



HAL
open science

Cours de Cartographie Géologique a destination de la première année de DUT GCCD

David Amitrano, Cartographie Géologique

► **To cite this version:**

David Amitrano, Cartographie Géologique. Cours de Cartographie Géologique a destination de la première année de DUT GCCD. Licence. France. 2020. hal-03273240

HAL Id: hal-03273240

<https://hal.science/hal-03273240>

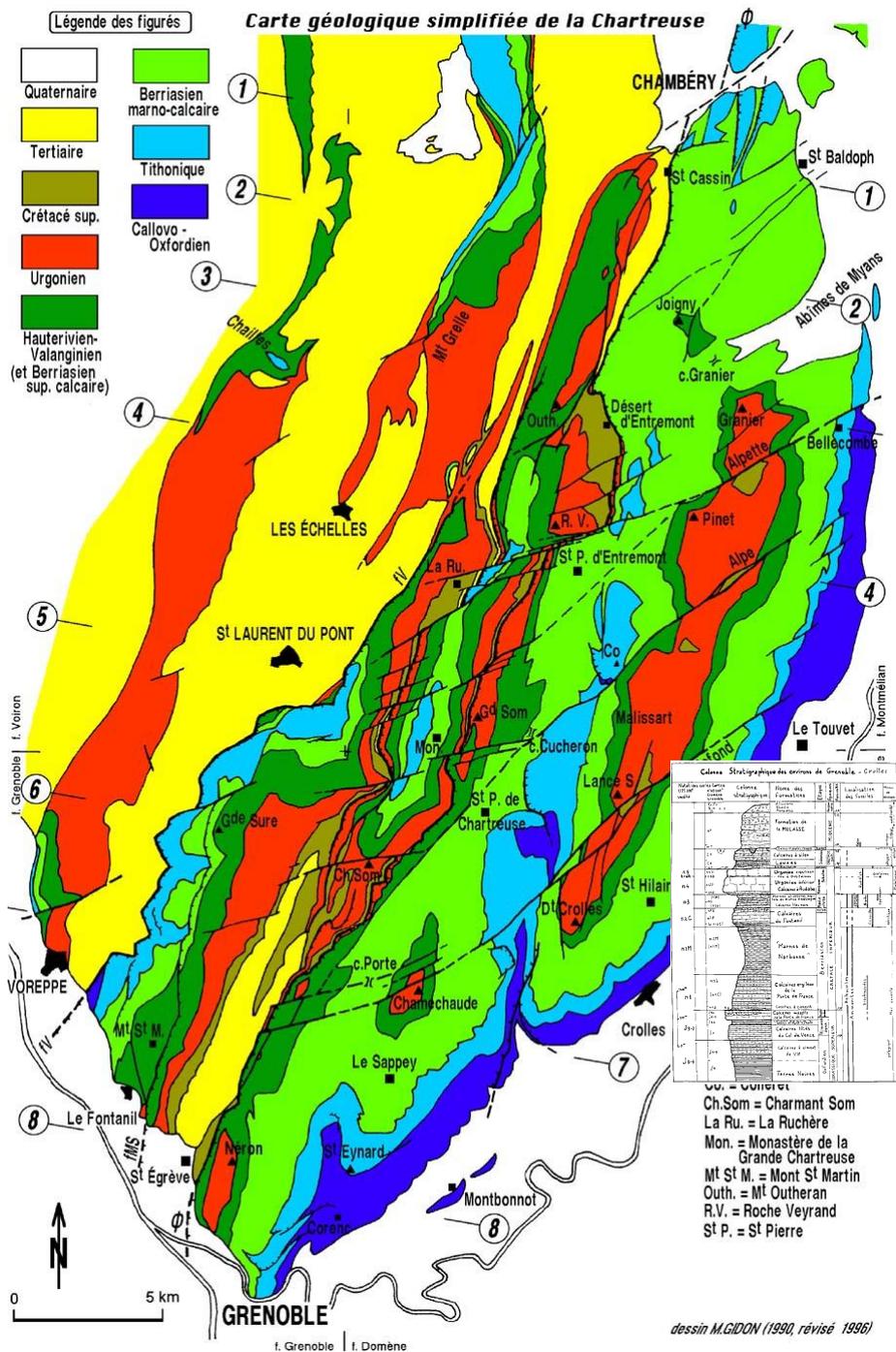
Submitted on 29 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cartographie Géologique

Support de Cours et Travaux Dirigés



Préambule

Ce document est un support de cours et de travaux dirigés destiné aux étudiants du département de Génie Civil et Construction Durable de l'IUT 1 de Grenoble. Il a pour objectif de donner les éléments de bases ainsi que le vocabulaire nécessaire à la compréhension du travail de cartographie géologique. Il doit permettre au praticien de Génie Civil, sans devenir un spécialiste de la discipline, de pouvoir communiquer avec le Géologue de Terrain afin de comprendre comment sont élaborés les éléments qui lui sont fournis, indispensables à l'implantation d'un ouvrage dans le milieu naturel.

Ce document reprend parfois des éléments de cours existants (B. Laumonier, ENSMN, Sorel et Vergely, Dunod, site web www.geol-alp.com) adapté au public visé.

Table des matières

1	Cartographie et Relief	3
1.1	Généralités sur la représentation en carte	3
1.2	Modèles simplifiés de la géométrie de la terre	3
1.3	Mesure de la position et de l'altitude d'un point	4
1.4	Projections cartographiques	6
1.5	Carte topographique	7
2	Cartographie géologique	11
2.1	Orientation d'un plan dans l'espace.	11
2.2	Notion d'isohypses du plan	12
2.3	Intersection entre un plan géologique et le relief, contour géologique.....	13
2.4	Carte et coupe géologique	15
2.5	Failles et plis	15
3	Recueil d'exercices de Cartographie Géologique	18

1 Cartographie et Relief

1.1 Généralités sur la représentation en carte

Le monde qui nous entoure possède trois dimensions spatiales. La perception sensorielle que nous avons de ces trois dimensions passe essentiellement par la vue. Celle-ci nous rend compte du relief par l'impression de nos deux rétines qui donnent chacune une image à deux dimensions. C'est notre cerveau qui reconstruit le relief en comparant (corrélant) ces deux images. Il d'agit là d'un type de travail cartographique naturel. De la même manière les supports que nous utilisons quotidiennement - feuille de papier, écran d'ordinateur - possèdent deux dimensions. Si l'on veut faire figurer sur ces supports des informations spatialisées (positionnées dans l'espace) nous devons en faire une représentation cartographique. Dans ce qui suit nous verrons les différents aspects du travail cartographique en nous restreignant à ce qui concerne la topographie et la géologie.

Une carte est une représentation symbolique de données placée spatialement (géo-référencées). Elle suppose une sélection et une simplification des informations qu'elle peut contenir. Elle n'est donc pas une photographie. Par exemple une carte routière sélectionne essentiellement les informations concernant les routes. Une carte touristique inclut des informations concernant les lieux remarquables. Pour transmettre une information, la carte utilise une symbolique conventionnelle. Dans la plupart des cas, la carte suppose également un changement d'échelle dans la mesure où elle représente un champ de taille différente de celle du support. Parfois, pour des raisons de commodité elle inclut également une rotation par rapport au nord.

Ainsi, pour être compréhensible, une carte doit contenir une légende précisant les points suivants :

- Direction du Nord (par défaut vers le haut de la feuille)
- Echelle
- Symboles
- Unités

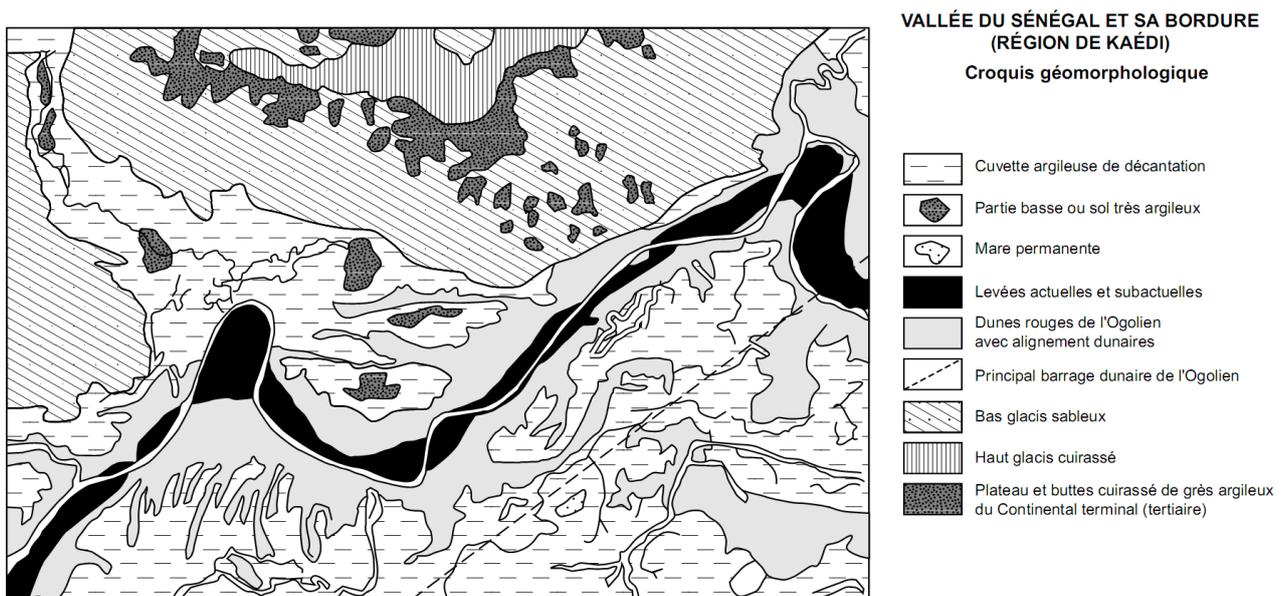


Figure 1 : Exemple d'une carte avec sa légende

Une première étape indispensable à la représentation en carte est la méthode de projection utilisée pour passer des trois dimensions du monde réel aux deux dimensions du support cartographique. Cela suppose que l'on connaisse la forme de la Terre ou bien que l'on s'en donne un modèle approché.

1.2 Modèles simplifiés de la géométrie de la terre

Si on exclue le modèle de Terre plate imaginé par les Grecs anciens, le modèle géométrique le plus simple de la Terre est la Sphère. Cela revient à négliger la variation de rayon entre l'équateur et les pôles (environ 22 km comparés aux 6400 km de rayon moyen de la Terre). Cela permet de définir facilement la position d'un point à surface de la Terre en considérant un rayon constant et un couple de coordonnées sphériques constitué de deux angles appelés latitude et longitude. La latitude mesure la hauteur angulaire du point par rapport au plan équatorial (perpendiculaire à l'axe de

rotation de la Terre). Les points de même latitude forment un parallèle à l'équateur. La longitude mesure la distance angulaire entre le point et une origine arbitraire autour de l'axe de rotation de la Terre. Les points de même longitude forment le méridien. Le méridien origine utilisé de nos jours est celui qui passe par la ville Greenwich en Grande Bretagne.

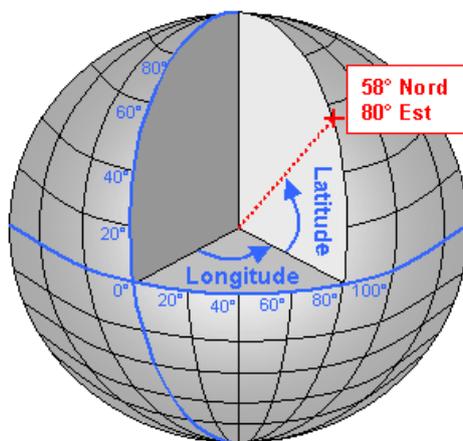


Figure 2 : Positionnement d'un point à la surface d'une sphère.

Un modèle plus fidèle de la géométrie de la Terre, qui prend en compte l'aplatissement au niveau des pôles et le renflement à l'équateur est l'ellipsoïde de révolution. Il permet de conserver le même système de coordonnées latitude/longitude et de prendre en compte la variation de rayon de la Terre selon la latitude. Le modèle le plus fidèle de la Terre est le géoïde. Il se définit comme une surface équipotentielle de la gravité terrestre. Sa définition mathématique est plus complexe que sa mesure. En effet il suffit d'un niveau (ou d'un fil à plomb) qui donne localement la direction de la gravité pour construire cette surface de proche en proche en reliant les points de même niveau. Ainsi lorsqu'un maçon règle le niveau d'une dalle, il construit une portion de géoïde. C'est ce modèle qui est utilisé pour estimer précisément l'altitude d'un point.

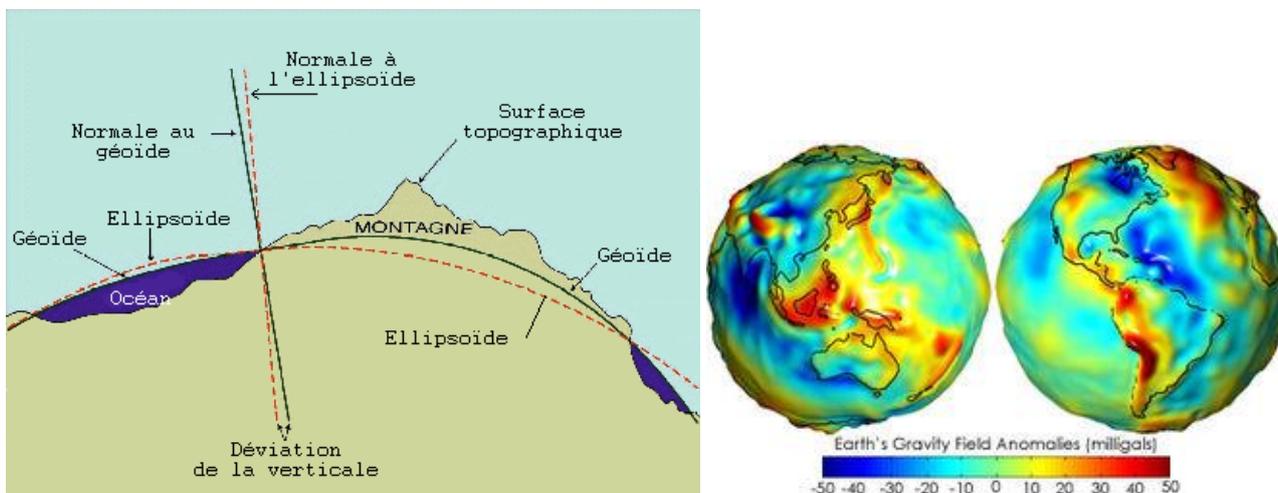


Figure 3 : Gauche : Relation entre deux modèles géométrique de la surface de la Terre, l'ellipsoïde et le géoïde. Droite : Ecart entre ellipsoïde et géoïde fortement amplifié

1.3 Mesure de la position et de l'altitude d'un point

La mesure de la position en 3 dimensions (en plan et en altitude) d'un point se fait par rapport à 3 références : l'équateur, le méridien de Greenwich et la hauteur de la mer. En France la référence d'altitude est le marégraphe du fort St Jean à Marseille. L'altitude zéro a été déterminée par la moyenne de la hauteur du marégraphe sur plusieurs décennies. Une fois ces références définies, la mesure de la position relative des points que l'on cherche à positionner est obtenue par différentes techniques, généralement optiques.

La visée optique associée à la triangulation a été utilisée en France dès la réalisation des premières cartes topographiques. Elle permet de connaître avec précision le positionnement relatif de points particuliers repérés par des bornes du nivellement général de l'Institut Géographique National (IGN).

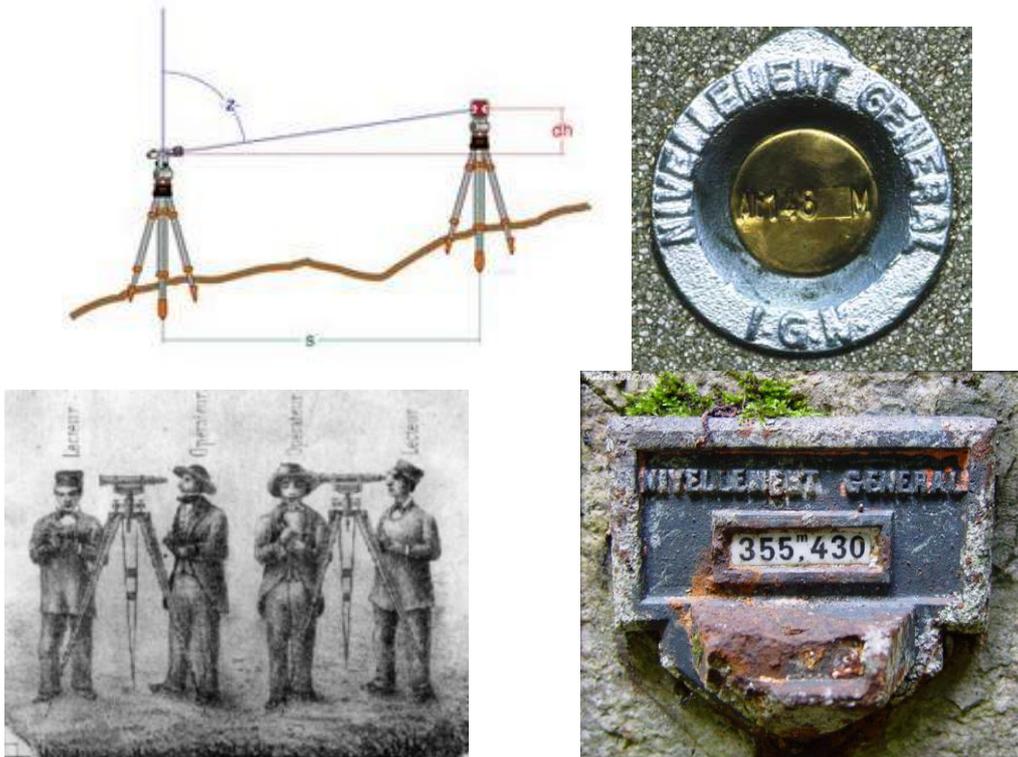


Figure 4 : Illustrations des mesures de positionnement relatif par visée optique et triangulation.

Ces mesures peuvent être réalisées aujourd'hui par positionnement GPS. Ces mesures ponctuelles sont complétées par des photos aériennes qui permettent, d'obtenir le positionnement d'un champ de points plus exhaustif (de l'ordre du nombre de pixels du cliché) mais moins précis par la technique de stéréo-photogrammétrie. Cette dernière utilise deux clichés aériens légèrement décalés l'un par rapport à l'autre mais couvrant une même zone du terrain à cartographier. On réalise ensuite un travail de reconstitution du relief équivalent à celui que fait notre cerveau à partir des deux images fournies par nos rétines. L'association de ces deux types de mesures permet d'obtenir la topographie d'un territoire de manière à la fois assez précise et quasi-exhaustive.

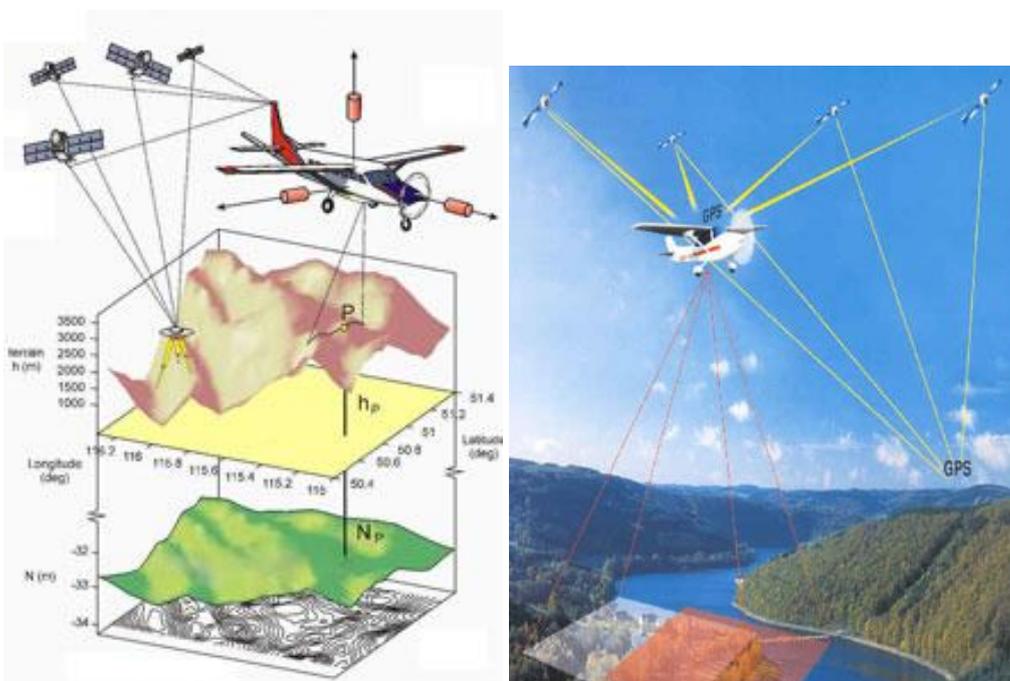


Figure 5 : Illustration des différentes techniques (Mesure GPS et photographie aérienne) permettant de mesurer le relief de la Terre

1.4 Projections cartographiques

Une fois la topographie connue, il reste à la représenter en carte. Il faut pour cela projeter un objet à 3 dimensions sur un plan. Pour cela, il existe de nombreux systèmes de projection d'une sphère ou d'une ellipsoïde sur un plan existant. On peut les regrouper en quatre types:

- les projections **conformes** conservent les mesures d'angles,
- les projections **équivalentes** conservent les rapports de surfaces,
- les projections **équidistantes** conservent certains rapports de longueurs,
- les projections **azimutales** conservent les directions.

1.1.1. Projections cylindriques

C'est le système adopté le plus couramment à l'heure actuelle pour les cartes géographiques de grandes échelles. Ce type de projection s'assimile à une projection géométrique d'une portion de la Terre sur un cylindre tangent à la surface terrestre.

La plus ancienne de ces projections est celle dite "de **Mercator**" [Gerhard Kremer, dit Gérard Mercator : géographe flamand (1512-1594)]. Elle représente la Terre sur un cylindre vertical dont l'axe de rotation est confondu avec l'axe des pôles. Ce cylindre est tangent à l'équateur terrestre. Dans ce système de projection, méridiens et parallèles sont représentés par des droites parallèles et orthogonales entre elles. Les lignes représentatives des méridiens sont équidistantes. Par contre, l'espacement des parallèles augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur. Elle dilate donc d'autant plus les distances qu'on s'élève en latitude, d'où une échelle de mesure des distances variables selon cette dernière. Cette projection conserve les angles, propriété fondamentale pour la navigation : on peut y tracer des routes à cap constant pour aller d'un point à un autre.

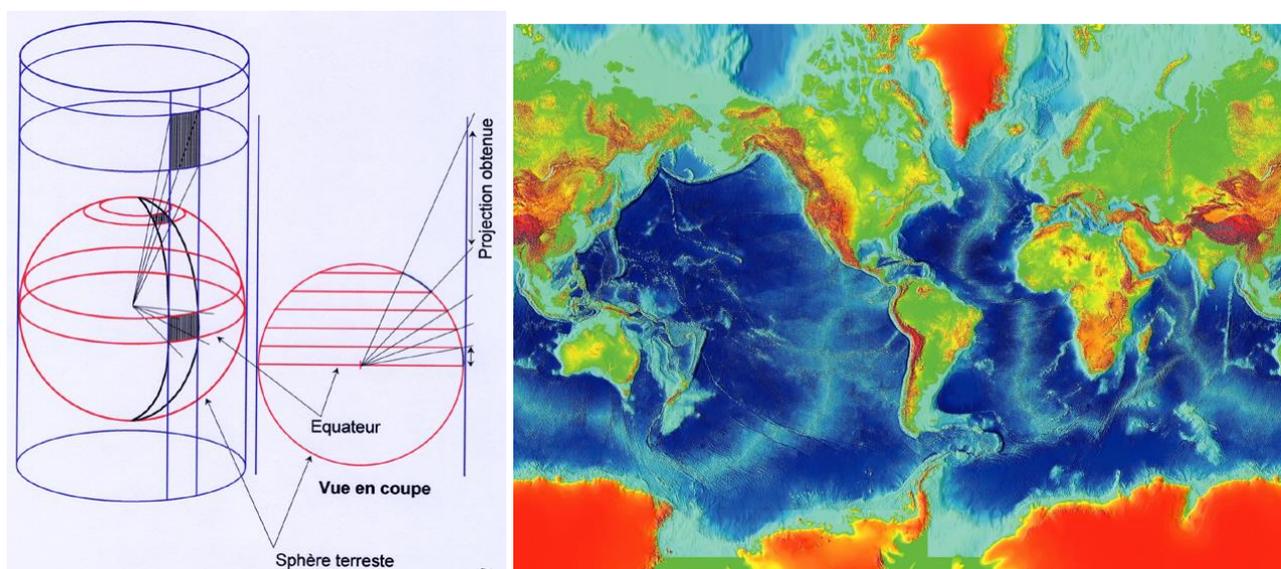


Figure 6 : Gauche : Principe de la projection Cylindrique de Mercator. Droite : Carte du relief terrestre utilisant la projection de Mercator

La projection UTM (Universal Transverse Mercator) ou projection de Gauss

[Carl Gauss, astronome et mathématicien allemand (1777-1855)]

Cette projection dérive de la précédente par le fait que le cylindre de projection est horizontal, tangent à un méridien particulier et non plus à l'équateur. Les déformations sont moindres mais les méridiens sont représentés par des courbes convergentes. De même, les parallèles sont courbes. Seuls le méridien central et l'équateur restent des droites. Pour que les déformations soient moindres, la représentation est limitée à un fuseau de 6° d'amplitude, 3° de part et d'autre du méridien central du fuseau. Le cylindre tourne autour de la Terre qui est divisée en 60 fuseaux UTM, numérotés de 1 à 60 d'Ouest en Est depuis l'antiméridien de Greenwich. La France correspond aux fuseaux n° 30, 31 et 32, la limite entre les fuseaux n° 30 et 31 étant le méridien de Greenwich. Ce système est couramment utilisé pour les points mesurés par GPS.

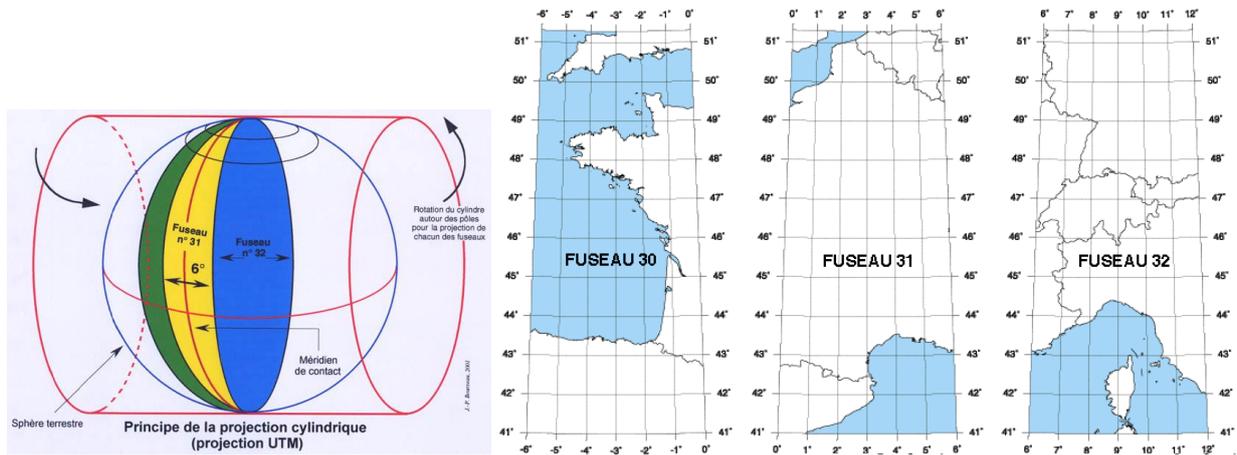


Figure 7 : Gauche : Principe de la projection UTM. Droite : Fuseau correspondant à la France dans le système UTM

1.1.2. Projections coniques

En France, le système utilisé par l'I.G.N. (Institut Géographique National) est la **projection conique conforme de Lambert**. On peut l'assimiler à une projection géométrique d'une portion de la Terre sur un cône dont le sommet est situé sur l'axe des pôles et qui est tangent à l'ellipsoïde le long d'un parallèle dit parallèle moyen de contact. Pour que l'altération des longueurs reste faible, la France est divisée en 4 zones qui ont chacune leur système de projection, donc leur parallèle moyen. Dans le système de projection de Lambert, les méridiens sont représentés par des droites concourantes. Ce système est notamment utilisé pour les cartes topographiques au 1/25000.

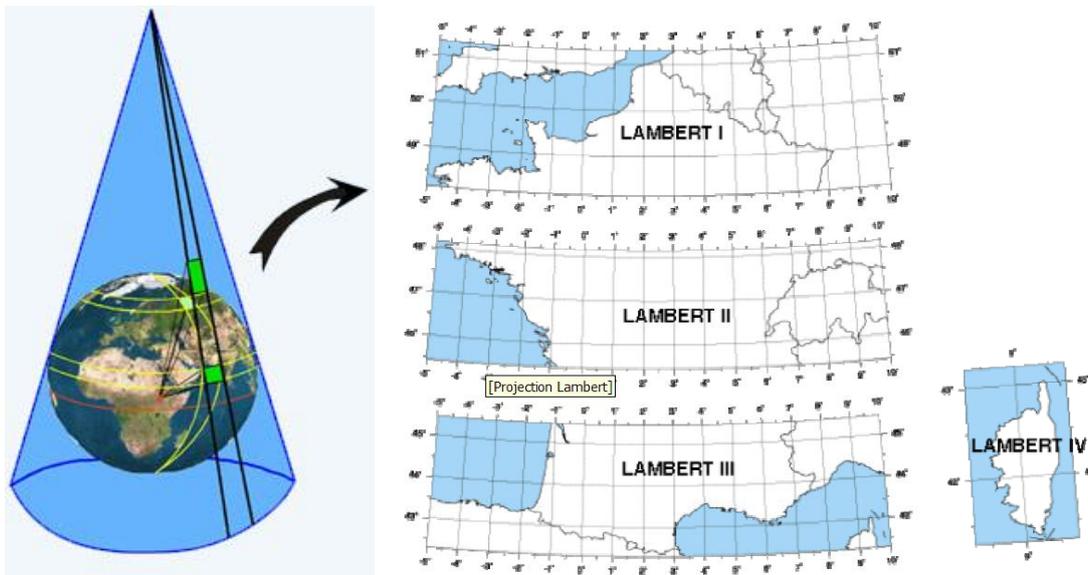


Figure 8 : Gauche : Principe de la projection Conique de Lambert. Droite : Différentes zones Lambert couvrant la France métropolitaine et la Corse.

1.5 Carte topographique

Comme nous l'avons vu précédemment, la représentation en carte suppose la projection d'un objet à 3D sur un support à 2D. Les projections décrites au paragraphe précédent permettent de réaliser cela en considérant un ellipsoïde lisse (sans relief). Si l'on veut pouvoir représenter le relief, c'est-à-dire la troisième dimension, en plan, il faut convenir d'une symbolique (convention graphique). Trois principales méthodes sont employées séparément ou conjointement.

- Couleur fonction de l'altitude
- Ombrage reproduisant l'effet d'un éclairage rasant.
- Courbes de niveau

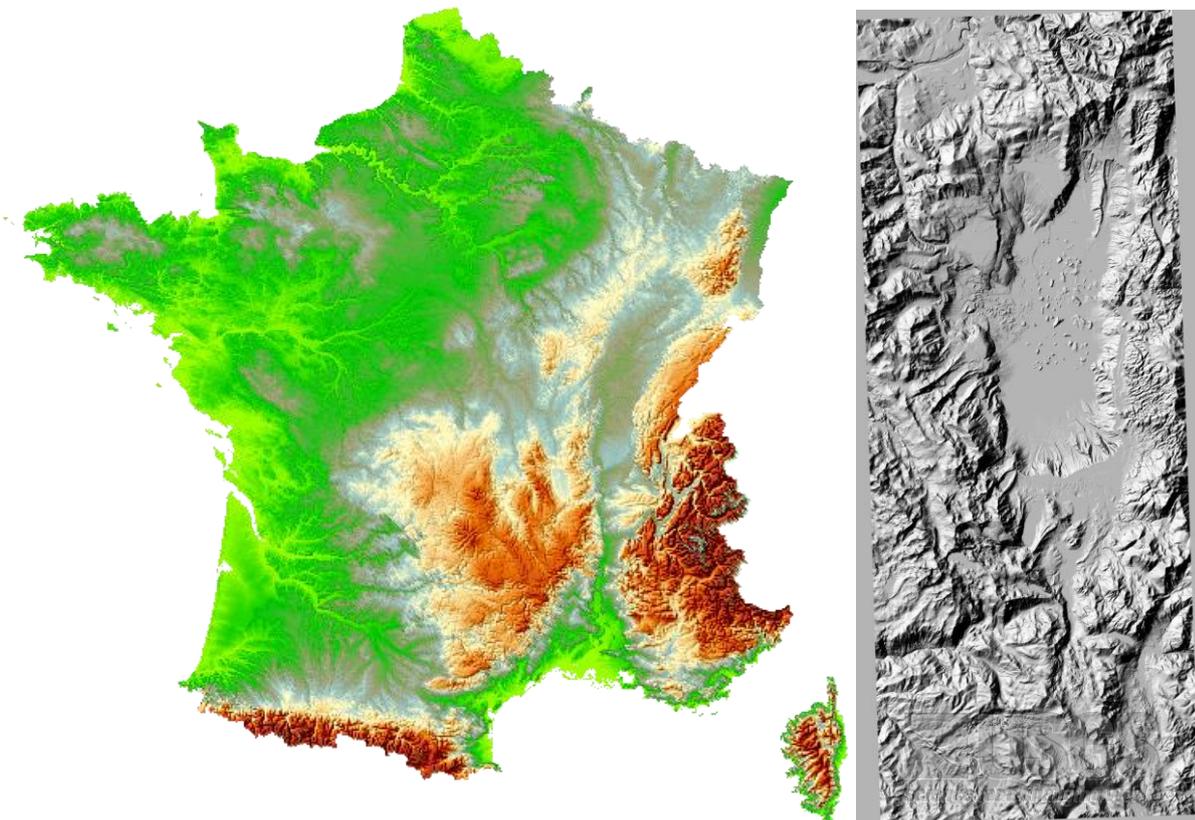


Figure 9 : Représentation du relief en niveau de couleur (gauche, France) ou en ombrage (droite, Lac Tahoe).

Le choix de la méthode de représentation du relief dépend de la destination de la carte. Le système de courbes de niveau permet de déterminer précisément l'altitude d'un point et de calculer des orientations et des pentes. Il est de ce fait utilisé pour les cartes topographiques et géologiques. Une courbe de niveau est le lieu des points d'une surface ayant la même altitude. Ainsi, le rivage d'un lac ou d'une mer (sans vague ni marée) est une courbe de niveau naturelle. En dehors ces rares cas naturels, une courbe de niveau est une construction fictive correspondant à une convention graphique.

Une courbe de niveau correspond à l'intersection de la surface topographique avec un plan horizontal d'altitude donnée. Elle joint donc un ensemble de points de même altitude. La différence d'altitude entre les plans horizontaux est appelé équidistance des courbes de niveau. On ajoute également la valeur de l'altitude d'un certain nombre de points caractéristique (sommets montagneux par exemple).

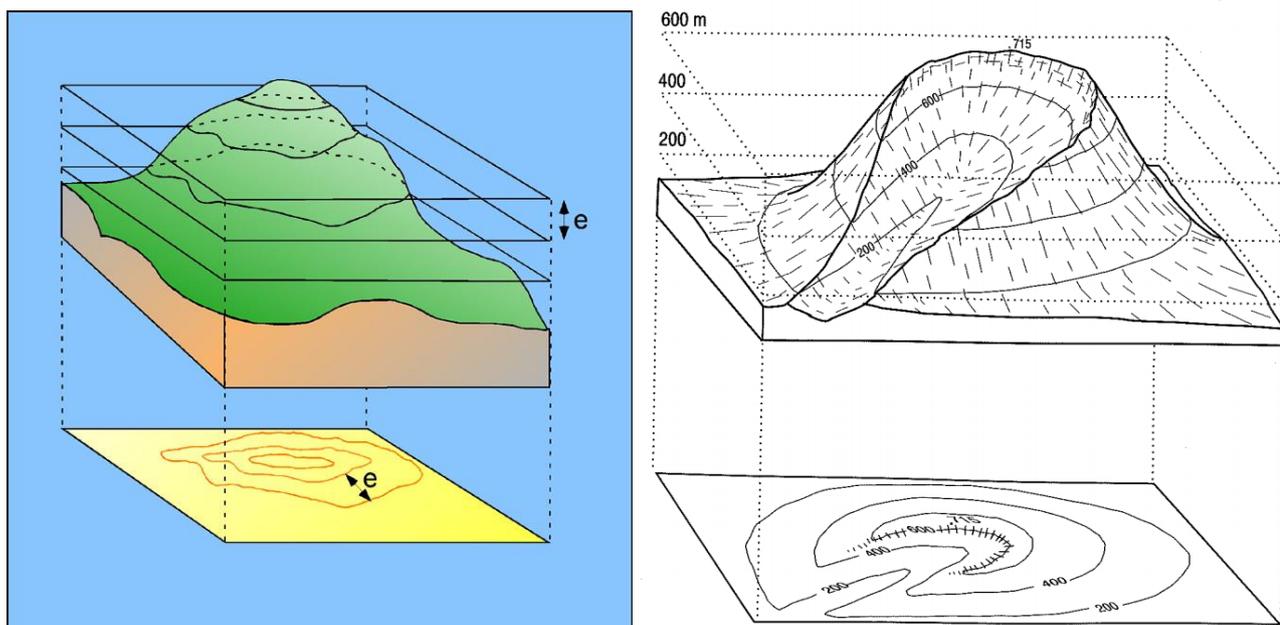


Figure 10 : Représentation du relief en courbe de niveau.

Les courbes de niveaux seules ne donnant pas forcément un rendu fidèle du relief, une carte topographique comporte également des symboles indiquant le couvert du sol (prairie, éboulis, forêts,...) et la typologie du relief (crête, talweg, falaises, blocs rocheux,...). La figure suivante donne un exemple de carte topographique réalisée par l'IGN.

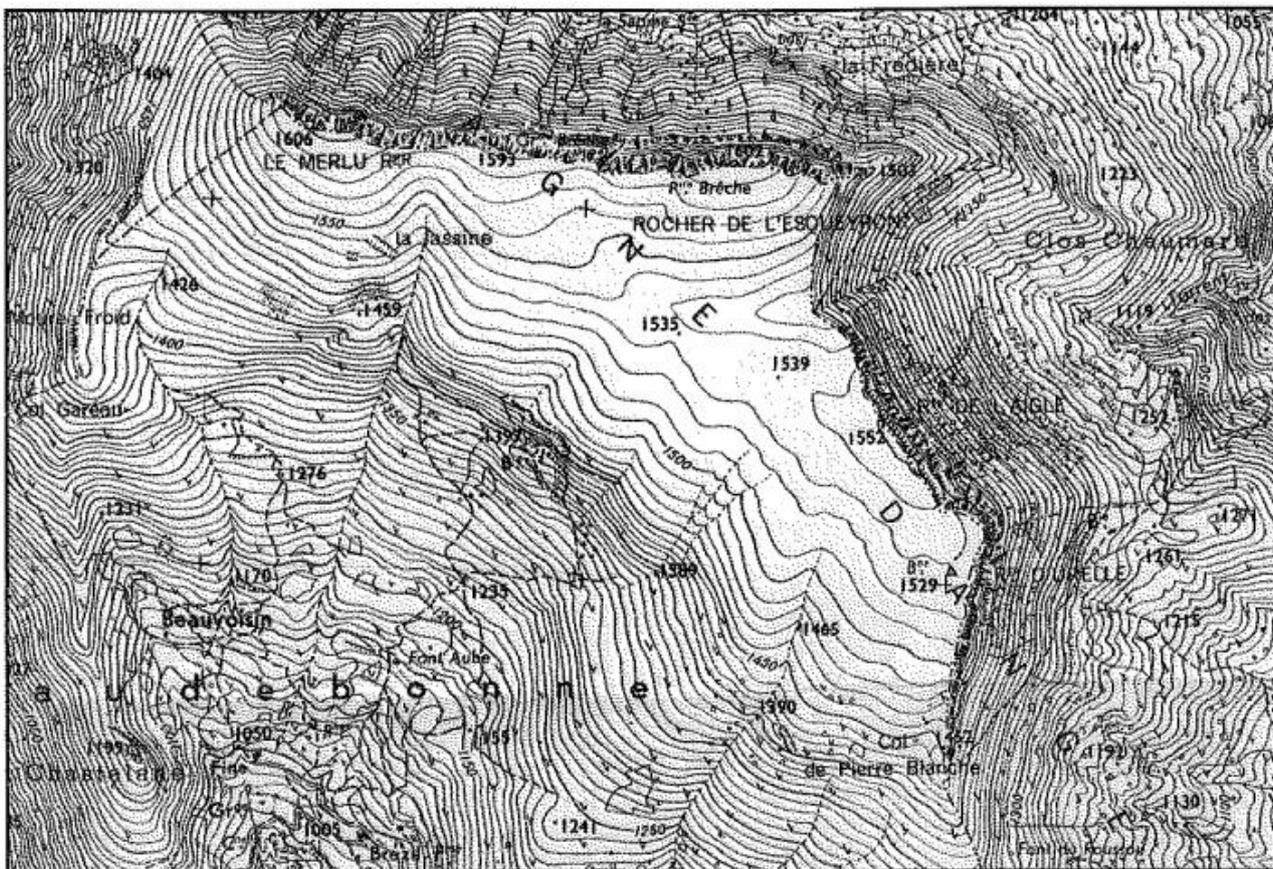


Figure 11 : Extrait de carte IGN Top25, Montagne d'Angèle, Drôme.

Ce mode de représentation permet de réaliser des mesures précises d'orientation et d'inclinaison de la pente en utilisant la direction et l'espacement entre les courbes de niveaux. La figure suivante montre différents exemples de répartition des courbes de niveau avec les profils topographiques associés.

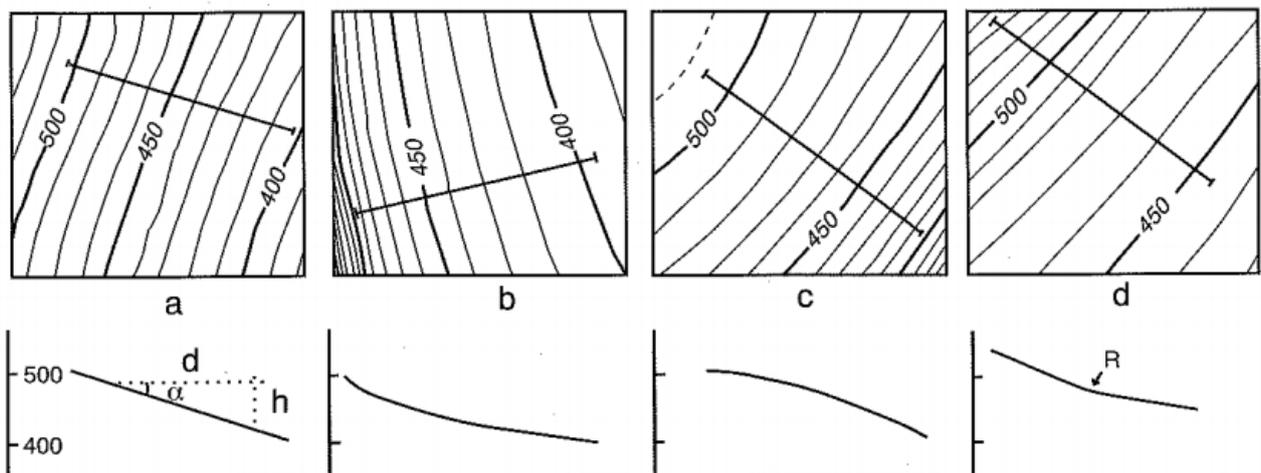


Figure 12 : Répartitions de courbes de niveau correspondant à différentes formes de versant. a) Espacement constant, pente constante d'angle α . b) Espacement croissant vers le bas, versant concave. c) Espacement décroissant vers le bas, versant convexe. d) Changement rapide d'espacement, rupture de pente.

L'usage des courbes de niveaux, s'il permet de représenter le relief, ne suffit pas toujours, en particulier lorsqu'on souhaite décrire précisément le relief d'un secteur. Comme pour la figure précédente, on a alors recours à une ou des coupes topographiques qui consistent à représenter l'intersection du relief avec un plan vertical. Ceci est particulièrement utilisé pour l'implantation d'ouvrages (route, voie ferrée, viaduc, tunnel, ...)

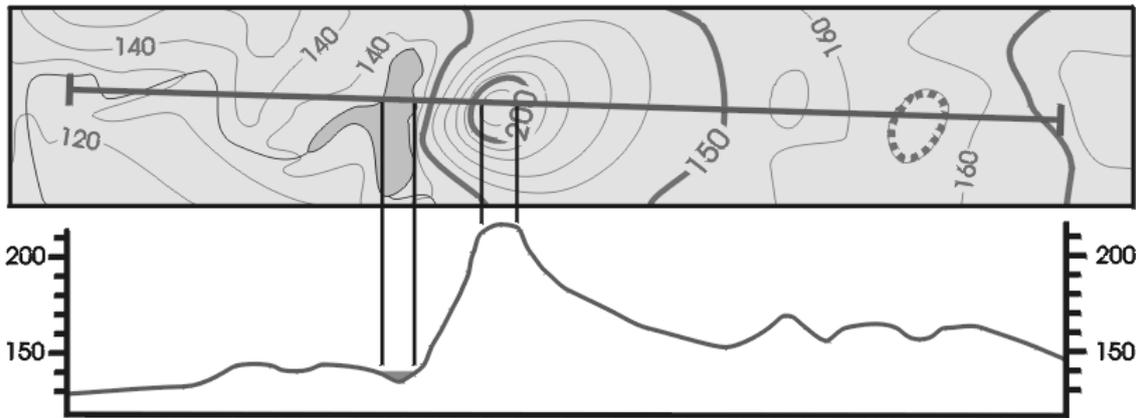


Figure 13 : Carte topographie et coupe topographique.

2 Cartographie géologique

Une carte géologique est une carte topographique sur laquelle on ajoute des informations géologiques telles que les formations et les surfaces géologiques (contact entre formations et failles). Les formations se représentent par des surfaces limitées par des contours. Dans un grand nombre de cas, les limites des formations sont des plans. On peut alors établir des techniques graphiques qui permettent d'en connaître les caractéristiques géométriques.

2.1 Orientation d'un plan dans l'espace.

Le plan est la surface géométrique la plus simple. Elle souvent adaptée à la description des surfaces géologiques élémentaires tels que les limites de couches ou de formations (contact entre des couches successives, plans de sédimentation) ou les failles (discontinuités dans les successions de couches). Les surfaces plus complexes peuvent être décomposées en portion de plans élémentaires.

Parmi les différentes façons de définir l'orientation d'un plan (3 points, 1 point et une droite, deux droites sécantes) une est particulièrement bien adapté à la géologie de terrain car elle utilise les deux directions mesurables partout sur la Terre : verticale/horizontale et nord magnétique. En effet, un niveau à bulle ou un fil à plomb permettent de définir une horizontale ou une verticale et une boussole permet de déterminer la direction du Nord (sauf très près des pôles).

Ainsi on décrit un plan par son azimuth (ou direction) et son pendage. L'azimut (δ) est l'angle que forme une horizontale du plan avec la direction du nord. Le pendage (α) est l'angle que forme la ligne de plus grande pente avec l'horizontale. L'horizontale du plan matérialise sur le plan la trace d'un plan horizontal. La ligne de plus grande pente correspond à la direction d'écoulement d'un filet d'eau sur le plan. Elle est orthogonale à l'horizontale du plan. Dans le cas d'une surface horizontale, il n'y a pas lieu de définir un azimuth, puisque le plan contient une infinité d'horizontales.

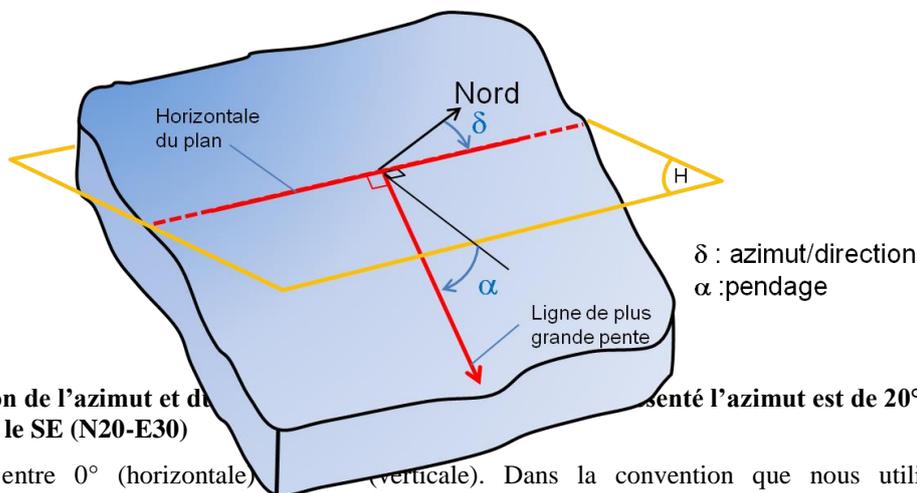


Figure 14 : Définition de l'azimut et du pendage de 30° vers le SE (N20-E30)

Le pendage est compris entre 0° (horizontale) et 90° (verticale). Dans la convention que nous utiliserons, l'azimut/direction est mesurée vers l'Est et sa valeur est comprise entre 0 et 180°. Dans ce cas, Il faut en outre préciser le sens du pendage pour lever l'ambigüité avec le plan de même azimuth et pendage mais dont la pente est de sens opposé. Dans le cas d'une surface verticale, il n'y a pas lieu de préciser le sens du pendage.

La notation conventionnelle pour désigner l'orientation d'un plan est la suivante :

- « N », suivi de la valeur de l'angle d'azimut, l'indication de la direction générale du pendage (N,S,E,W) suivie de la valeur de l'angle de pendage : ex N20-E30 dans le cas de la figure précédente.

On emploie également une notation graphique qui peut être reportée directement sur les cartes. Celle-ci est réalisée par un « T » dont la grande barre indique l'azimut, et la petite barre indique la direction de pendage. La valeur de pendage est indiquée à proximité.

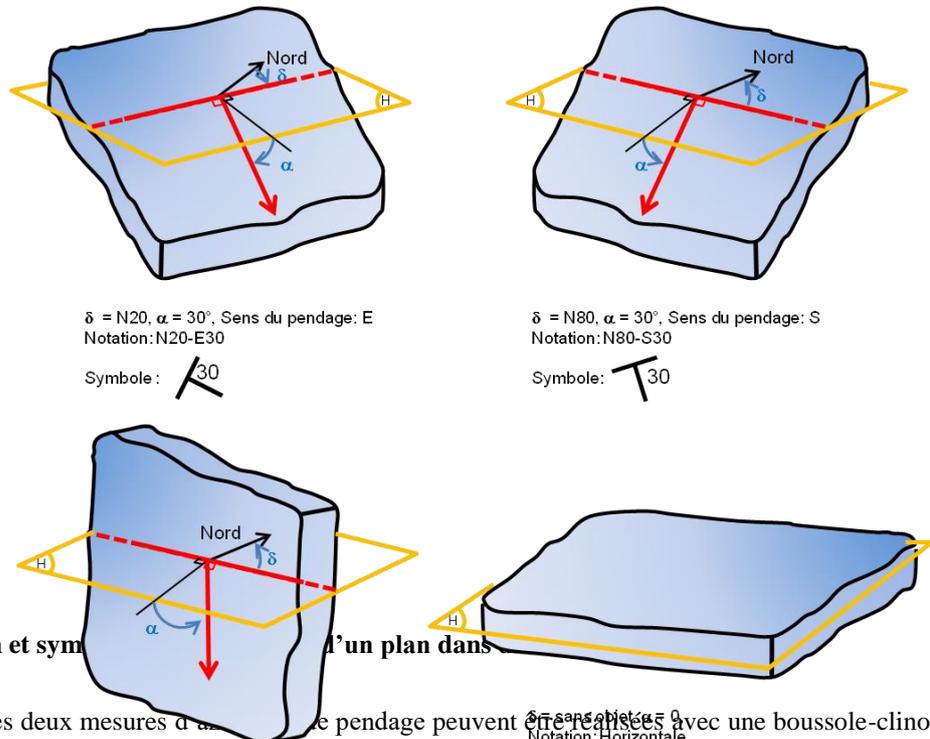


Figure 15 : Notation et symboles d'un plan dans

En pratique, sur le terrain, les deux mesures d'un plan de pendage peuvent être réalisées avec une boussole-clinomètre. Cet instrument comprend, un niveau à bulle permettant de définir une horizontale, une boussole permettant de mesurer l'angle de cette horizontale avec le Nord (azimut) et un clinomètre permettant de mesurer l'inclinaison de la ligne de plus grande pente (pendage) par rapport à l'horizontale.

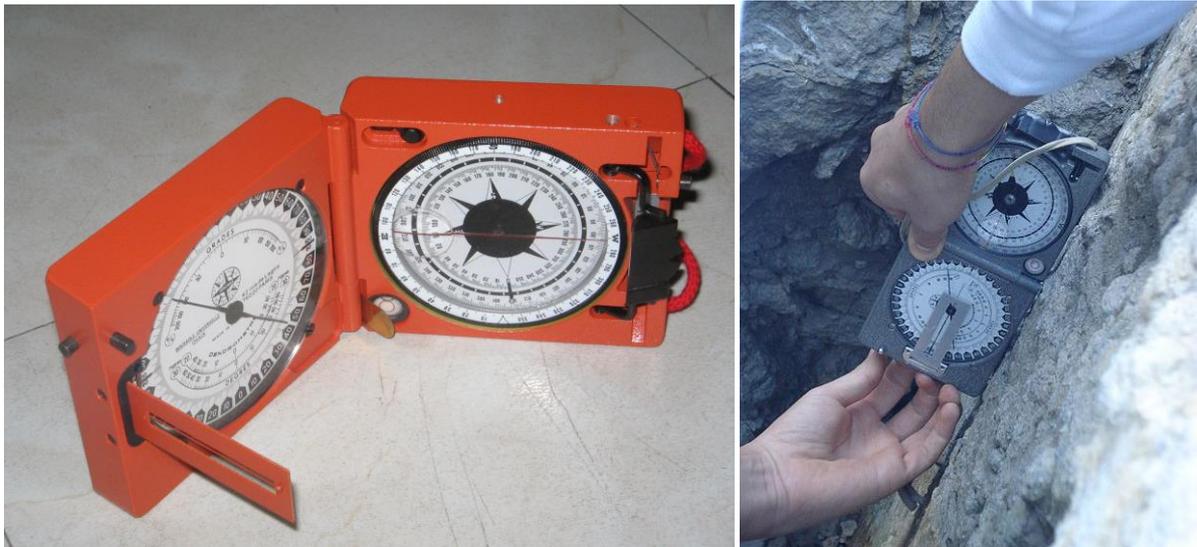


Figure 16 : Définition de l'azimut et du pendage d'un plan. Dans le cas représenté l'azimut est de 20° , le pendage de 30° vers le SE (N20-SE30)

2.2 Notion d'isohypses du plan

Dans le cas d'un plan, les courbes de niveau sont des droites. On parle alors d'horizontales du plan ou d'isohypse (synonyme de courbe de niveau). Ces horizontales possèdent des propriétés géométrique intéressantes pour le travail de cartographie géologique. Leur direction donne l'azimut du plan, par définition de l'azimut. Elles sont parallèles entre elles et leur espacement est fonction du pendage. La figure suivante montre de isohypse d'un plan quelconque et leur projection en carte.

Epaisseur et pendage réels et apparents d'une couche

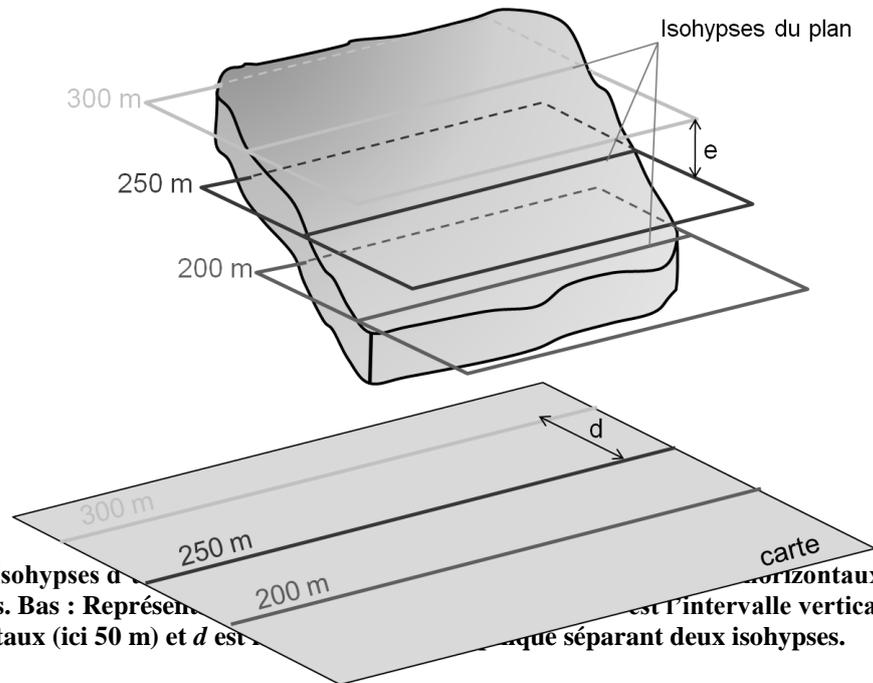


Figure 17 : Haut : Isohypses de différentes altitudes. Bas : Représentation cartographique de ces isohypses. e est l'intervalle verticale entre deux plans horizontaux (ici 50 m) et d est la distance cartographique séparant deux isohypses.

La relation entre intervalle d'altitude (e) et la distance cartographique (d) fait intervenir l'angle de pendage (α) comme le montre la figure suivante.

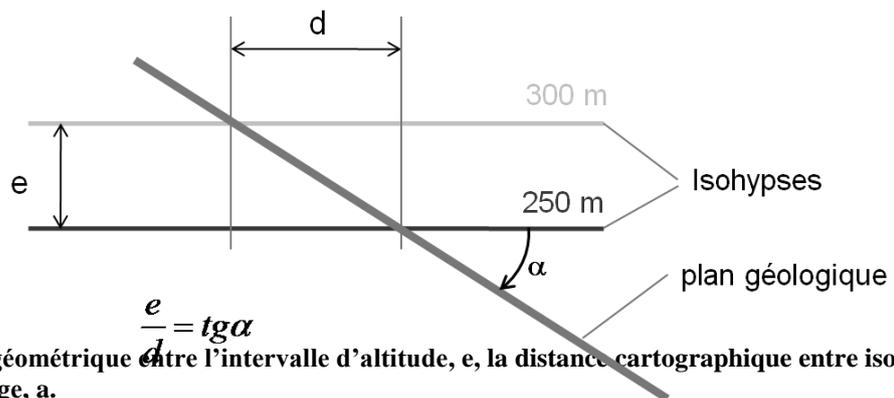


Figure 18 : Relation géométrique entre l'intervalle d'altitude, e , la distance cartographique entre isohypses, d , et l'angle de pendage, α .

Dans le cas où les deux limites supérieure et inférieure d'une couche géologique sont visibles sur la carte, la construction des isohypses de même altitude sur chacune des limites permet de déterminer l'épaisseur de la couche.

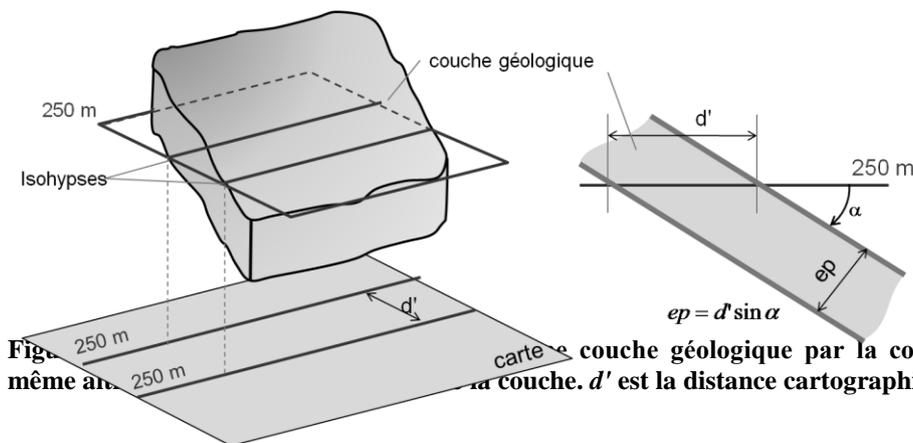


Figure 19 : Construction de la couche géologique par la construction de deux isohypses de même altitude sur les limites de la couche. d' est la distance cartographique séparant les deux isohypses.

2.3 Intersection entre un plan géologique et le relief, contour géologique

Nous avons vu que le relief peut être décrit par des courbes de niveau qui représentent l'intersection du relief avec des plans horizontaux. De même dans le cas d'un plan, on peut construire l'intersection de celui-ci avec des plans horizontaux pour former des isohypses. Cette similarité dans la construction permet de déterminer assez facilement

l'intersection entre un plan géologique quelconque et le relief, à condition que courbes de niveau et isohypses du plan soient construites aux mêmes altitudes. La figure suivante montre un élément de relief décrit par ses courbes de niveau, intersecté par un plan, lui-même décrit par ses isohypses. On voit que les isohypses et les courbes de niveau se rencontrent aux points correspondant à l'intersection entre le relief et le plan géologique. La courbe formée par l'ensemble de ces points d'intersection est nommée le contour géologique ou la trace cartographique du plan.

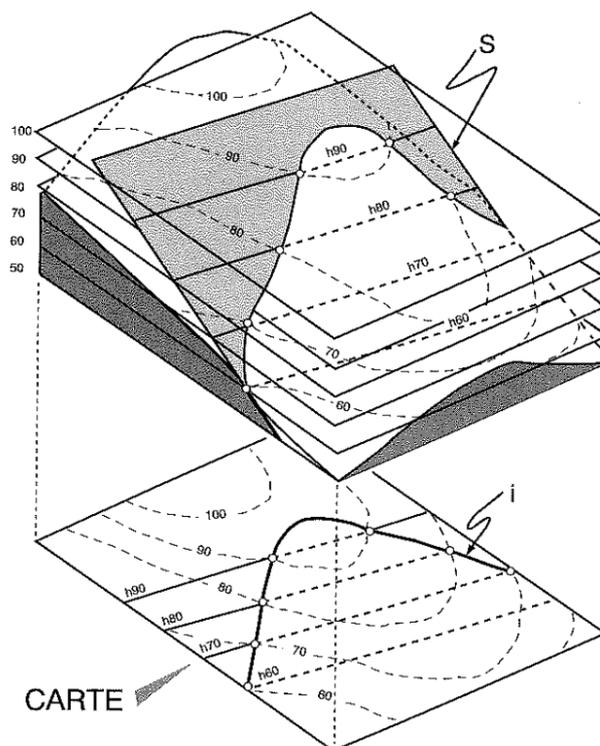


Figure 20 : Intersection entre un relief et un plan géologique vue en perspective (haut) et en carte (bas).

Si on considère le relief connu, plusieurs cas de figure peuvent se produire selon les informations que l'on connaît du plan

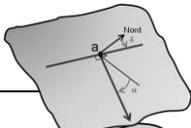
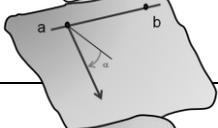
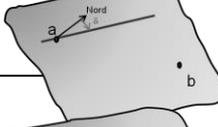
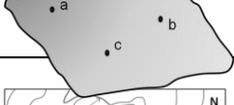
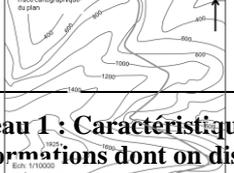
Différents cas de figure	Caractéristiques connues du plan	Caractéristiques à déterminer
	1 point + azimuth + pendage	Contour géologique
	2 points de même altitude + pendage	Pendage, Contour géologique,
	2 points d'altitude différente + azimuth	Azimuth, Contour géologique
	3 points quelconques	Azimuth, Pendage, Contour géologique
	Contour géologique	Azimuth, Pendage

Tableau 1 : Caractéristiques connues et déterminables pour un plan géologique selon les différents niveaux d'informations dont on dispose.

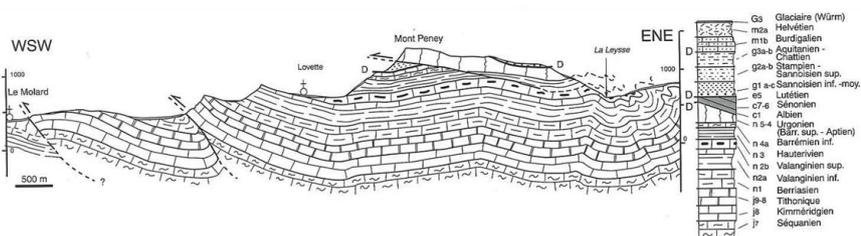
2.4 Carte et coupe géologique

A partir des techniques vues précédemment, il est possible de placer sur un fond topographique les informations géologiques dont on dispose. Ces informations peuvent provenir d'observations directes de terrain obtenues sur des affleurements (zones pour lesquelles les formations géologiques sont visibles sans couvert végétal ou construction). Celles-ci peuvent être plus ou moins complètes selon la qualité de l'affleurement. Dans le meilleur des cas on peut observer un contact le long d'un plan dont on parvient à mesurer l'azimut ou le pendage. Dans les autres cas moins favorables (contact, sans plan identifiable, ou simplement présence de telle ou telle formation) la multiplication des observations permettra de compléter l'information géologique. Ainsi la carte topographique est enrichie par des contours géologiques et le tracé des failles pour devenir une carte géologique. L'exemple ci-dessous montre une carte géologique de la France, produite par le BRGM (Bureau de recherche Géologique et Minière). Cette carte présente les différentes roches et formations géologiques en considérant que les formations superficielles (colluvions, alluvions,) et le couvert végétal sont transparents.



Figure 21 : Carte Géologique de la France (B)

De même que pour la topographie, il peut être nécessaire, de réaliser une coupe dans un plan vertical pour comprendre la structure géologique et les mouvements qui y ont été engendrés. Ceci va permettre de mettre en évidence le jeu d'une faille ou la présence d'un pli.

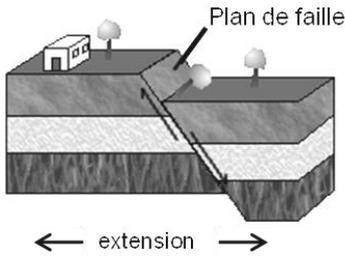


2.5 Failles et plis

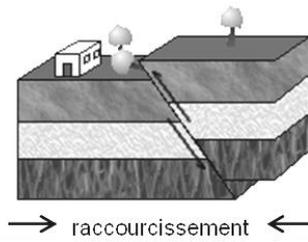
L'observation de terrain, associé au travail cartographique permet de mettre en évidence les structures induites par les mouvements tectoniques et la déformation de la croûte terrestre. On distingue

- les structures cassantes, telles que les failles, qui rendent compte d'un comportement fragile des roches constituant la croûte terrestre
- les structures ductiles, telles que les plis, qui résultent d'une déformation ductile.

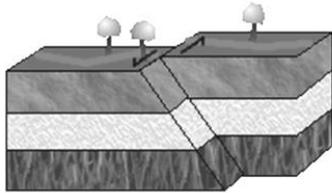
Faille Normale



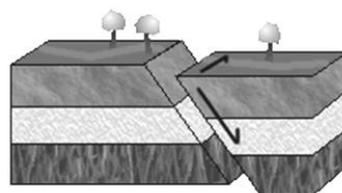
Faille Inverse



Faille décrochante



Faille mixte



le,

upt
lépl

mouvement relatif entre les deux

des roches. Elles se distinguent des deux compartiments découpés par la

façon selon la direction et le sens du rejet, on distingue différents types de faille.

- Normale : les compartiments s'écartent, contexte tectonique d'extension.
- Inverse : les compartiments se rapprochent, contexte tectonique de convergence
- Décrochante : Les compartiments se décalent latéralement. On précise le sens du décalage : senestre si le compartiment d'en face se décale vers la gauche, dextre s'il se décale vers la droite.

Les failles peuvent accumuler des rejets de plusieurs centaines voire milliers de mètres. La plupart du temps le mouvement des failles se fait de manière discontinue dans le temps, à l'occasion des séismes. Pour un séisme de magnitude 9 (parmi les plus puissants que l'on ait enregistré), le mouvement est de l'ordre de la dizaine de mètres en quelques secondes ; Pour un séisme de magnitude 3, très courant dans les Alpes, le déplacement est de l'ordre du cm en une fraction de seconde. Ces déplacements s'accompagnent d'un fort endommagement dans le voisinage de la faille, fonction du rejet. Pour l'implantation d'un ouvrage souterrain, par exemple, il est donc important de connaître la présence et le rejet des failles éventuelles.

La déformation de la croûte terrestre se fait également de manière ductile, c'est-à-dire sans faire apparaître de surface de rupture. En contexte de raccourcissement, de grandes déformations peuvent être accommodées par les plis. La figure décrit la géométrie d'un pli et la terminologie associée.

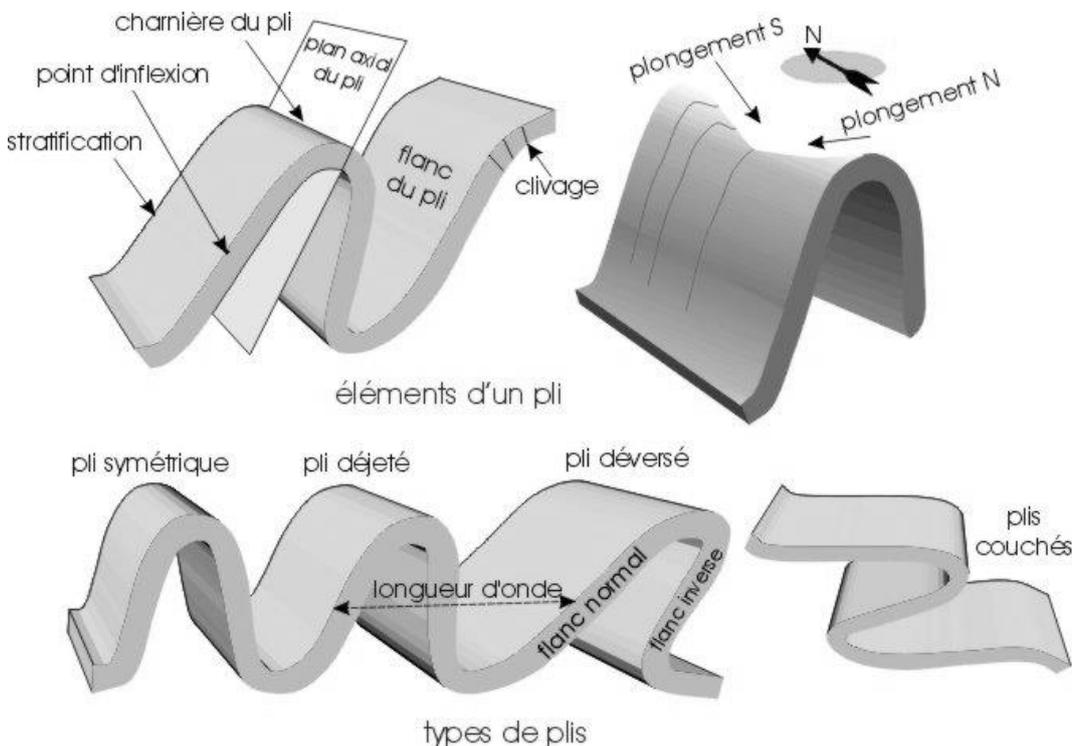


Figure 24 : Différent type de pli et terminologie associée.

Les outils graphiques que nous avons présentés précédemment, essentiellement les isohypses, permettent de caractériser les failles et les plis. Ainsi une faille sera traitée comme un plan. L'espacement constant des isohypse permettra de vérifier l'hypothèse du plan. La réalisation d'une coupe permettra de déterminer son rejet. Pour les plis, le tracé d'isohypses de direction constante ou variable et d'espacement variable, le long d'une même couche, permettra d'identifier un pli et d'en déterminer le pendage des flans

Les terrains sédimentaires, comme le Vercors ou la Chartreuse, permettent d'observer de nombreuses figures tectoniques associées à des pli et/ou des failles comme le montre les figures suivantes.

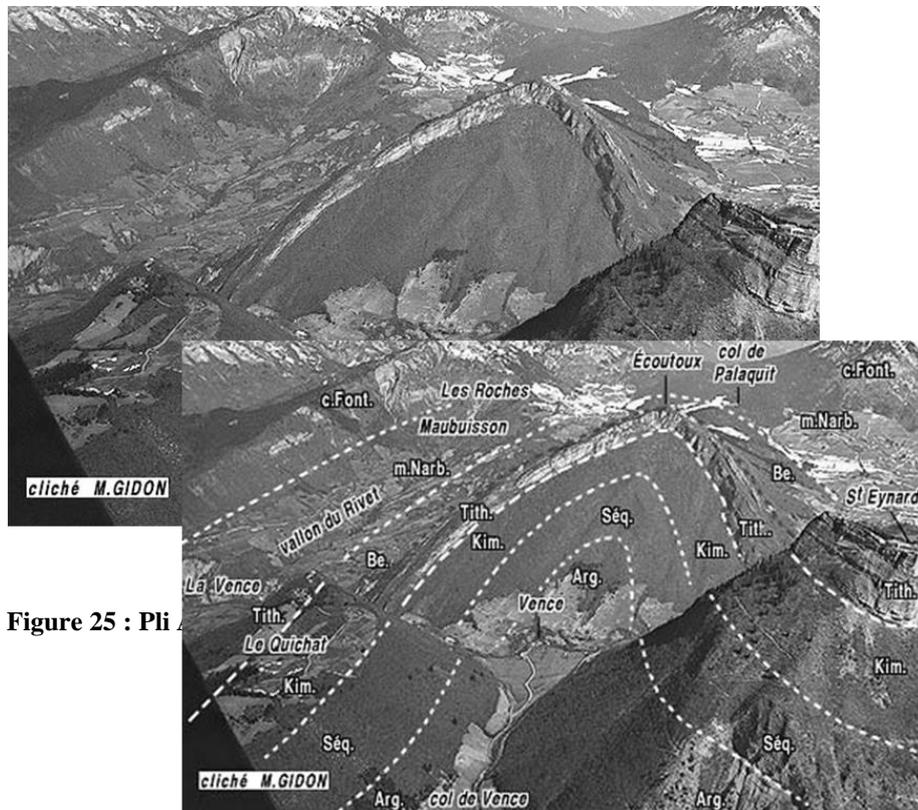


Figure 25 : Pli Anticlinal de Vercors interprétée géologiquement.

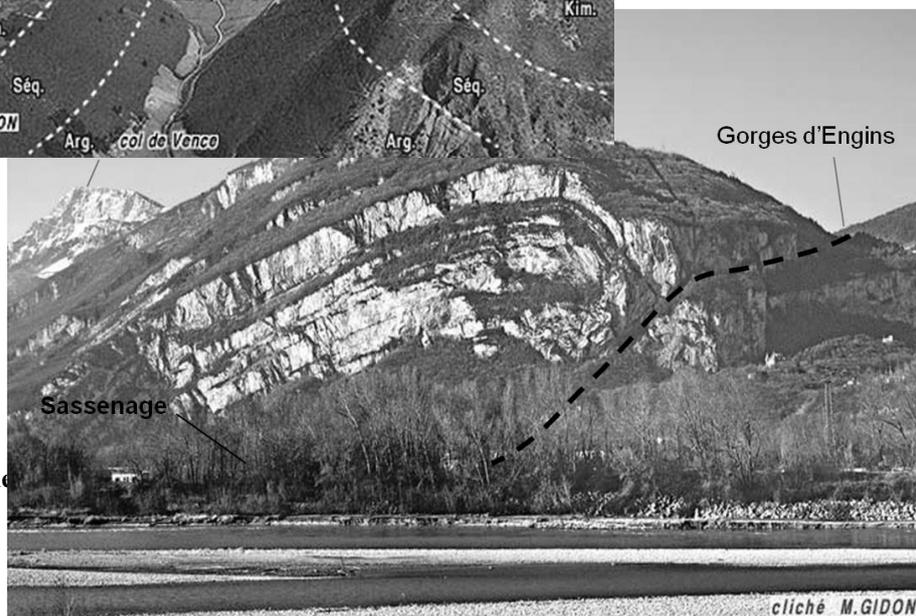


Figure 26 : Pli Anticlinal de Vercors

3 Recueil d'exercices de Cartographie Géologique

Partie 1 : Observations de terrain et report sur une carte

Ce premier exercice a pour objectif de se familiariser avec la lecture du paysage et le report d'information sur une carte. L'observation a lieu sur les berges de l'Isère, à proximité immédiate de l'IUT 1. On vous fournit une image du paysage (figure 1) vu vers le Nord, au cas où le temps serait trop couvert au moment de la sortie, mais aussi pour reporter vos observations. On vous fournit également une carte topographique (figure 2) qui vous servira à réaliser une carte des formations superficielles de la zone observée.

- Sur l'image du paysage (figure 1) repérer l'IUT et le site d'observation, les méandres de l'Isère et la zone de dépôt située approximativement au milieu du lit de l'Isère.
- Observations proches de terrain : observer la morphologie des rives droite et gauche de l'Isère et identifier les zones de dépôts et d'érosion. Quel sont les moyens de protection mis en œuvre. Sur la zone de dépôt centrale, observer les différents matériaux qui la constituent et lier leur granulométrie à l'endroit où ils se trouvent.
- Reporter les zones d'érosion et de dépôt de l'Isère sur l'image du paysage
- Observations plus lointaines : Repérer les falaises du St-Eynard, les parties rocheuses, le couvert forestier, les pentes d'éboulis, les zones construites. Quelles sont les zones d'érosion et de dépôts. Décrire brièvement leur morphologie.
- Reporter les zones d'érosion et de dépôt de ces falaises sur l'image du paysage
- Donner des caractères morphologiques (pente, orientation, position) qui permettent de distinguer les alluvions de l'Isère des colluvions du St Eynard.
- Comment se placent les constructions par rapport à ces formations superficielles.
- A partir du fond topographique fourni à la figure 2b, réaliser une coupe topographique selon la ligne A-A'.

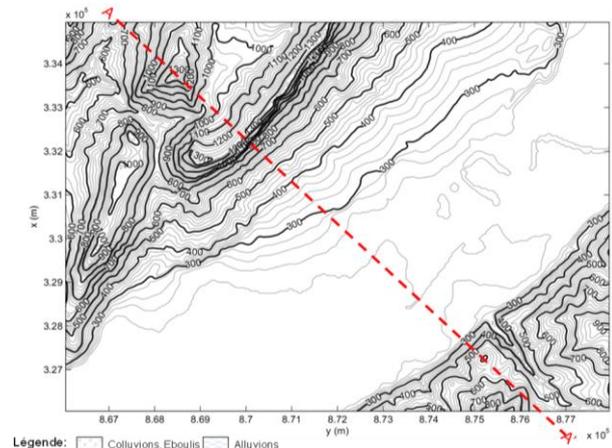
Ci-dessous les figures 1 et 2 en taille réduite. Un exemplaire au format A4 vous est fourni dans les pages suivantes.



Figure 1 : Image synthétique du paysage vu vers le Nord



a

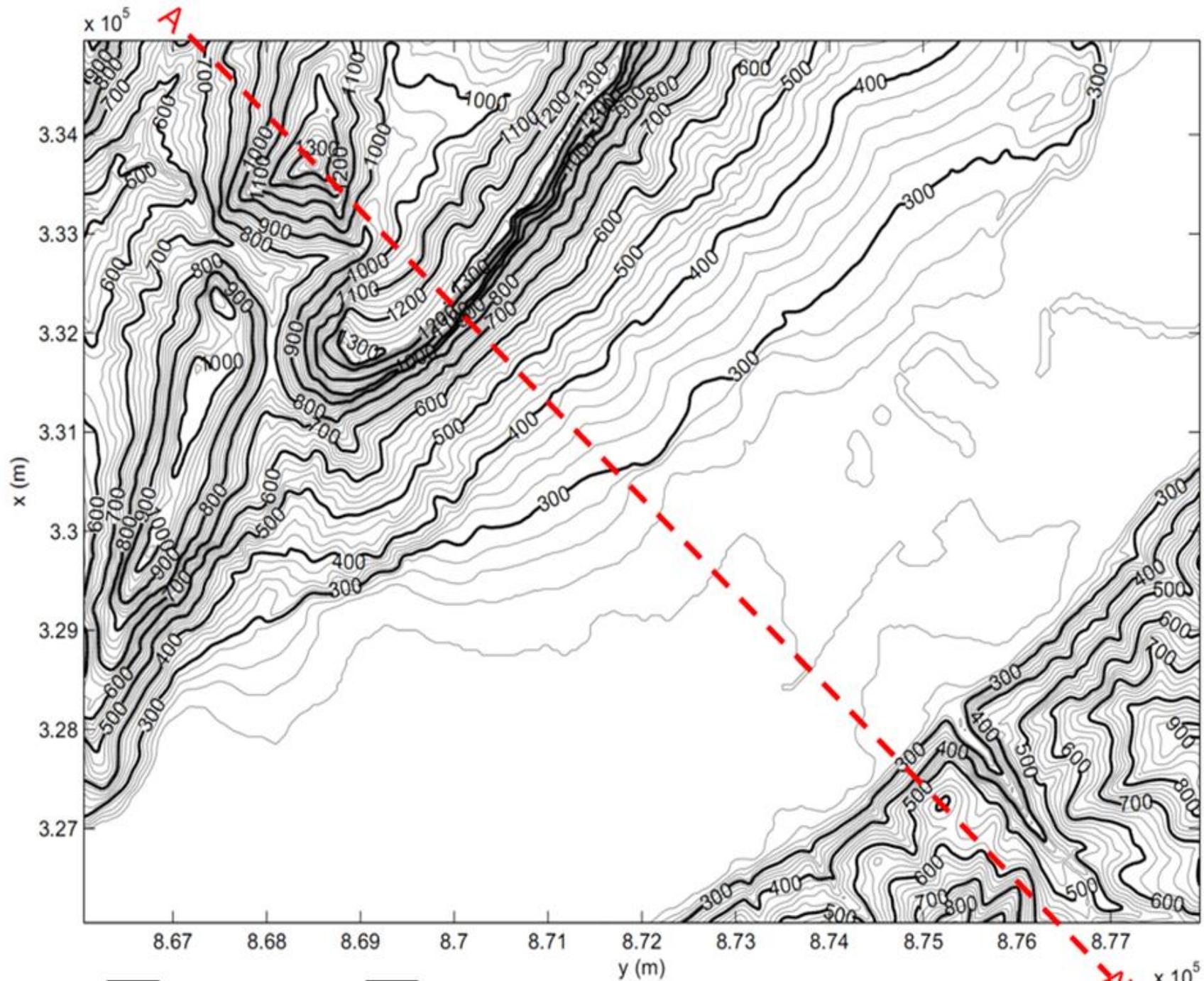


b

Figure 2 : a) Carte topographique du secteur observé avec ombrage et couvert du sol. b) Fond topographique seul.



Légende: Colluvions, Eboulis Alluvions

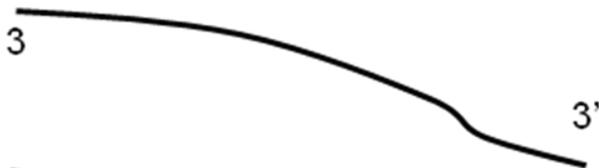
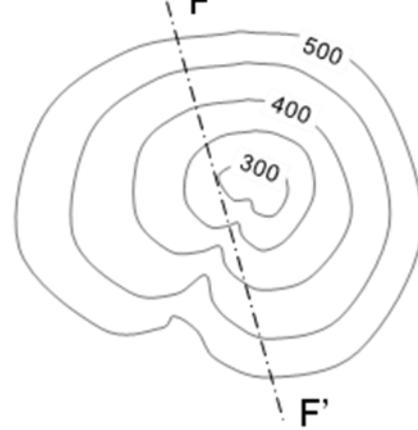
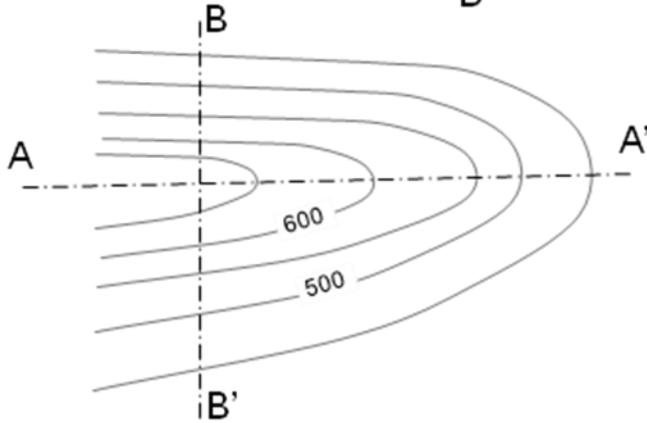
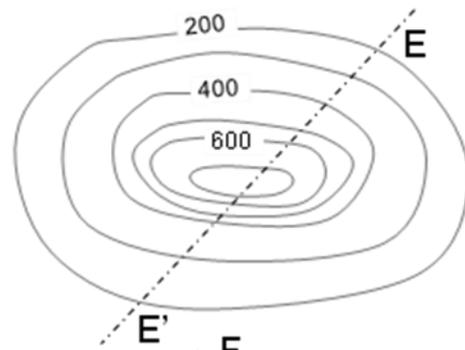
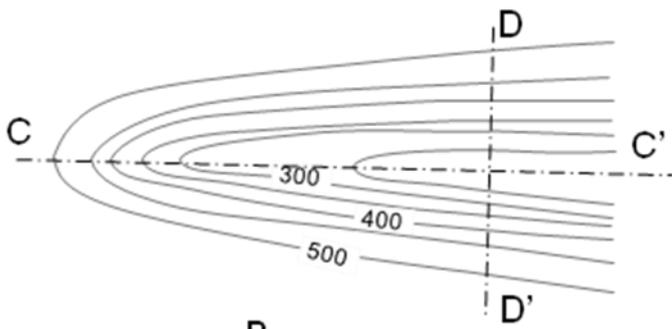


Partie 2 : Coupes topographiques :

Exercice 1 : Relief, coupes et vocabulaire

Identifier les éléments de paysage suivants : Butte, Creux, Crête, Vallée-Talweg

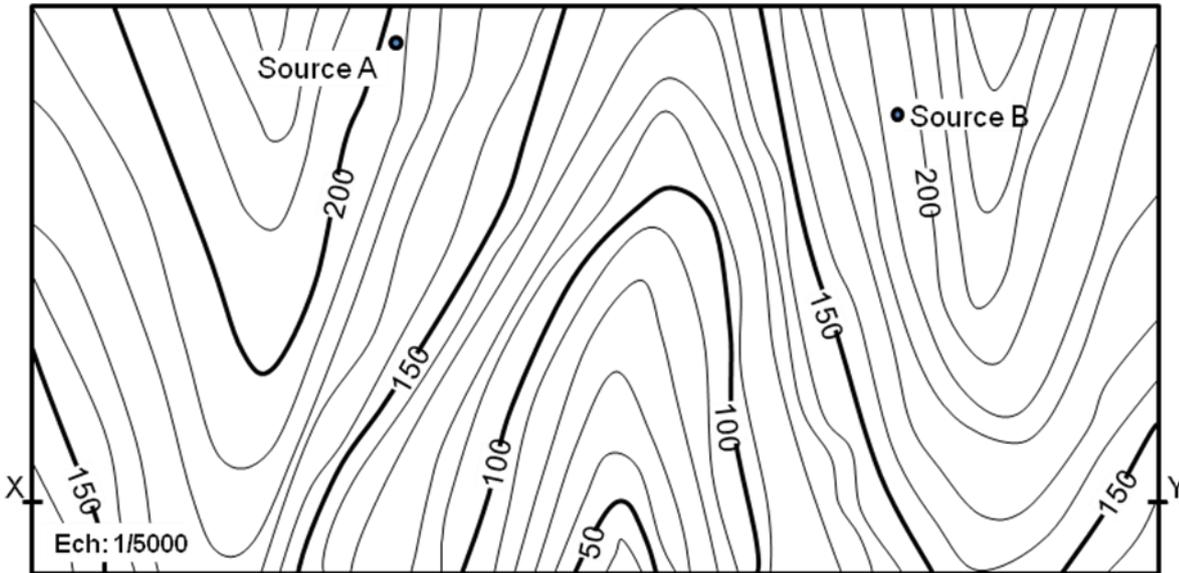
Associer les sections A-A' à F-F' avec les coupes topographiques 1 à 6



Exercice 2 : Coupe topographique, écoulement dans le relief, implantation d'un ouvrage

Sur l'extrait de carte topographique suivant :

- Tracer en pointillé le trajet de l'eau provenant des sources A et B
- Tracer la coupe topographique X Y (utiliser l'espace disponible sous la carte).
- Tracer l'implantation d'un chemin entre les cotes 100 et 150, d'altitude approximativement constante, qui s'insère au mieux dans le paysage.



Exercice 3 : Topographie du secteur de la Dent de Crolles

A partir des l'extrait de carte topographique des environs de la Dent de

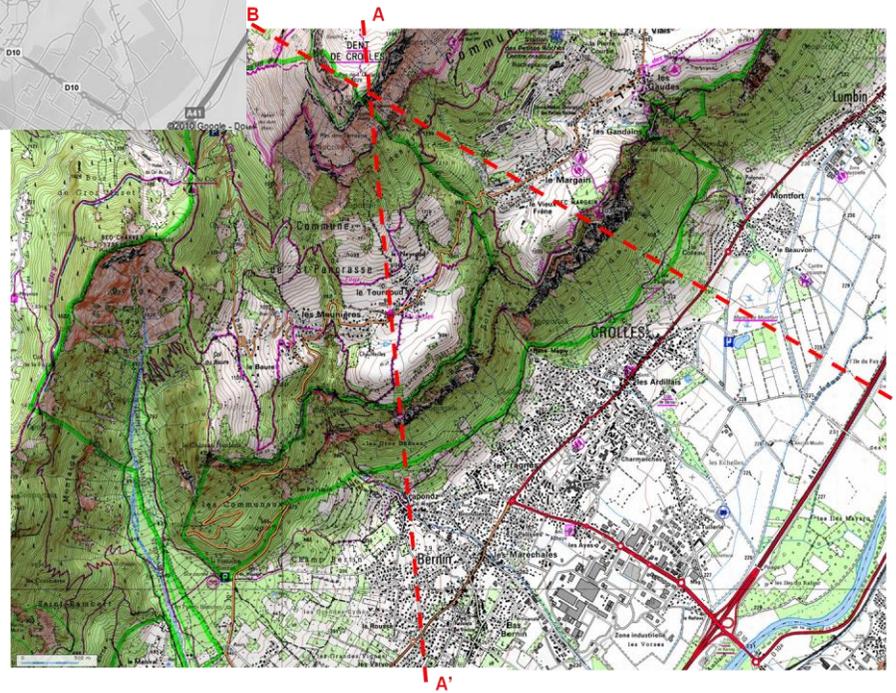
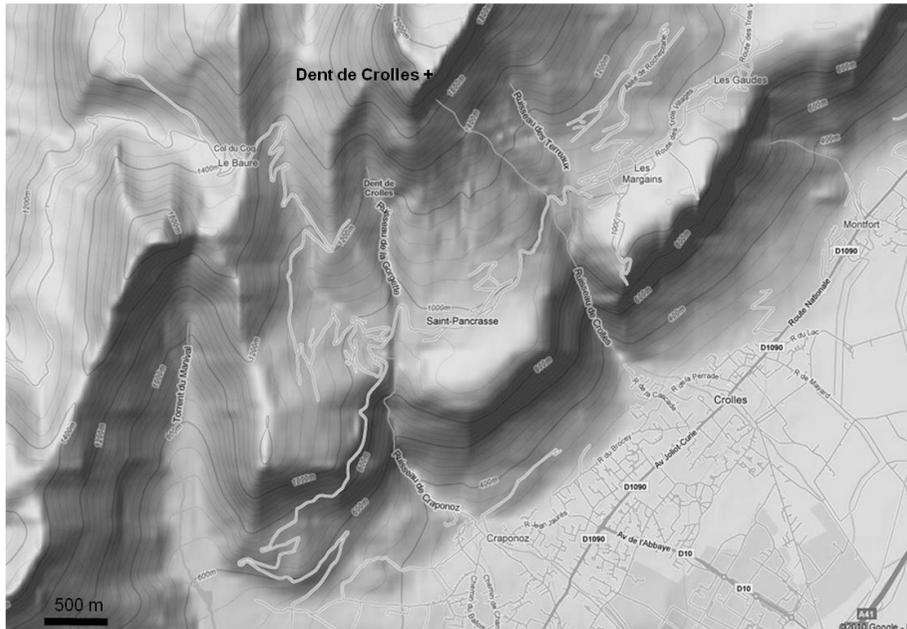
- Placer le point de prise de vue de la photo sur la carte
- Délimiter le bassin versant du Torrent du Manival.

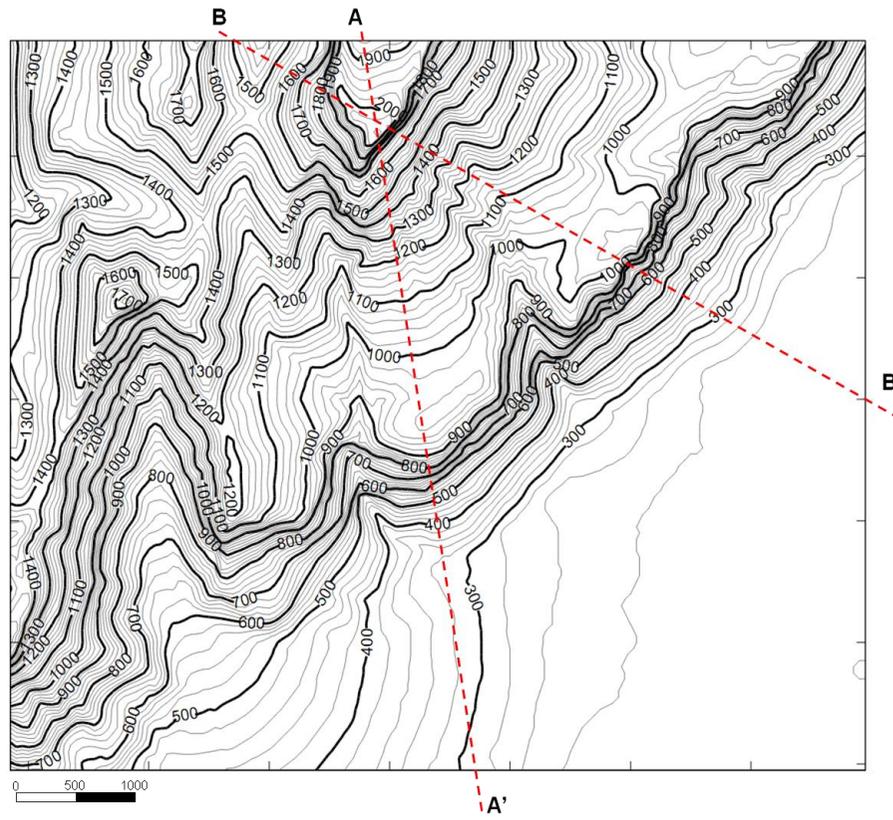
Sur l'extrait de Carte IGN fourni à la page suivante

- Tracer les coupes topographiques A-A' et B-B'
- Déterminer la pente de l'éboulis au pied de la falaise de la Dent de Crolles selon ces deux coupes.



Crolles et de la photographie ci-contre :

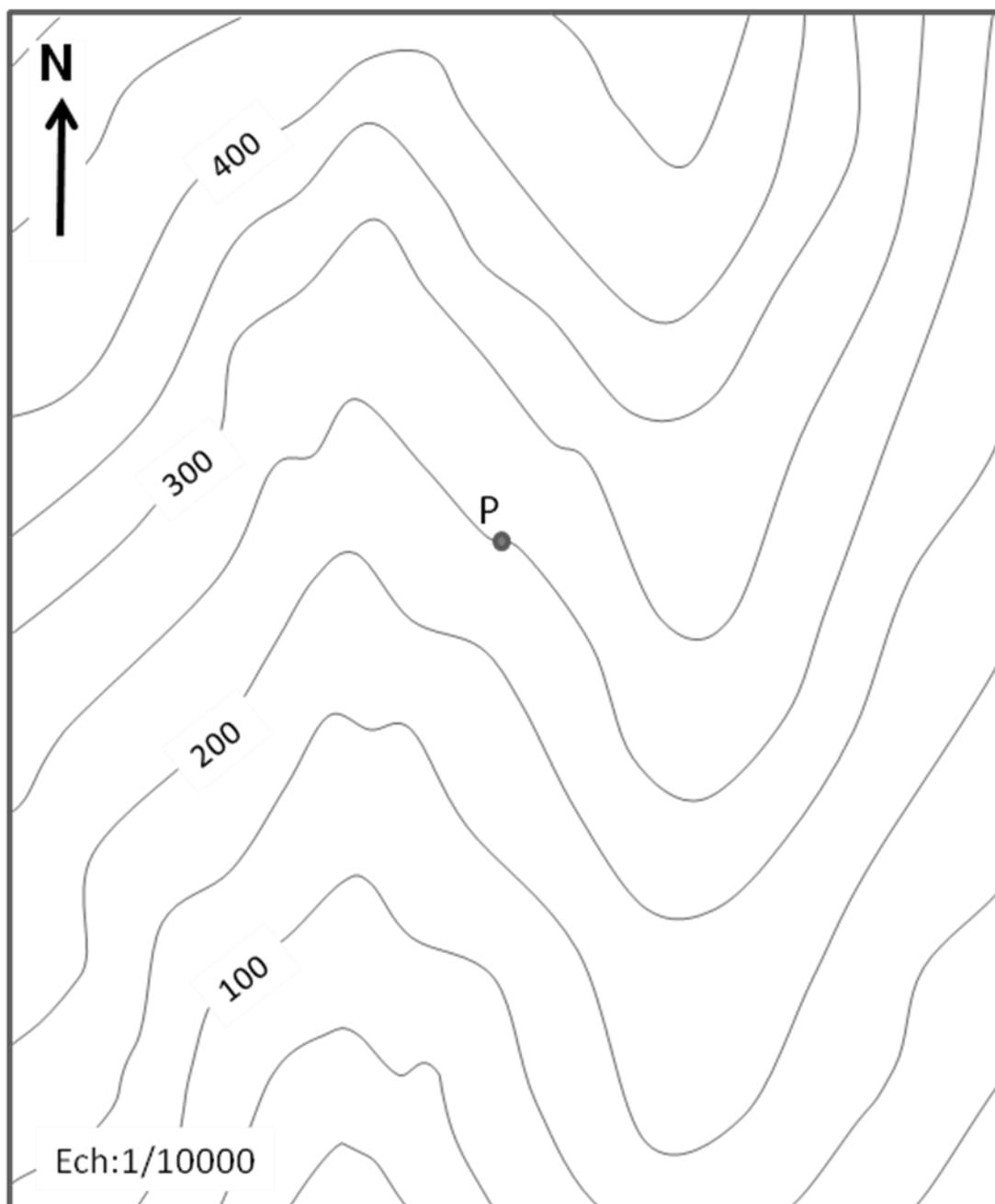




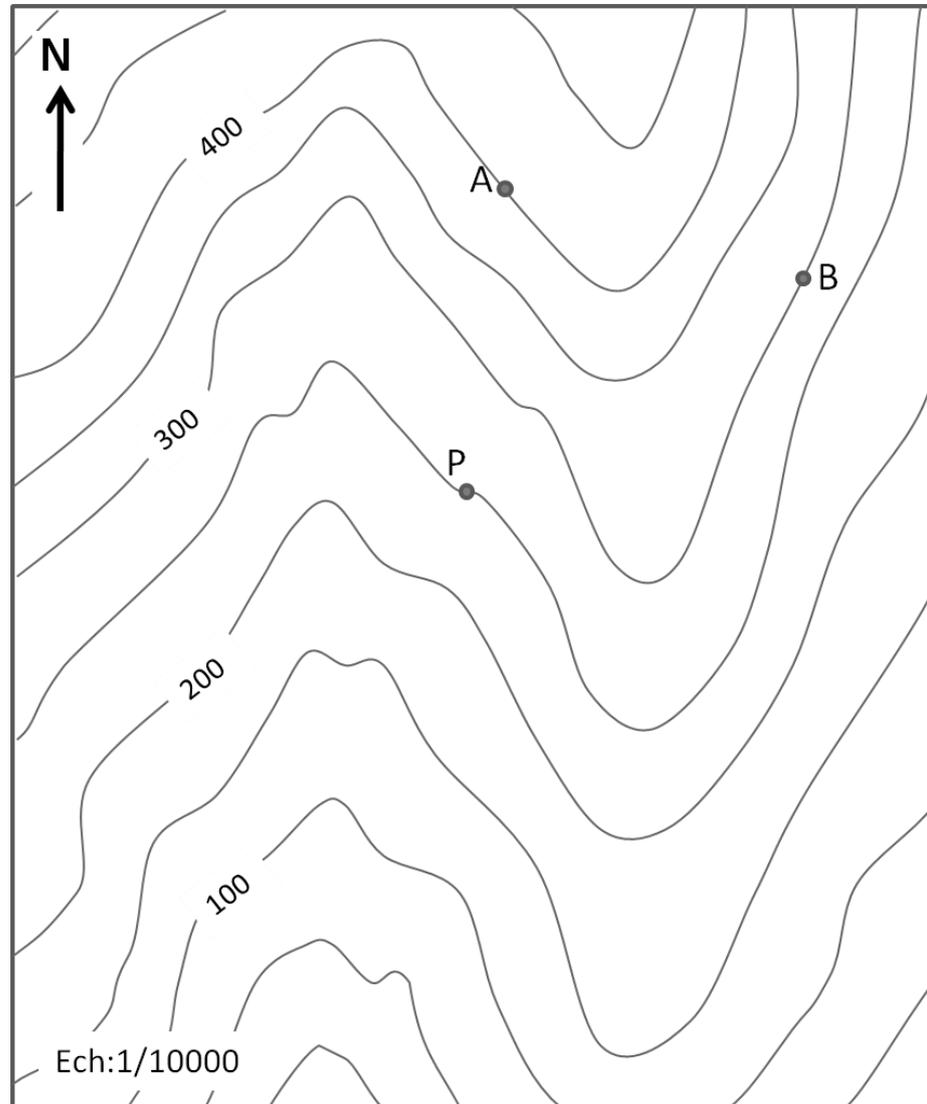
Partie 3 : Intersection entre le relief et une surface géologique

Exercice 1 :

- a) Vous êtes sur le terrain muni d'un fond de carte topographique (fourni ci-dessous) d'un GPS pour vous positionner, d'une boussole et d'un clinomètre pour mesurer azimuth et pendage d'un plan. Arrivé au point P, vous trouvez un plan géologique (filon aurifère) très net qui vous permet de mesurer un azimuth de 90° et un pendage vers le sud de 30° (N90-S30). A partir de ces informations on vous demande de :
- Tracer l'isohypse d'altitude 250 m.
 - Repérer les intersections de celle-ci avec le relief
 - Calculer l'espacement entre les isohypses avec pour un intervalle d'altitude de 50 m
 - Tracer les isohypses d'altitude 100 à 400 et leur intersection avec le relief
 - Tracer le contour géologique du filon aurifère.



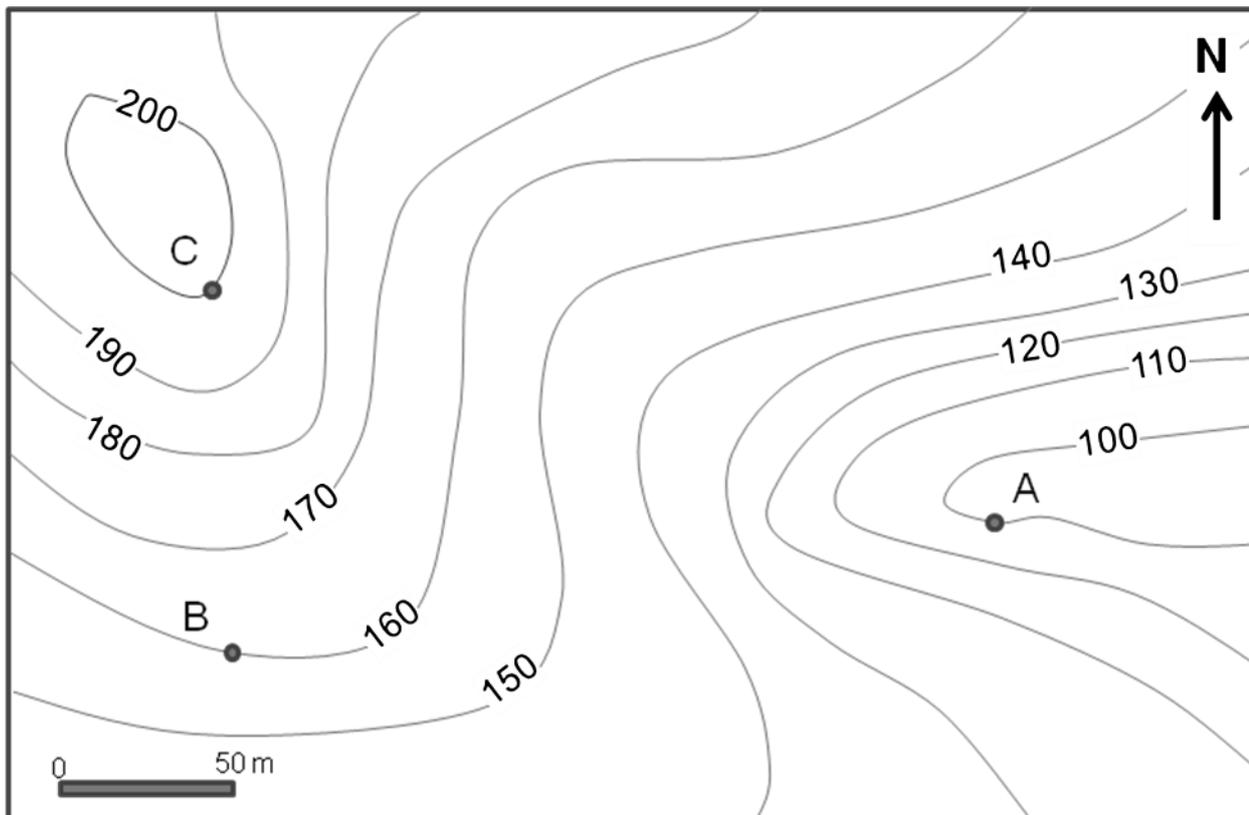
- b) Vous êtes sur le même terrain muni des mêmes outils. Arrivé au point P, vous trouvez un filon aurifère, mais vous êtes dans l'impossibilité de mesurer son azimut et son pendage car l'affleurement est très altéré. En continuant vos investigations vous trouvez deux autres affleurements où ce filon est visible, aux points A et B.
- Trouver une méthode pour construire des isohypses à partir de l'altitude des points P, A et B.
 - Déterminer l'azimut et le pendage du filon aurifère
 - Tracer le contour géologique du filon aurifère.



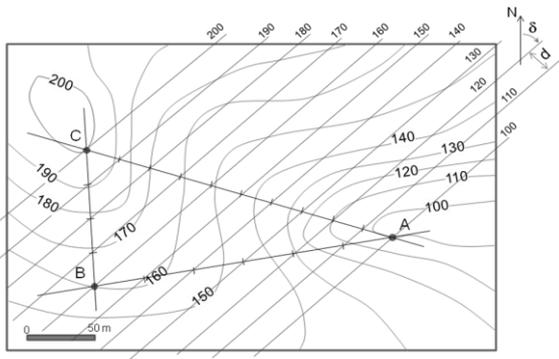
Exercice 2 :

Sur le fond de carte topographique ci-dessous, les 3 points A B C donne la position de 3 affleurements ou un plan géologique a été identifié.

- Déterminer l'azimut et le pendage du plan géologique
- Tracer le contour géologique de ce plan



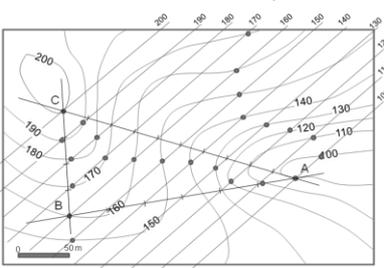
Correction de l'exercice 2 :



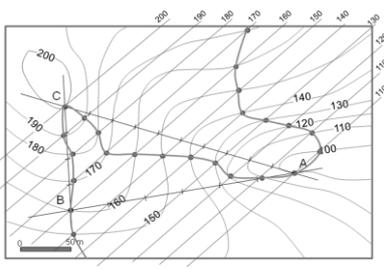
Tracé des isohypses par interpolation linéaire des altitudes entre les points A B et C

Mesure angulaire entre les isohypse et le nord → Azimut = N48,
Diminution des altitudes des isohypse → Direction générale du pendage : SE

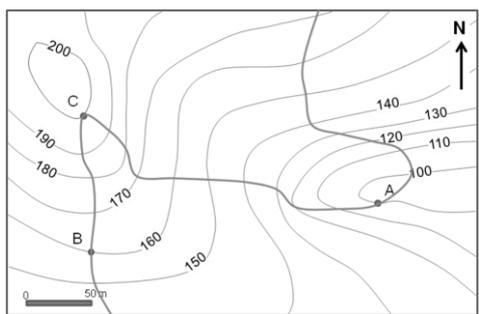
Mesure de la distance orthogonale (d) entre isohypses (intervalle d'altitude h), $\alpha = \arctg(e/d)$ → pendage $\alpha = \arctg(e/d)$



Intersection entre isohypses et courbes de niveaux de même altitude



Tracé du contour en reliant les points d'intersection

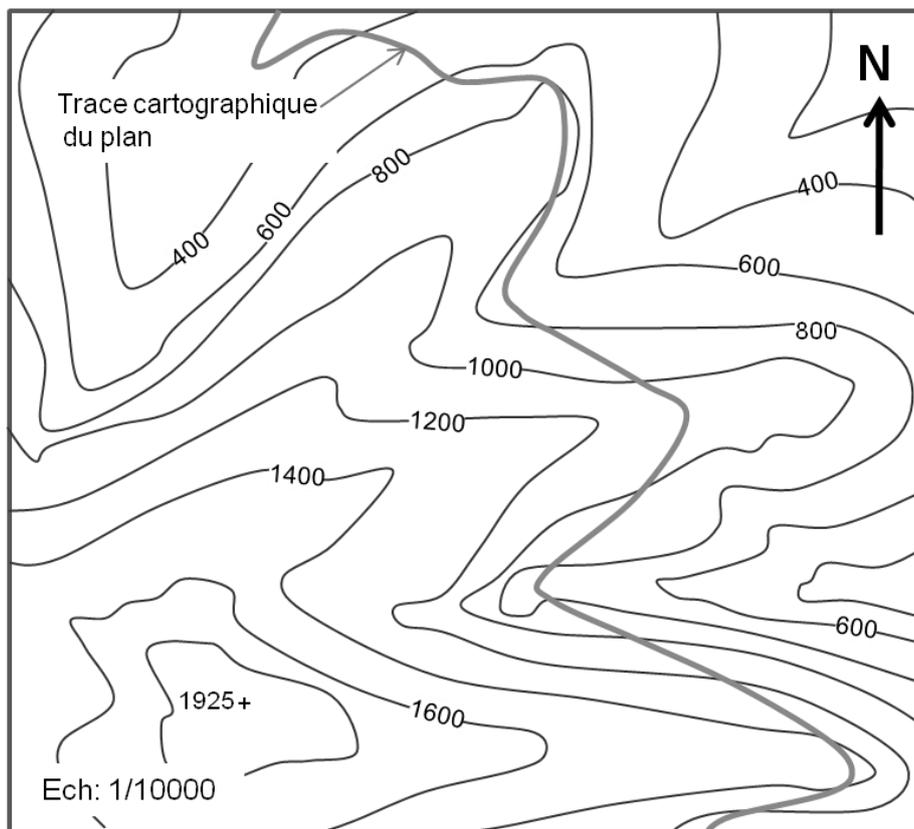


Contour géologique sans les tracés de construction

Exercice 3 :

La carte fournie ci-dessous donne la trace cartographique (contour géologique) d'un plan géologique.

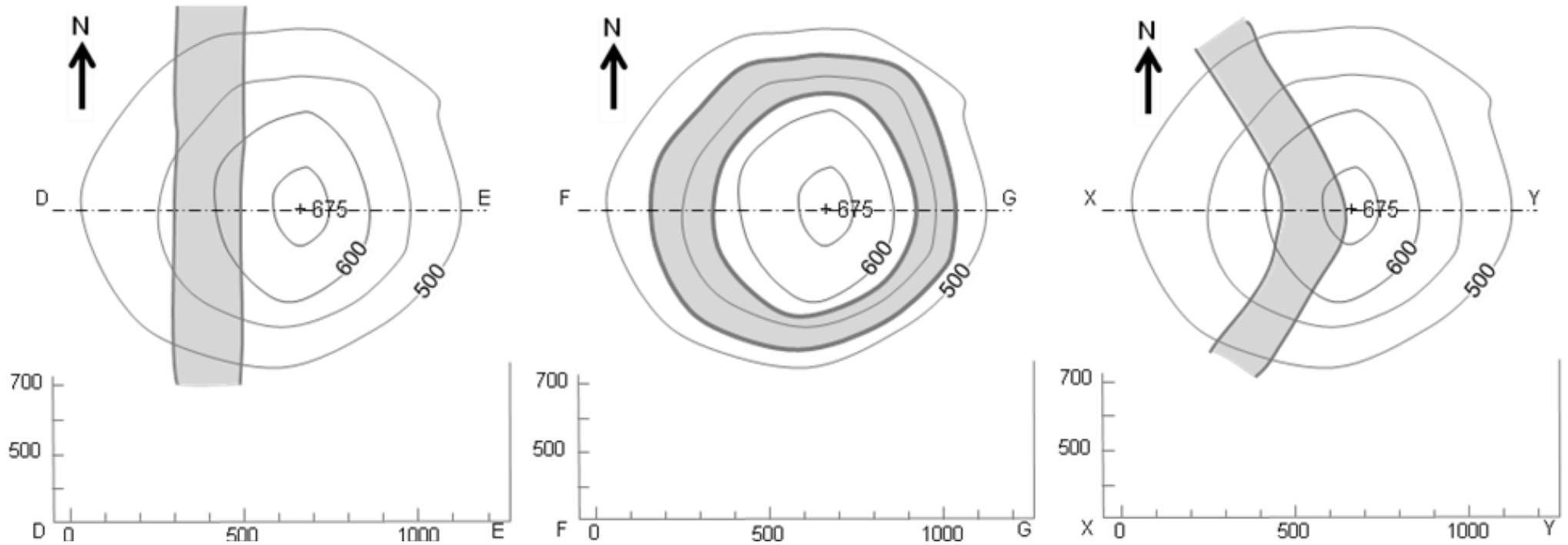
Déterminer l'azimut et le pendage de ce plan en construisant les isohypses du plan à différentes altitudes.



Partie 4 : Azimut, pendage et épaisseur d'une couche géologique

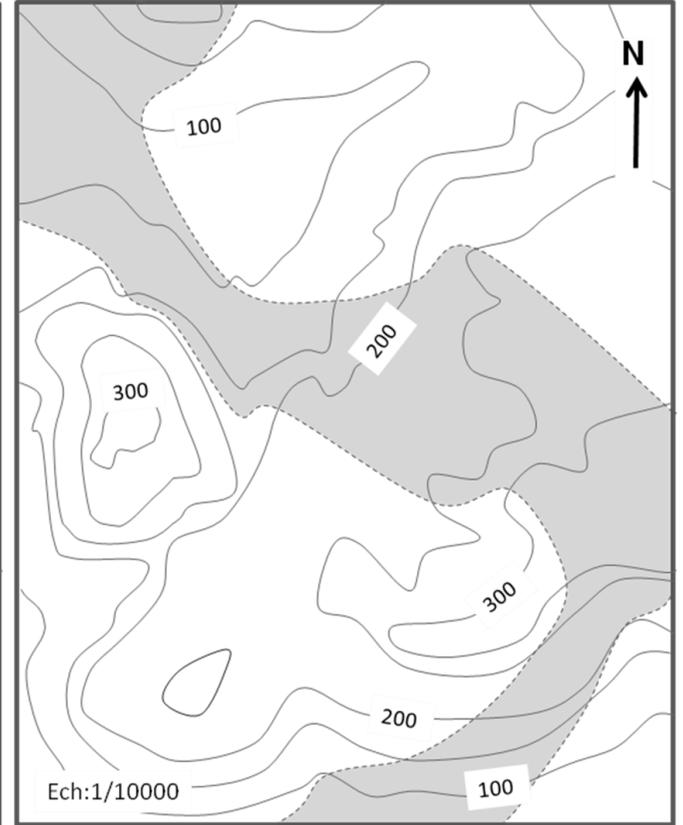
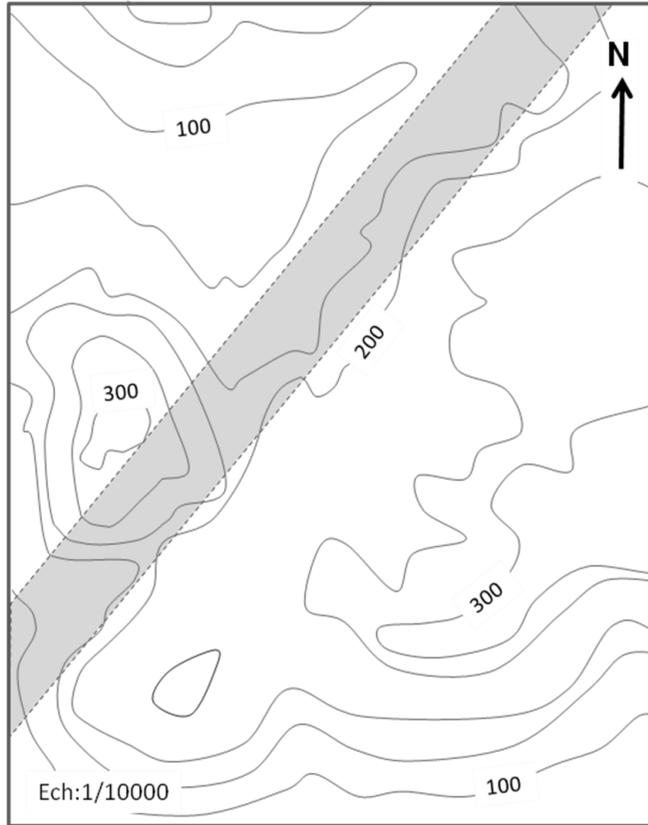
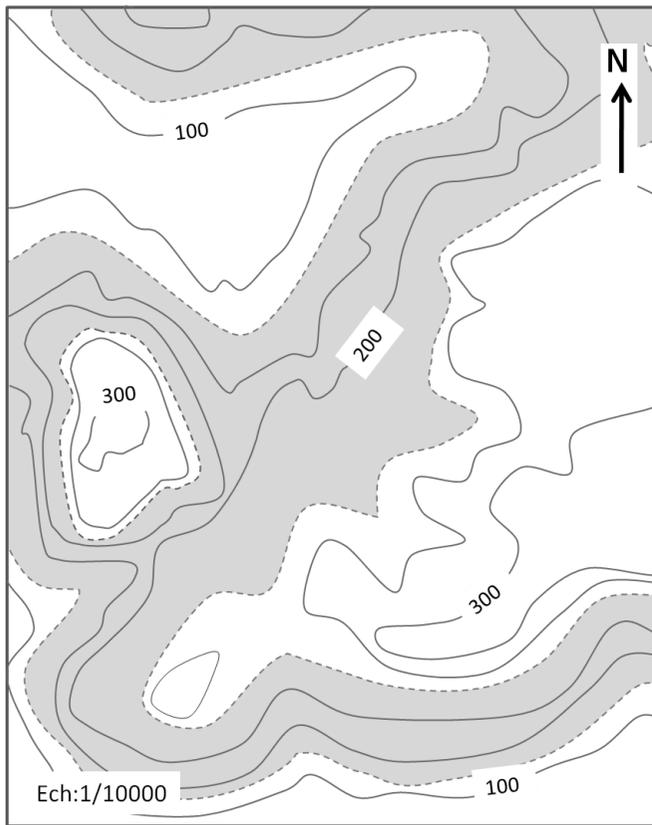
Exercice 1 :

Pour les trois situations suivantes (même relief mais géologie différente), déterminer l'azimut, le pendage et l'épaisseur de la couche grisée.
Tracer la coupe géologique correspondante sous chaque extrait de carte



Exercice 2:

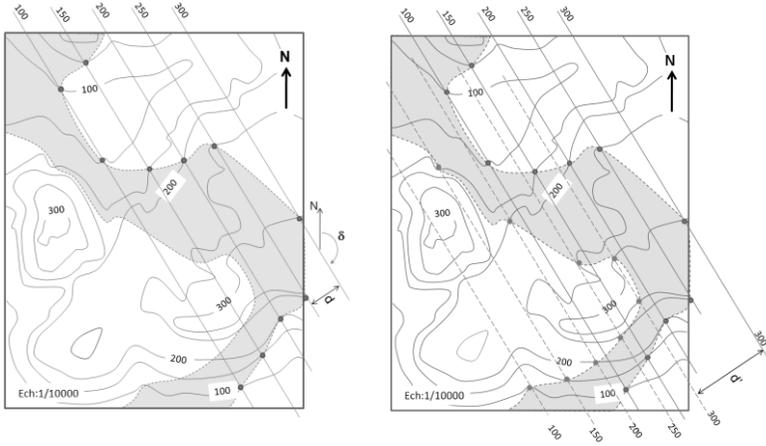
Pour les trois situations suivantes (même relief mais géologie différente), déterminer l'azimut, le pendage et l'épaisseur de la couche grisée.



Correction Exercice 2:

On traite chaque limite de couche comme surface plane indépendante.

- 1) On trace les isohypses en identifiant les intersections des courbes de niveau avec le contour géologique correspondant à l'une des limites de la couche (au choix). Le fait que les droites soient parallèles entre elles et d'espacement constant permet de vérifier qu'il s'agit bien d'un plan. On peut alors déterminer l'azimut par l'angle entre une isohypse et le nord (compté vers l'Est). La distance orthogonale entre deux isohypses permet de calculer le pendage : $\alpha = \arctg(h/d)$.
- 2) Le tracé des isohypses sur la deuxième limite de la couche permet de vérifier que les deux limites sont bien parallèles (isohypses parallèles et de même espacement). La distance séparant deux isohypses de même altitude et appartenant à chacune des limites (d') permet de calculer l'épaisseur de la couche : $ep = d' \cdot \sin \alpha$.

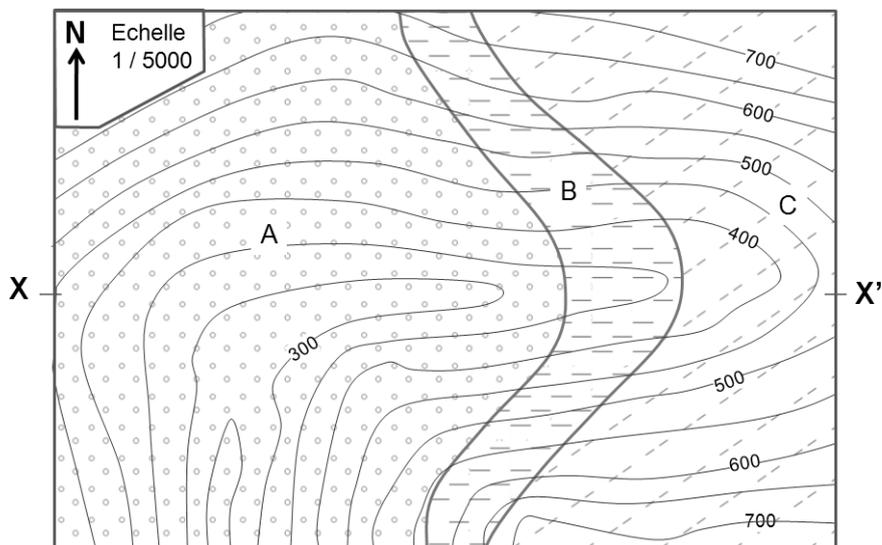


Partie 5 : Coupes géologiques

Exercice 1 :

A partir de la carte géologique suivante,

- Déterminer l'azimut le pendage et l'épaisseur de la couche B
- Réaliser la coupe X-X'
- Tracer sur cette coupe l'implantation d'un ouvrage autoroutier à l'altitude 300 m.
- Dans la partie souterraine, sur quelle longueur cet ouvrage traverse-t-il la couche B ?

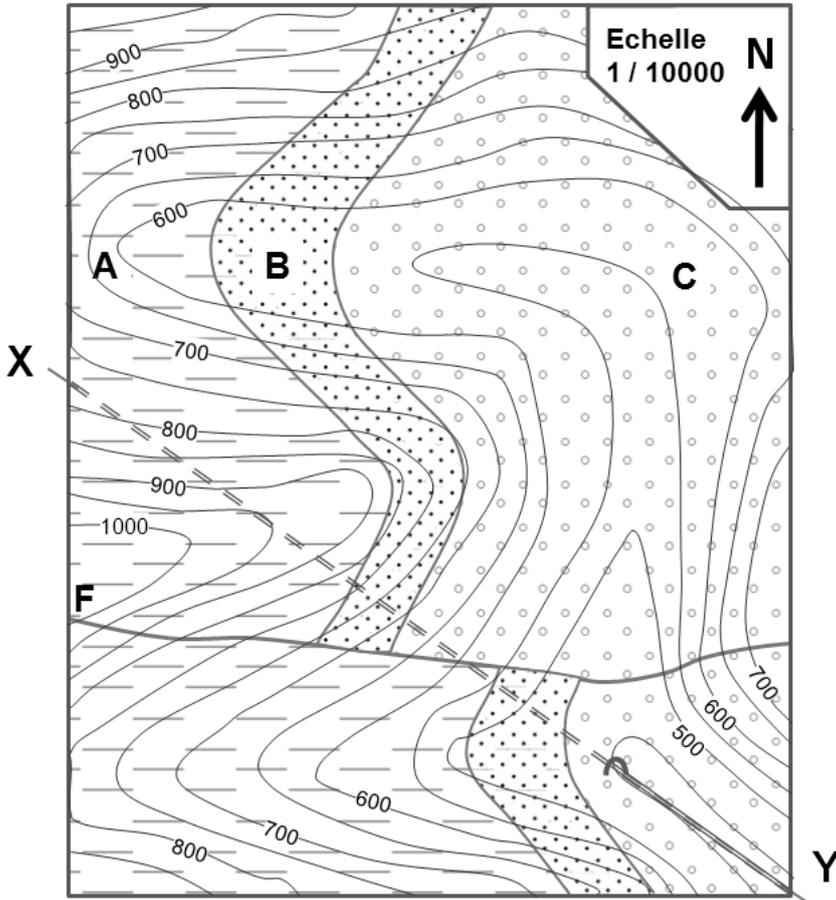


Exercice 2 :

A partir de la carte géologique ci-dessous :

- Déterminer l'azimut, le pendage et l'épaisseur de la couche B. Vérifier que la partie Sud de cette couche possède les mêmes caractéristiques que la partie Nord
- Déterminer l'azimut et le pendage de la faille F
- Réaliser la coupe géologique X-X'. Veillez à respecter le pendage apparent des couches et de la faille sachant que le plan de coupe n'est pas orthogonal à la direction de la couche.
- Déterminer le mouvement de la faille et son rejet dans le plan X-X'.

On envisage la construction d'un tunnel ferroviaire le long de la coupe X-X', d'altitude 450 m. Donner les éléments géologiques (couches, faille) rencontrés successivement depuis l'entrée du tunnel en précisant sur quelle longueur.



Exercice 3 : Coupe géologique de la Dent de Crolles

On vous fournit un extrait de Carte Géologique (1/50000, BRGM) dans le secteur de la dent de Crolles avec sa légende ainsi qu'une colonne stratigraphique du secteur. Réaliser une coupe géologique le long du tracé pointillé. Pour le profil topographique vous pouvez vous aider du travail réalisé à l'exercice 3 de la partie 2.

