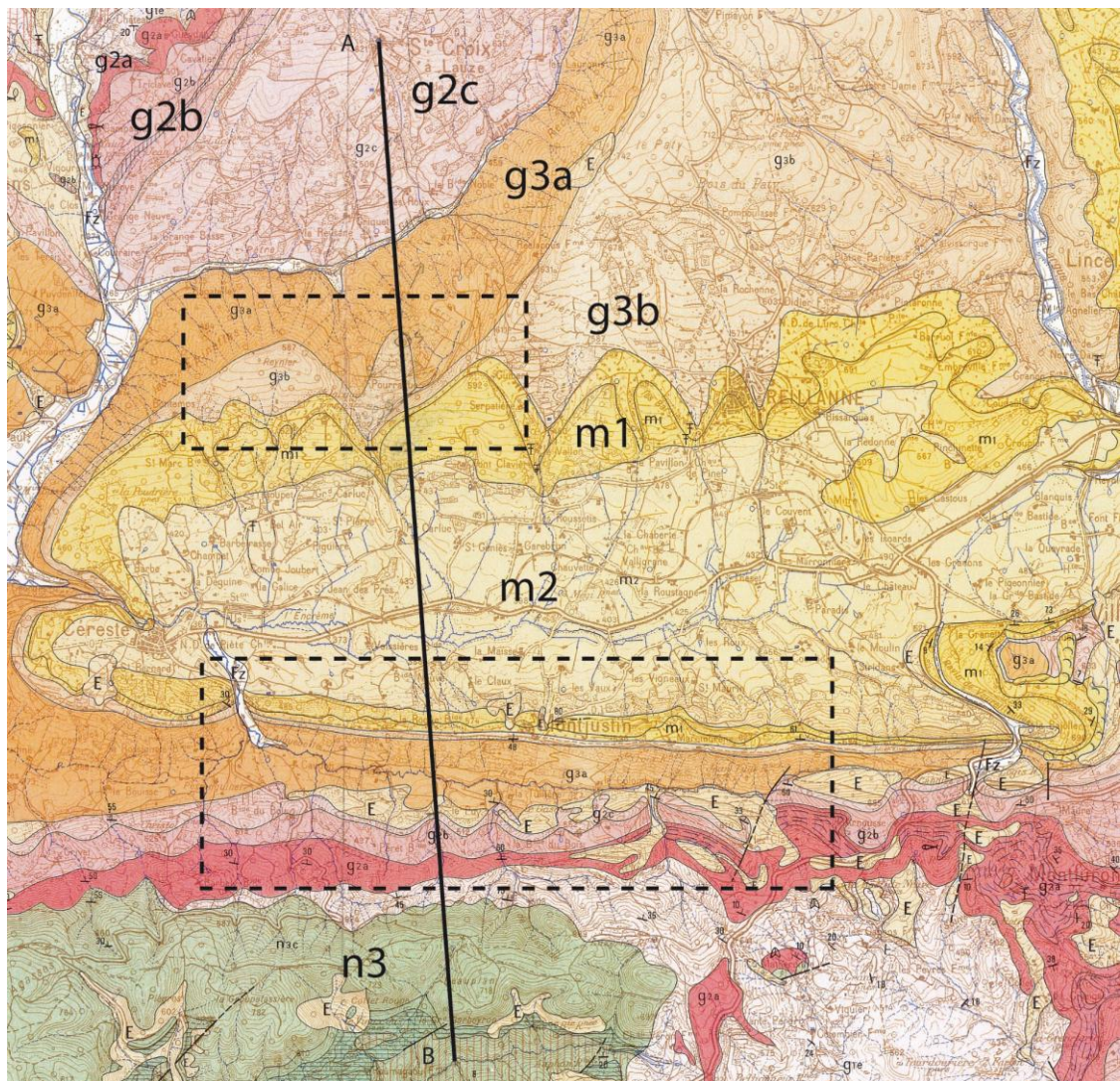
3) Calculez l'épaisseur de la couche g3b. Pour cela, vous pouvez mesurer sur la carte (ou son extrait) l'épaisseur apparente à l'affleurement **et considérer que celle-ci est équivalente à l'épaisseur dite horizontale**. Réfléchissez bien à l'orientation suivant laquelle vous devez mesurer cette épaisseur à l'affleurement. Placez-vous en fond de vallée afin d'avoir un relief faible.

4) Etudiez la carte géologique au sud du village de Montjustin et discutez qualitativement de l'orientation des mêmes couches m1 et g3. Qu'en concluez-vous sur la nature de la structure entre ces deux régions et sur sa forme.

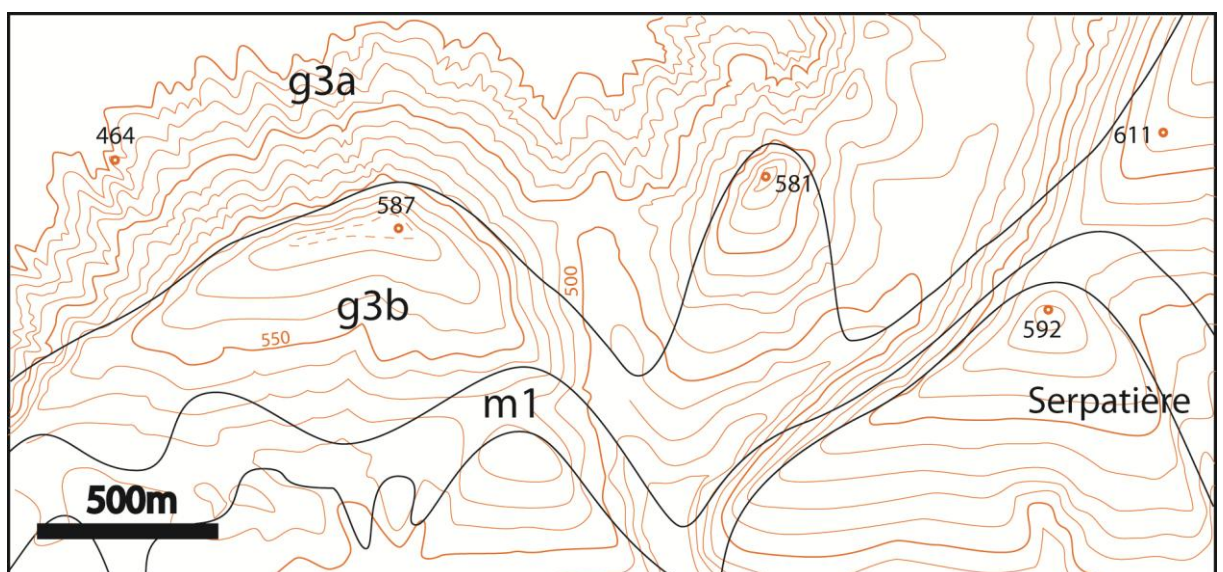
5) En supposant l'épaisseur des couches constante quel est le pendage dans cette région de Montjustin ?

6) En vous appuyant sur vos valeurs d'épaisseurs et de pendages, réalisez ensuite la coupe AB. Epaisseurs: m2: 200-350 m; m1: 100 m; g3b: 50-100m; g3a: 120-150 m; g2c-b-a: 200m

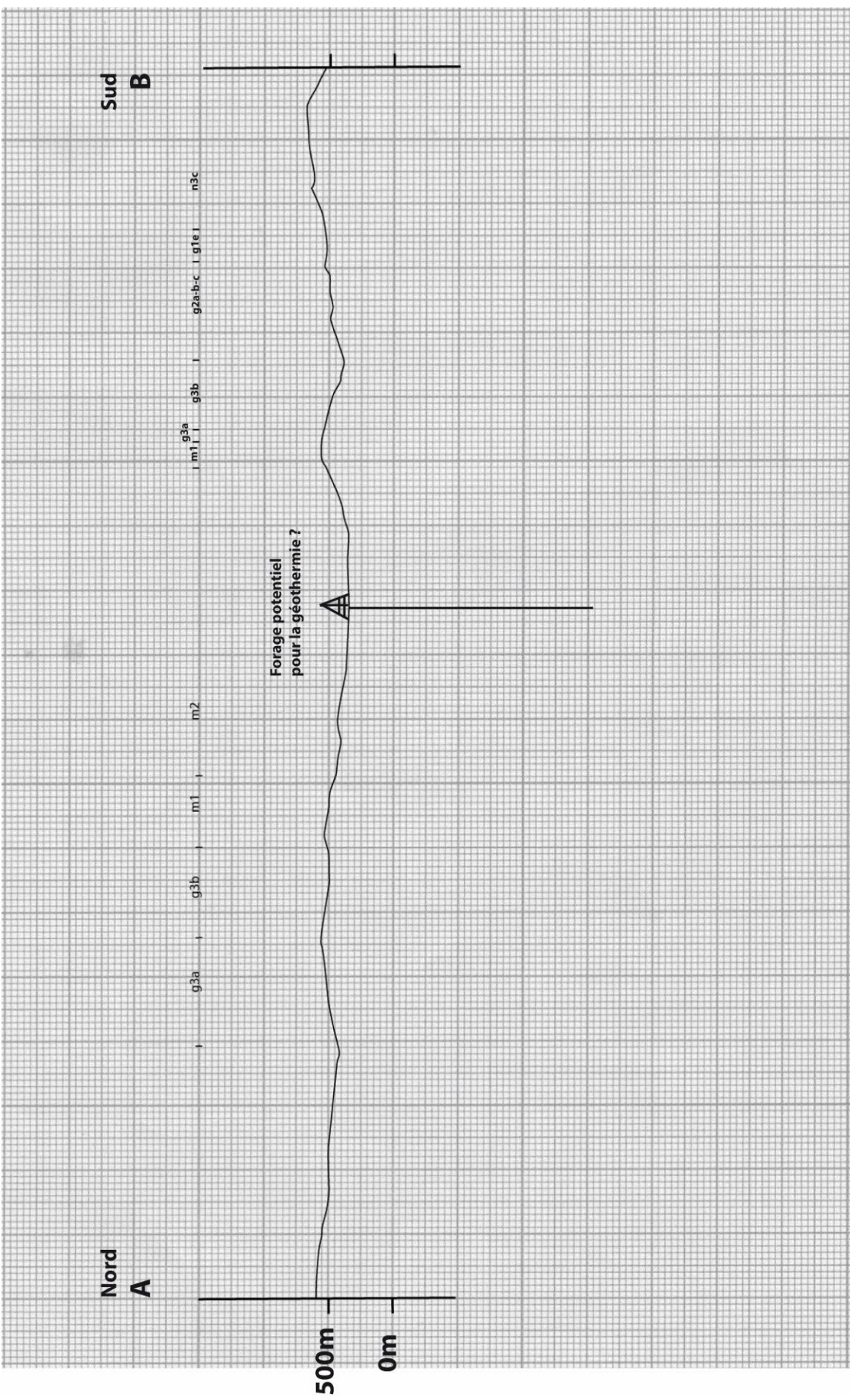
7) Au niveau du forage quelle est la profondeur du mur de la couche g1e? Quelle devrait être la température de l'eau contenue dans cette roche en supposant la température de surface de 15°C?



Extrait de la carte géologique de Reillane



Extrait de la carte géologique de Reillane à l'ouest de cette ville.



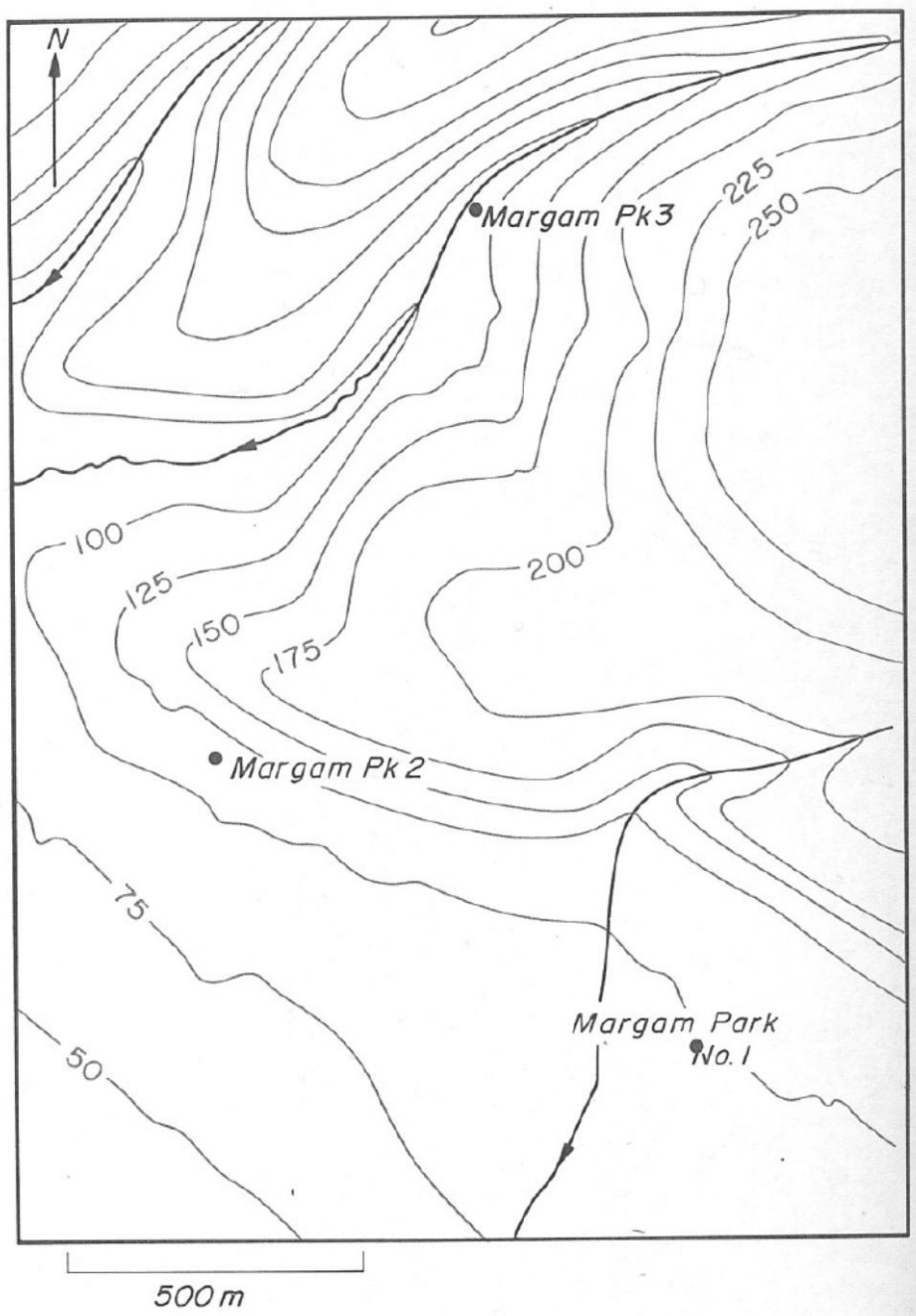
Exercices complémentaires pour s'entraîner

Exercice 3

La carte topographique en Pays de Galles montre la position de trois forages.

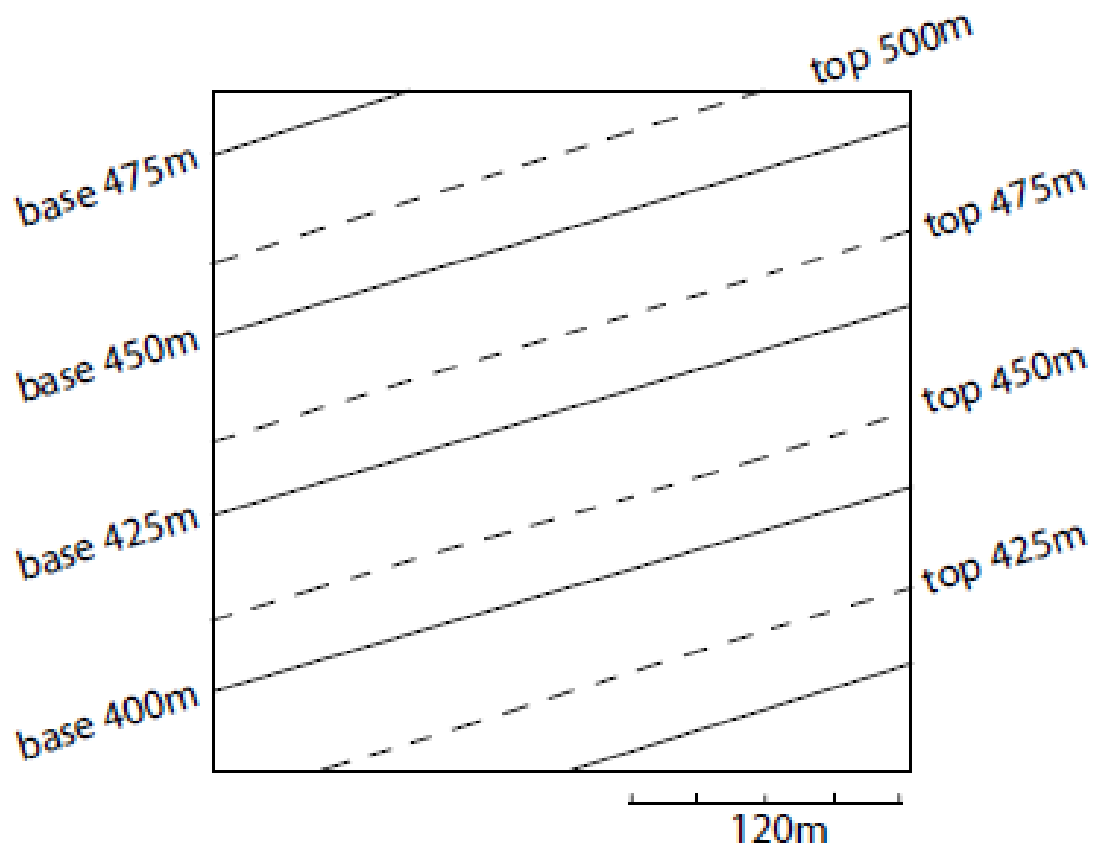
Dans chaque forage le niveau A de charbon est intersecté à une élévation au dessous du niveau de la mer :
Margam Park No. 1: -150m, Margam Park No. 2: -200m, Margam Park No. 3: -475m

En supposant que le niveau de charbon garde une épaisseur constante, construisez les isohypses pour ce niveau. Calculez la direction et le pendage du niveau de charbon. Est ce que le charbon A affleure dans le secteur de la carte? Un deuxième niveau de charbon (B) se trouve 625 m au dessus du premier niveau. Construisez la ligne d'affleurement pour ce niveau B de charbon.



Exercice 4. Calcul d'épaisseur vraie et épaisseur verticale

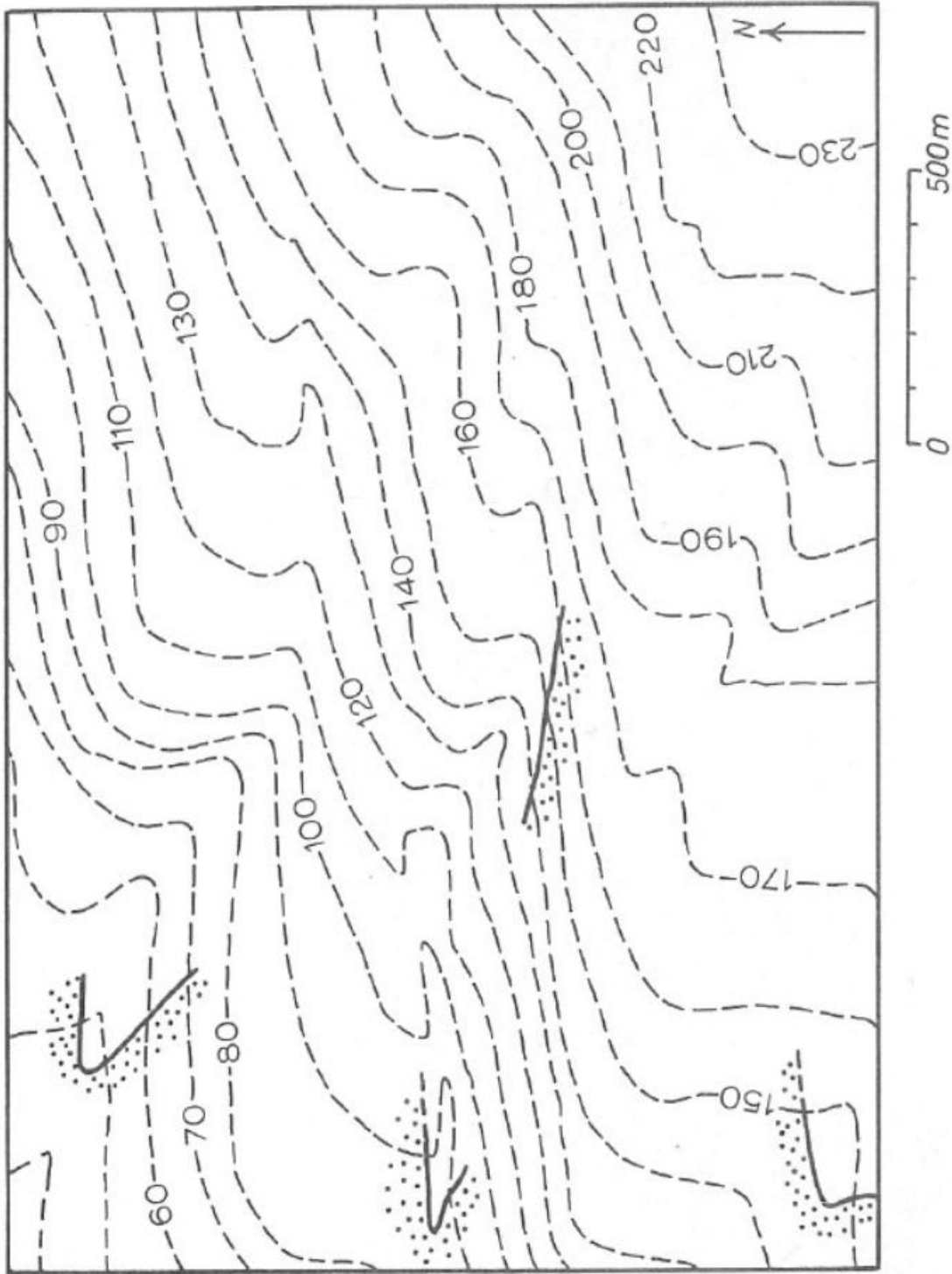
Déterminer l'épaisseur vraie (e_0), l'épaisseur verticale (e_1), l'épaisseur horizontale (e_2) et le l'angle de pendage d'une formation à partir des isohypses de son mur (base) et de son toit (top). Construire la coupe permettant de lire directement ces informations.



Exercice 5

Sur cette carte, une limite entre grès et argilites est repérée sur le terrain à plusieurs endroits. Ces données peuvent-elles indiquer si le contact a une orientation constante? Complétez la trace de ce contact sur le reste de la carte.

Donnez l'orientation (direction, et pendage) de ce plan de contact. Donnez l'azimut du pendage.



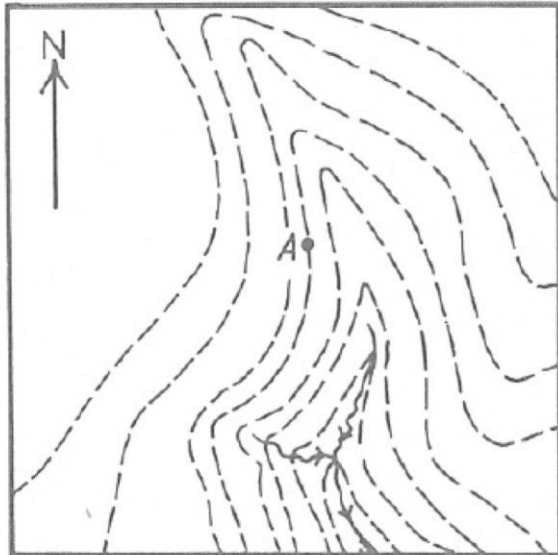
Exercice 6

Sur chaque carte complétez la trace d'une couche mince qui affleure au point A et qui a une orientation différente sur chaque carte.

(a) $090/11^{\circ}\text{N}$; (b) $090/11^{\circ}\text{S}$; (c) $090/90$; (d) $^{\circ}090/5.7^{\circ}\text{S}$.

($11^{\circ} = \tan^{-1}(0.2)$ et $5.7^{\circ} = \tan^{-1}(0.1)$)

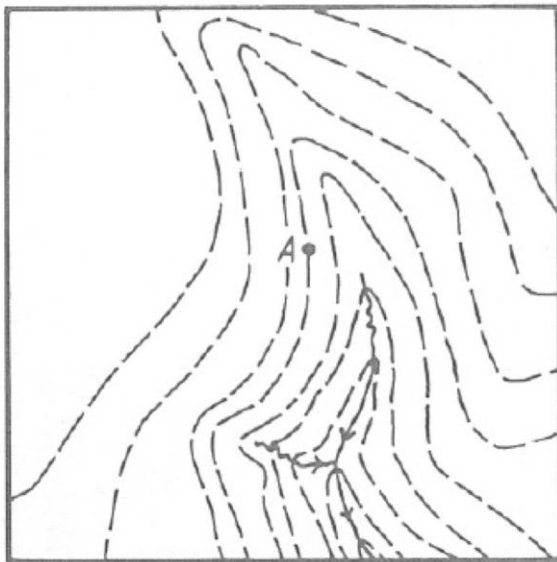
Echelle: 1 cm = 100 m, courbes de niveaux espacées de 10 m



a)



b)



c)



d)

Exercice 7

EXERCICES

1. Bloc diagramme. La carte montre les affleurements sur une topographie plate. Complétez les contacts géologiques sur la carte. Construisez la structure géologique sur les trois surfaces verticales du bloc. Indiquez sur le dessin complété (a) le pendage, (b) un pendage apparent, (c) la direction des couches, (d) l'azimut des couches.

