

Denis Sorel, Pierre Vergély

Atlas **d'initiation aux cartes** **et coupes géologiques**

4^E ÉDITION

DUNOD

Illustrations de couverture :

En haut : Abstract 3d topographic map © shulz-iStock.com

En bas : extraits de la carte géologique de France © BRGM

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 1999, 2010, 2014, 2018

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

ISBN 978-2-10-078707-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

78284 - (I) CSB 135° - NOC - MGS

Dépôt légal : septembre 2018

Imprimé en France par Loire Offset Titoulet à Saint-Étienne

SOMMAIRE

Avant-propos	4
Introduction	5
1. La carte topographique	7
2. La carte géologique	13
3. Topographie et géologie	21
4. Les principales structures géologiques	37
5. Chronologie des événements géologiques	49
6. La télédétection en cartographie géologique	53
7. La coupe géologique	61
8. Le commentaire de carte	75
9. Études de cartes et coupes géologiques	81
Planche 9.0 La France géologique : carte au 1/1 000 000 ^e	81
Planche 9.1 Structure tabulaire : Millau (935)	82
Planche 9.2 Failles normales et Tectonique en extension : Molsheim (271), Bessèges (888)	84
Planche 9.3 Tectonique en extension, graben et volcanisme : Clermont-Ferrand (693)	86
Planche 9.4 Structure plissée simple : Lavelanet (1076)	88
Planche 9.5 Structure plissée de type jurassien : Pontarlier (557)	90
Planche 9.6 Plissements superposés : Sillé-le-Guillaume (321)	92
Planche 9.7 Plis et failles inverses : Chambéry (725)	94
Planche 9.8 Plis, chevauchements et décrochements : Domène (773)	96
Planche 9.9 Plis, Plis-failles et écaïlles : Séderon (916)	98
Planche 9.10 Tectonique d'écaïlle et de décollement : Saint-Chinian (1014)	100
Planche 9.11 Chevauchements : Grasse-Cannes (999)	102
Planche 9.12 Nappe : la Javie (918)	104
Planche 9.13 Failles décrochantes : Saint-Martin-de-Londres (963) et le Vigan (937)	106
Planche 9.14 Pli et failles inverses : Saint-Martin-de-Londres (963)	108
Planche 9.15 Structure polyphasée : les Alpilles (993) et Châteaurenard sud (966)	110
Planche 9.16 Tectonique d'écaïlles : Bédarieux (988)	112
Planche 9.17 Tectonique et nappes : Carcassonne (1037)	114
Planche 9.18 Ophiolite : Santo Pietro di Tenda (1106)	116
10. La lecture des cartes géologiques à petite échelle : avantages et inconvénients	119
Bibliographie	127
Index	128

AVANT-PROPOS

Cette quatrième édition reprend les chapitres de base des précédentes éditions indispensables à l'apprentissage de la lecture des cartes géologiques. Elle est complétée par un nouveau chapitre.

Pour illustrer ce dernier chapitre, des exemples ont été pris sur des cartes à petite échelle (1/10 000 000) représentant la géologie de vastes régions d'Amérique du Nord, d'Europe septentrionale et de Sibérie orientale. Dans le principe, la lecture de ces cartes diffère peu de celle des cartes à grande échelle (1/50 000 ou 1/25 000) mais elle apporte une vue synthétique des ensembles géologiques de grande dimension (chaîne de montagne, bassins sédimentaires, marges...). C'est l'occasion de voir que la lecture des cartes géologiques peut se faire sur des documents d'échelles très différentes dont la complémentarité est riche en information et source d'interprétations intéressantes permettant de relier le terrain (*sensu stricto*) à la géologie dynamique globale. On doit cette opportunité au travail de normalisation et d'homogénéisation des divers groupes internationaux de scientifiques qui œuvrent constamment dans ce sens.

Nous rappellerons que les coupes géologiques (quelle que soit l'échelle) présentées au chapitre 9 sont des interprétations faites à partir des règles géométriques des relations surface géologique/topographie et des données géologiques de terrain dont tout géologue sait que les défauts d'affleurement sont l'objet d'interprétation lors de la réalisation des cartes. D'autres interprétations sont donc possibles si des informations supplémentaires sont disponibles.

INTRODUCTION

La carte géologique régionale et la notice explicative qui l'accompagne sont aussi indispensables au géologue qui veut découvrir une région qu'une carte et un guide le sont pour le voyageur qui visite un pays. La carte géologique est un document que tout géologue doit savoir lire, utiliser et réaliser sur le terrain. Apprendre à lire une carte ou dessiner à partir d'elle une coupe géologique sont comme lire une partition et faire des gammes pour un musicien.

Il existe des cartes géologiques d'échelles variées. Certaines couvrent des continents entiers et sont utiles pour une vision à l'échelle de la tectonique globale. D'autres sont à l'échelle d'un pays, par exemple le millionième de la France dont une nouvelle édition vient de paraître. Il existe aussi des cartes régionales ; en France, les cartes régionales détaillées sont au 1/50 000, éditées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). Ces documents sont les plus utiles professionnellement, et cet ouvrage leur est plus spécialement adapté, bien que les principes et méthodes présentés soient valables pour des cartes à d'autres échelles.

La carte géologique est indispensable aux géologues de toutes spécialités, et dans des domaines aussi variés que les mines, le pétrole, le génie civil, l'hydrogéologie, l'agronomie, les risques naturels et l'environnement.

Sur cette simple feuille, d'usage pratique sur le terrain comme en salle, sont représentés les divers terrains qui affleurent en surface et leurs relations géométriques et chronologiques. Il faut savoir que la réalisation d'une seule carte représente des années de recherches minutieuses pour une équipe de spécialistes : sur le terrain bien sûr, mais aussi au laboratoire, en documentation et jusqu'à l'étape ultime de l'impression de la feuille.

La carte géologique est un document plan, en deux dimensions. La géologie y est superposée à un fond topographique précis, établi pour la France par l'IGN (Institut Géographique National), qui réalise et édite les diverses cartes topographiques de France. Sur le terrain, ce fond topographique permet de se localiser et de se diriger. En salle, il permet de se représenter le relief du secteur couvert par la carte, de réaliser le profil topographique précis d'une coupe géologique, et de visualiser la disposition des formations géologiques en volume. Une part de cet ouvrage présentera les manières de tirer parti des relations géométriques entre contours géologiques et topographie pour préciser les

structures en trois dimensions, ainsi que les relations entre structures et reliefs (géomorphologie structurale).

En marge de la carte, des cartouches colorés et indexés indiquent l'âge et parfois la nature des différents terrains. Sous la carte, un petit schéma des structures géologiques de la feuille (schéma structural) ou une coupe géologique représentative de la feuille aident parfois son abord.

Une notice géologique, fascicule d'une dizaine à une centaine de pages en général, est jointe à chaque carte. Elle apporte d'importantes informations complémentaires que la carte ne peut donner sur la nature des formations (lithologie), l'âge des terrains déterminé par leurs fossiles (paléontologie) ou par les datations radiométriques, les déformations des terrains (tectonique) et leur âge, l'hydrogéologie, les mines, les carrières et matériaux utiles, etc.

Le plan de l'ouvrage est le suivant :

- Les bases de ce qu'il faut savoir sur le fond topographique des cartes géologiques seront données d'abord ; elles permettront plus loin de tirer le meilleur parti pour la vision dans l'espace des relations entre les tracés des terrains et des accidents géologiques et le relief.

- La carte géologique sera présentée ensuite : c'est en effet un document riche en informations diverses, d'utilisation plus facile si l'on est familiarisé avec la codification des légendes, des couleurs et des indices identifiant les terrains, etc.

- La vision des terrains et des structures dans l'espace est essentielle au géologue. La troisième partie en est une initiation à partir de schémas, d'exemples simples et d'exercices d'applications, qui aideront à acquérir cette vision avant de l'appliquer aux vraies cartes géologiques.

- Cette vision locale des terrains dans l'espace permet de reconnaître à l'échelle de la carte des structures géologiques. Leurs caractères et un inventaire des principales structures géologiques sont donnés dans la quatrième partie.

- À partir de la disposition actuelle des terrains de différents âges et de leurs relations géométriques sur une carte, il est possible de reconstituer la chronologie des événements géologiques qui se sont succédés sur une région. Les méthodes d'observation et de raisonnement permettant d'établir cette chronologie géologique sont données dans la quatrième partie.

- La carte géologique permet de réaliser un document essentiel au géologue, la coupe géologique. Elle permet

de visualiser la disposition des terrains et leur structure en profondeur, dans un plan vertical. La sixième partie du livre donne la méthode pratique de construction graphique du profil topographique et de la coupe géologique.

– La dernière partie du livre montre l'application concrète des notions présentées à des exemples réels de cartes géologiques choisies en France. Sur chaque extrait de carte choisi pour illustrer des structures typiques (failles, plis, chevauchements, chronologie...) dans différents types de terrains est réalisée une coupe d'après les seules données de la carte. Un petit commentaire aide à tirer parti des points essentiels de la carte et de la coupe.

Cet ouvrage n'est qu'une initiation. Pour progresser, il y a bien sûr la pratique de l'étude des cartes et la réalisation de coupes. Mais il y a aussi le terrain : soit par les stages de cartographie géologique, essentiels dans la formation des étudiants géologues et de ceux qui se destinent à enseigner les sciences de la vie et de la Terre. Soit en se procurant auprès des enseignants, d'une bibliothèque, ou en librairie, la carte géologique de la région où l'on vit ou part en voyage ou en vacances.

Comme un morceau de musique, un paysage ne perd pas en beauté ni en poésie si l'on comprend comment il est composé !

LA CARTE TOPOGRAPHIQUE

1

CHAPITRE

1.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Sur une carte géologique détaillée, les limites des formations géologiques, les failles qui décalent les terrains et les autres éléments géologiques sont représentés en surimpression sur un **fond topographique**, qui permet de localiser les données géologiques dans le paysage de la région. Le fond topographique d'une carte géologique est basé sur une **carte topographique**, un peu simplifiée pour ne pas être trop chargée, tout en permettant de bien se localiser géographiquement et de reconnaître le relief de la région. La précision d'une carte géologique dépend en partie de celle des cartes topographiques que l'on utilise lors des levés sur le terrain. En France, les cartes topographiques réalisées par l'IGN (Institut Géographique National) sont très précises et détaillées. Toutefois dans certains pays où les affleurements sont rares et les cartes topographiques imprécises, la réalisation de cartes géologiques détaillées n'est pas chose aisée : les imprécisions lors du levé des cartes se répercutent dans leur utilisation ultérieure, notamment pour la réalisation de coupes géologiques précises.

a) La projection cartographique

Une carte topographique est la projection sur un plan horizontal, celui d'une feuille de papier, d'une partie de la surface du globe terrestre. Nous ne détaillerons pas ici les nombreux types de projection qui ont été élaborés pour les divers types de cartes, de la petite région à la Terre entière. Aucun n'est sans défaut, et son choix dépend surtout de la surface couverte par la carte et de l'usage de celle-ci. Ainsi, chacun a remarqué que les planisphères, qui couvrent l'ensemble du globe avec un réseau de méridiens (nord-sud) et de parallèles (est-ouest) orthogonaux présentent de fortes distorsions près des pôles, attribuant par exemple des surfaces démesurées au Groenland et à l'Antarctique.

Les petites surfaces des cartes géologiques de la France à l'échelle du 1/50 000 (un cinquante millième), qui couvrent environ 29 km sur 20, ne présentent pas de distorsion visible, et deux cartes voisines peuvent se juxtaposer sans décalage. La projection utilisée pour ces cartes et les cartes topographiques au 1/25 000 de l'IGN est de type **Lambert conique conforme**. Nous reviendrons sur ce qu'est l'échelle d'une carte.

Cette première opération de la cartographie, qui transforme par une projection accompagnée parfois de modifications mathématiques les points de la surface terrestre (quasi-sphérique) définis par leur latitude (nord-sud) et leur longitude (est-ouest) en points sur la carte (plane), s'appelle la **planimétrie**. La seconde opération, l'**orographie**, est la représentation sur la carte de l'altitude de ces points, c'est-à-dire du relief, ou **topographie**.

Pour que la géologie soit plus lisible, nous verrons plus loin comment le fond topographique est simplifié sur les cartes géologiques. Disons d'abord quelques mots des cartes topographiques détaillées (au 1/25 000 par exemple) qui constituent de bons fonds topographiques pour faire des levés géologiques.

La géodésie

La **géodésie** consiste à repérer très précisément les uns par rapport aux autres des points de la surface terrestre matérialisés sur le terrain (**points géodésiques**). Les angles et les distances entre ces points, disposés en un réseau de triangles, sont mesurés optiquement avec une précision de l'ordre du centimètre pour dix kilomètres : cette opération, la **planimétrie**, est réalisée par **triangulation**.

L'altitude de ces points est établie au centimètre près par des mesures de **nivellement**. En France, les altitudes sont calées par rapport au niveau de la mer, et ce niveau zéro de référence est défini à Marseille.

Réalisation de la carte topographique

Les cartes topographiques ne sont plus réalisées par des observations sur le terrain, longues et coûteuses. Elles sont réalisées à partir de photographies aériennes verticales prises par les avions de l'IGN, par un procédé dit de **restitution**. L'appareil survole le secteur de la mission en faisant des allers-retours selon des bandes Est-Ouest. Deux photos successives se recouvrent de près des deux tiers, ce qui permet d'observer le relief par **stéréoscopie**. Un appareil optique, le **restituteur**, permet de repérer sur les photos des points de même altitude et ainsi de tracer les courbes de niveau.

Ce qui ne peut être observé sur les photos (chemins en forêt, positions de sources) ni de nature bien déterminée (maison ou bergerie, nature des routes...) est ensuite précisé par des missions complémentaires sur le terrain, avant l'achèvement et l'impression de la carte topographique.

b) Principaux éléments représentés sur les cartes topographiques

La planimétrie

Les **éléments d'origine humaine**, agglomérations, constructions, voies de communication, lignes électriques, etc. sont représentés en noir. La couleur des routes, jaune ou rouge, dépend de leur importance. La largeur des routes est exagérée car elles ne seraient pas visibles représentées à l'échelle. La **toponymie** (noms de lieux) est en noir.

L'**hydrographie** : cours d'eau, lacs, sources... est figurée en bleu.

La **végétation** est en vert.

Des **symboles** variés figurent sur les cartes topographiques, signalant des points de repère. Ce sont des constructions (chapelles, mégalithes, bâtiments divers, ruines, points géodésiques, etc.), mais aussi des points naturels tels que sources ou gouffres. La légende des cartes précise la nature de ces symboles.

L'orographie

Le relief est figuré par des **courbes de niveau** de couleur bistre. Nous reviendrons en détail sur ces lignes horizontales, parfois appelées **isohypses** car tous leurs points ont la même altitude. Localement, un chiffre indique l'altitude de certaines courbes de niveau (fig. 1.1).

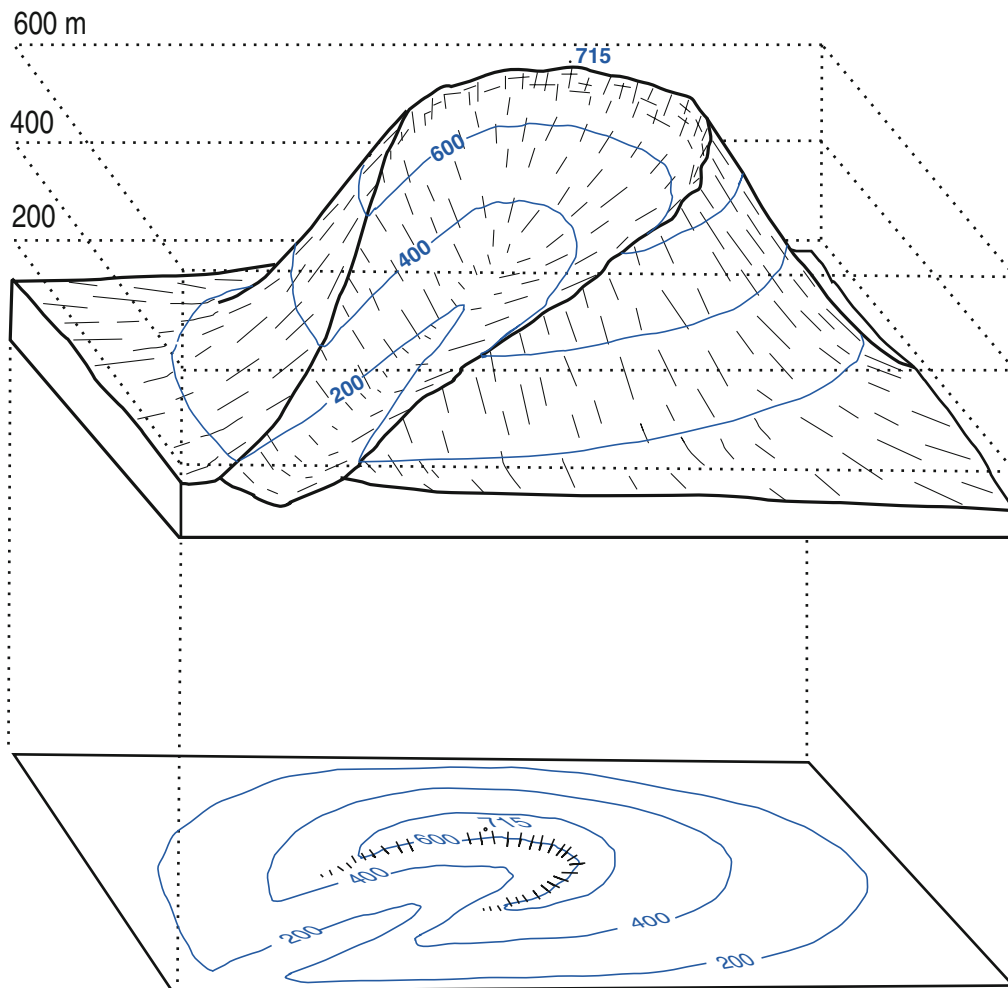


Figure 1.1 Les courbes de niveau : sur le volcan éguéulé représenté sur le bloc diagramme sont représentées trois lignes horizontales de 200, 400 et 600 mètres d'altitude, correspondant à l'intersection de ce relief par les trois plans de mêmes altitudes. Ces lignes, projetées sur la carte au dessous, constituent des courbes de niveau. La différence d'altitude entre deux courbes, ou équidistance, est de 200 mètres. Le point coté 715 mètres correspond au sommet du volcan.

Les **points cotés** sont des points remarquables, faciles à trouver dans la nature, dont l'altitude est donnée sur la carte (fig. 1.1). Ce sont souvent des sommets, des croisements de routes, des ponts, etc.

Sur les cartes topographiques, l'impression de relief est accentuée par un ombrage ; il correspond par convention à un éclairage oblique venant du nord-ouest, incidence habituelle d'une lampe de bureau, mais que paradoxalement le soleil ne présente jamais sous nos latitudes.

c) La simplification du fond topographique pour la carte géologique

Sur les cartes géologiques, chaque formation géologique est représentée par une couleur. Pour ne pas altérer ces couleurs, le fond topographique est simplifié : le vert de la végétation et l'ombrage des reliefs sont supprimés, mais l'hydrographie reste néanmoins figurée en bleu.

Les routes sont en couleur bistre, comme les courbes de niveau. Les agglomérations, les bâtiments et la toponymie sont en brun foncé. Les symboles d'édifices et d'autres points particuliers sont enlevés, mais les points cotés utiles sont conservés.

1.2 L'ÉCHELLE D'UNE CARTE

a) Échelle numérique

L'échelle e d'une carte est le rapport entre une distance d sur la carte et la distance correspondante réelle D sur le terrain :

$$e = d/D$$

Par exemple, si deux points distants de 1 cm sur la carte sont espacés de 500 mètres (50 000 cm) sur le terrain, $e = 1/50\,000$. La carte est à l'échelle du **cinquante millième**. C'est l'échelle des cartes géologiques détaillées de la France publiées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Des échelles de cartes d'usage courant sont par exemple :

- 1/25 000, 1 cm pour 250 mètres, pour les cartes topographiques détaillées (série bleue, Top 25) de l'IGN ;
- 1/100 000, 1 cm pour 1 km, pour les cartes de la série verte de l'IGN ;
- 1/200 000, 1 cm pour 2 km, pour les cartes routières Michelin ;
- 1/1 000 000, 1 cm pour 10 km, pour la carte géologique en une feuille de la France du BRGM.

L'échelle ainsi donnée sous forme d'un rapport de nombres est dite **échelle numérique**.

Contrairement à ce que laisse penser l'expression « travailler à grande échelle », une carte locale, au 1/25 000, est à une échelle plus grande qu'une carte au millionième, bien que celle-ci couvre une plus vaste surface.

Le fond topographique des cartes géologiques détaillées de la France est à l'échelle du 1/50 000. Les cartes topographiques de l'IGN à cette échelle ne sont plus diffusées dans le commerce. Elles sont remplacées par les cartes au

1/25 000 (série bleue, ou Top 25) ; pour des régions plus vastes existent les cartes au 1/100 000 et au 1/250 000.

b) Échelle graphique

L'échelle d'une carte, d'une coupe, d'une figure, d'un dessin ou autre document peut aussi être donnée sous **forme graphique** : on trace un segment gradué, subdivisé en kilomètres, en hectomètres, ou moins encore pour une figure d'affleurement sur le terrain. *Cette échelle graphique est recommandée pour les coupes géologiques, car elle visualise immédiatement les dimensions.*

En outre, la photocopie, la rétroprojection, la vidéo, la photographie et d'autres techniques permettent d'agrandir ou réduire la taille des documents. L'échelle graphique reste alors exacte, car sa taille est modifiée comme celle du document.

c) Orientation et localisation

Les bords latéraux de la carte sont parallèles aux méridiens terrestres et indiquent le nord géographique. Le nord magnétique, donné par une boussole, n'en diffère pas de plus de quelques degrés en France.

Sur les bords de la carte figurent les amorces des méridiens (longitude) et des parallèles (latitude) terrestres ; ils sont utiles pour donner la localisation précise d'un point géologique important.

Nous verrons que l'orientation d'une coupe géologique doit être donnée par des lettres placées au-dessus de ses deux extrémités ; cette rose des vents (fig. 1.2) rappelle les lettres des orientations usuelles.

1.3 LA REPRÉSENTATION DU RELIEF

a) Représentation en hachures

Figurer le relief était déjà une préoccupation sur les plus anciennes cartes et mappemondes. Même une esquisse simpliste et inexacte des chaînes de montagnes valait mieux qu'une fausse idée de platitude des pays. Sur la première carte topographique détaillée de la France, la carte d'état-major au 1/80 000, puis sur des cartes au 1/50 000 (fig. 1.3), le relief était représenté par des bandes de petits traits, ou hachures, d'altitude constante. Les hachures étaient d'autant plus courtes et serrées que les pentes sont fortes. Mais cette multitude de traits gravés chargeait beaucoup les cartes et n'était pas de lecture précise. Les hachures furent remplacées par des courbes de niveau, fond plus précis et moins chargé, bien que moins directement expressif.

b) La représentation du relief en courbes de niveau

Sur les cartes topographiques et sur les cartes géologiques au 1/50 000, le relief est figuré par des courbes de niveau. Une courbe de niveau représente l'intersection du relief par un plan horizontal (fig. 1.1). Tous les points d'une courbe de niveau

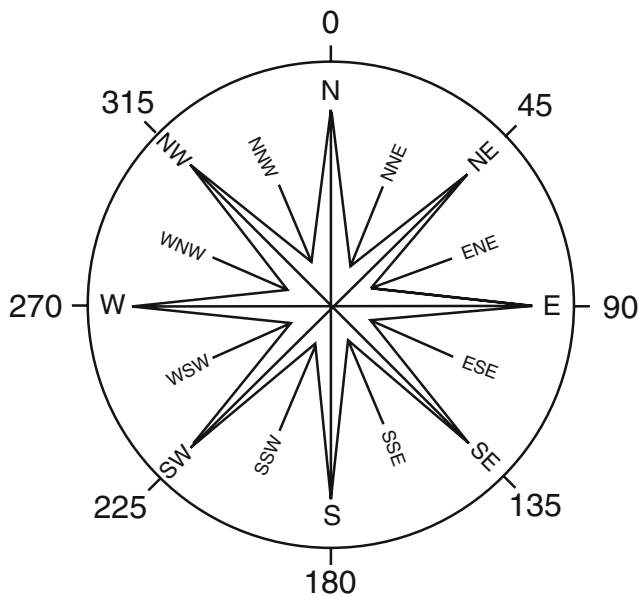


Figure 1.2 Rose des vents servant à orienter des droites horizontales (limite géologique, faille, axe de pli, trait de coupe). On indique l'orientation des deux extrémités de la ligne : N-S, NNE-SSW.

ont la même altitude. La différence d'altitude entre deux courbes de niveau normales successives est dite **équidistance**. Elle est de 10 mètres dans les régions de faible relief, et de 20 mètres en montagne. Tous les 50 mètres (ou 100 mètres en montagne) des **courbes maîtresses** sont figurées par un trait plus épais dont l'altitude est indiquée par un chiffre. Dans des paysages plats des **courbes intercalaires**, tous les cinq mètres, peuvent être ajoutées en trait tireté.

c) Les pentes du relief

La distance horizontale, **écartement** ou **espacement**, entre deux courbes de niveau sur la carte, à ne pas confondre avec l'équidistance (verticale) vue ci-dessus, permet d'apprécier et de calculer la pente du relief ou **pente topographique** : plus les courbes sont espacées, plus il faut parcourir une grande distance pour monter ou descendre de la hauteur d'une équidistance : la pente est faible. Inversement, plus les courbes de niveau sont serrées, plus la pente est forte.

Sur la figure 1.4 (coupe « a »), si h est la différence de hauteur (dénivelée) entre deux points espacés d'une distance d sur la carte (distance horizontale), l'angle α de la pente est donné par :

$$h/d = \operatorname{tg} \alpha.$$

Un écartement constant des courbes de niveau indique une pente constante. Le versant est **régulier**. C'est le cas de versants peu érodés de certains volcans constitués de blocs

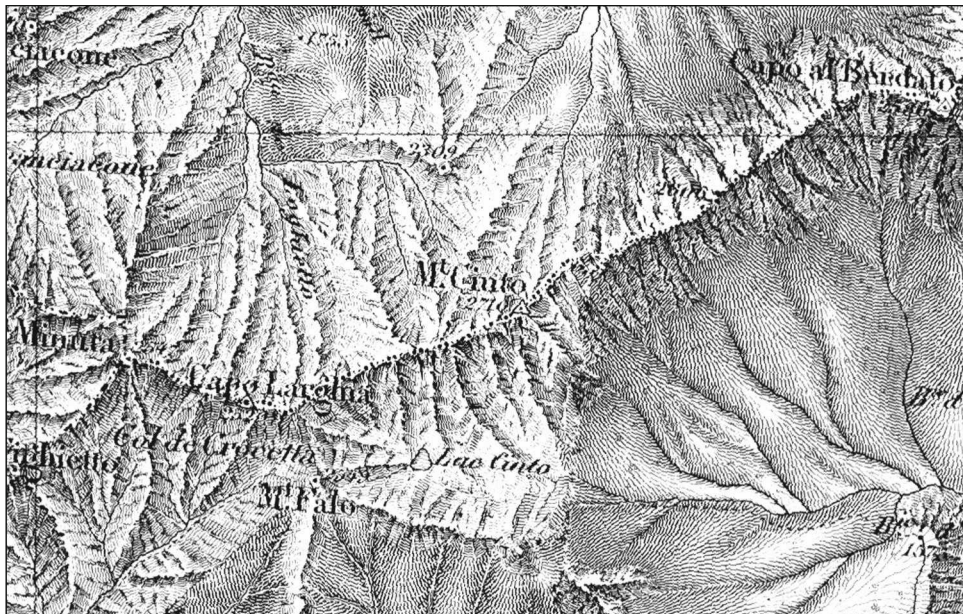


Figure 1.3 Extrait de carte topographique en hachure au 1/50 000, feuille Galeria, Corse. Les hachures et les figurés de rochers rendent bien le relief. Mais hormis les rares points cotés, il est difficile de connaître l'altitude précise d'un point de la carte, et donc de réaliser des profils topographiques précis sur ce type de carte.