Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

ACADÉMIE DE RENNES
Liberté Égalité Fraternité

Région BRETAGNE

lycée Chateaubriand

Lycée François-René DE CHATEAUBRIAND
136 BOULEVARD DE VITRÉ, CS 10637
35706 RENNES CEDEX 7
CLASSE PRÉPARATOIRE BCPST 1C
Biologie Chimie Physique Sciences de la Terre

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA TERRE °°
>> Cours <<

Chapitre 20

La carte géologique et ses utilisations

Objectifs : extraits du programme

ST-A La carte géologique et ses utilisations (BCPST 1)

La carte géologique permet une reconstitution tri-dimensionnelle des terrains, essentielle pour la construction d'une histoire géologique. Elle fournit de façon synthétique de nombreuses informations (ressources, risques, etc.). La carte géologique est à comprendre comme un modèle reflétant notre connaissance de la géologie, de son histoire et donc des processus géodynamiques sous-jacents. Elle constitue un outil fondamental de la géologie, une base pour la prise de décision au niveau des politiques publiques mais aussi un résultat scientifique à part entière résultant d'une démarche scientifique. Cette partie est l'occasion d'aborder différentes utilisations des cartes géologiques ainsi que la méthode de réalisation de coupes géologiques et de schémas structuraux. Il s'agit également de présenter les principaux types de roches dans leur cadre géologique.

Savoirs visés	Capacités exigibles
Une carte géologique est une représentation de la nature, de la géométrie et de l'âge des roches à l'affleurement. Elle représente l'intersection d'un agencement à trois dimensions avec la surface topographique. Elle résulte de l'exploitation et de l'interprétation de diverses données (levers de terrain, photographies aériennes, forages, etc.). Elle représente un modèle de l'état des connaissances au moment de sa réalisation. Les modèles numériques de terrain (MNT) utilisés dans des systèmes d'informations géographiques (SIG) permettent de corréler des informations géologiques géoréférencées et permettent de produire et de visualiser des cartes topographiques et des cartes thématiques. Les cartes géologiques de la France apportent des informations complémentaires à différentes échelles. La carte de France au 1/1 000 000 permet de visualiser des grands ensembles géologiques : chaînes de montagnes, bassins sédimentaires.	- Réaliser une coupe géologique à main levée en partant de profils topographiques fournis. - Exploiter les informations visibles sur une carte pour établir une histoire régionale simplifiée. - Réaliser un schéma structural simple sur les cartes au 1/50 000). -Repérer les indices d'exploitation par l'être humain (forage, mines, carrières). - Identifier les caractéristiques d'un bassin sédimentaire sur la carte de France au 1/1 000 000. - Identifier quelques roches de la lithosphère : roches magmatiques, roches sédimentaires, roches métamorphiques et péridotites, par une analyse macroscopique raisonnée et par l'étude de lames minces. - Exploiter des données issues de documents (cartes, données géophysiques et sédimentologiques) permettant de comprendre l'origine et l'histoire géodynamique (dont la subsidence) d'un bassin sédimentaire (Bassin parisien). - Réaliser une coupe globale à main levée à partir de la carte au 1/1 000 000. - Repérer cartographiquement des discordances.

Précisions et limites :
L'étude de la carte géologique est l'occasion de développer la capacité des élèves à reconstituer une structure en trois dimensions à partir de sa représentation en deux dimensions. Tous les objets géologiques peuvent être utilisés pour cela : couches, failles, filons, plis, plutons. L'approche de la carte de France au 1/1 000 000 en première année est limitée à une familiarisation avec ses spécificités et avec sa légende. Les ensembles structuraux visibles sur la carte de France au 1/1 000 000 sont développés en seconde année.
Les notions de cette partie sont entièrement traitées dans le cadre des TP. La réalisation de schémas structuraux est réalisée dès la première année. L'utilisation des cartes thématiques est également réinvestie dans l'étude des grands ensembles géologiques en deuxième année.
L'exploitation de cartes géophysiques ne donne pas lieu à des développements sur les aspects fondamentaux de la gravimétrie et du magnétisme.
Concernant les bassins sédimentaires, on s'appuie sur le Bassin parisien comme exemple. Cependant, la connaissance de la chronologie des évènements qui ont jalonné le remplissage sédimentaire du Bassin parisien n'est pas au programme.
Une première approche des roches permet :
- d'identifier basaltes, gabbros, granites, calcaires, grès, micaschistes, gneiss et péridotites ;
- d'identifier quelques minéraux : olivine, feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite), amphiboles, pyroxènes, grenat, calcite.
Sur les clichés de lames minces exploitables lors d'exercices, les minéraux sont légendés.

Liens :
Le phénomène sédimentaire (ST-E)
Les grands ensembles géologiques (ST-J) Le magmatisme (ST-F)
Le métamorphisme (ST-G) Activités de terrain

Introduction

Une **carte** est une ***représentation plane d'une portion (ou de la totalité) de la surface de la planète***. Elle est un **outil fondamental** des **géographes** et des **géologues** qui en sont à la fois les **producteurs** et des **utilisateurs**.

Qu'est-ce que l'échelle d'une carte ?

L'**échelle** d'une **carte** est le ***rapport entre la taille des objets représentés et leur taille réelle***.

Exemple : une **carte au 1/50 000** signifie qu'**1 cm** sur la carte vaut **50 000 cm** en réalité, soit **500 m**.

*(!) Même si c'est **contre-intuitif**, **plus l'échelle d'une carte est petite, plus les objets représentés sont de taille importante et peu détaillés** ! Ainsi, l'échelle du **millionième** (1/1 000 000) est **plus petite** que l'échelle du **cinquante-millième** (1/50 0000).*

Comme ce TP-cours nécessite **pas mal d'outils théoriques**, seules quelques **activités** sont proposées dans cet **énoncé**, après un **exposé complet** des **notions utiles**, mais des **exercices complémentaires** seront proposés.

Comment l'étude de cartes géologiques nous permet-elle de comprendre l'organisation des terrains et l'histoire géologique d'une région ?

On trouvera en libre accès les cartes du BRGM au format numérique :
http://infoterre.brgm.fr/page/cartes-geologiques

Encadré A La projection en cartographie

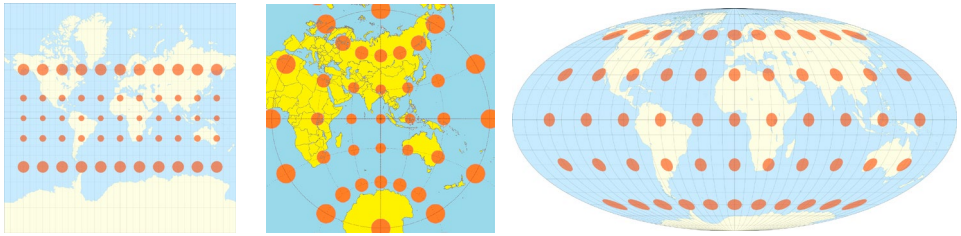
Notion de projection cartographique

➢ La **projection cartographique** consiste à ***projeter sur une surface plane une surface non plane comme la surface de la Terre de manière à obtenir une représentation plane, la carte, de l'objet projeté***.
➢ Cet **exercice** modifie nécessairement **l'objet d'origine** : il y a donc forcément **distorsion**.
➢ Des **systèmes variés de projection** existent, avec leurs **avantages** et leurs **inconvénients**, et passer **d'un système à un autre** pouvait être **jadis complexe** calculatoirement et graphiquement ; aujourd'hui, **l'outil informatique** permet aujourd'hui de **traiter** et **convertir** des **données géographiques** rapidement.
➢ Les **relevés de terrains** jadis indispensables sont par ailleurs aujourd'hui **secondés** voire **supplantés** par les **mesures satellitales**.

Typologie de projections cartographiques selon la conservation

➢ On peut distinguer, selon la nature des **caractères géométriques conservés** :
- La **projection équivalente** qui ***conserve les aires*** ; on l'utilise notamment pour des **atlas** afin de **respecter les surfaces relatives** des différents pays.
- La **projection conforme** qui ***conserve localement les angles, donc les formes*** ; c'est le type de projection utilisé dans les **cartes topographiques** (cartes topographiques de l'IGN, cartes géologiques du BRGM, cartes marines…), correspondant aux objets que nous allons surtout étudier.
- La **projection aphylactique** qui n'est ***ni conforme ni équivalente*** ; elle est alors souvent **équidistante**, c'est-à-dire qu'elle ***conserve les distances sur les méridiens***. Elle servait dans des représentations cartographiques **anciennes** mais est **aujourd'hui plutôt rare**.

L'**indicatrice de Tissot** (figure a) est une ***forme géométrique (cercle ou ellipse), représentée de manière itérative sur une carte, utilisée pour visualiser la déformation dans une projection cartographique***.

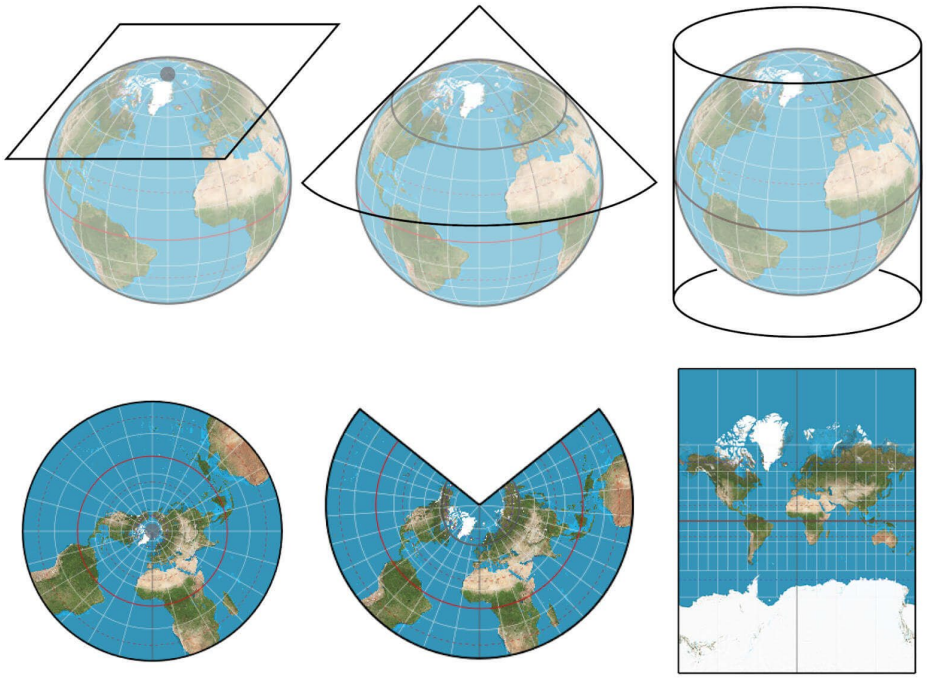


Projection de Mercator **Projection stéréographique** **Projection de Mollweide**

Figure a. Indicatrice de Tissot dans trois systèmes de projections.
D'après *Wikipédia* (janvier 2022)

Typologie de projections cartographiques selon la conservation

➢ On peut distinguer, selon la nature du **canevas de projection utilisé** (figure b) :
- La **projection cylindrique** correspondant à une ***projection sur un cylindre d'axe nord-sud***.
  Exemples : **projection de Mercator** (conforme) très utilisée pour les **cartes mondiales**
- La **projection conique** correspondant à une ***projection sur un cône de sommet situé sur l'axe nord-sud de la planète***.
  Exemple : **projection conique de Lambert** (conforme) très utilisée par les **cartes françaises**
- La **projection azimutale** correspondant à une ***projection sur un plan tangent en un point à l'objet représenté*** ; la **plus courante** des projections azimutales est la **projection stéréographique** où ***le point de perspective est placé sur le diamètre perpendiculaire au plan de projection***.
  La **projection stéréographique polaire** est par exemple employée pour dessiner des **planisphères centrés sur les pôles**.



Projection stéréographique polaire **Projection conique** **Projection cylindrique**

Figure b. Types de projections selon le canevas. D'après *Aquaportail.com* (janvier 2022)

I. La carte géologique : modalités d'élaboration et contenus

A. L'élaboration d'une carte géologique

- Une **carte géologique** (figure 1) est élaborée à partir de :
  - **Données cartographiques** de nature **géographique** (topographie, toponymie…) souvent antérieures.
    En France, c'est l'**IGN** (**Institut Géographique National**) qui assure officiellement la **cartographie du territoire**.
  - **Relevés de terrain** et observations **à l'affleurement** (parfois permises grâce à des carrières, des travaux…)
  - **Forages**
  - Analyses de **laboratoire** (par exemple : études pétrographiques ou géochimiques de roches prélevées sur le terrain)
  - **Publications scientifiques**
  - **Données sismiques** ou **diagraphiques** éventuelles
  - **Photographies aériennes** ou **satellitales**…
- La **synthèse** et l'**extrapolation** de ces **données** permet *in fine*, moyennant quelques compétences, la production d'une **carte géologique**.

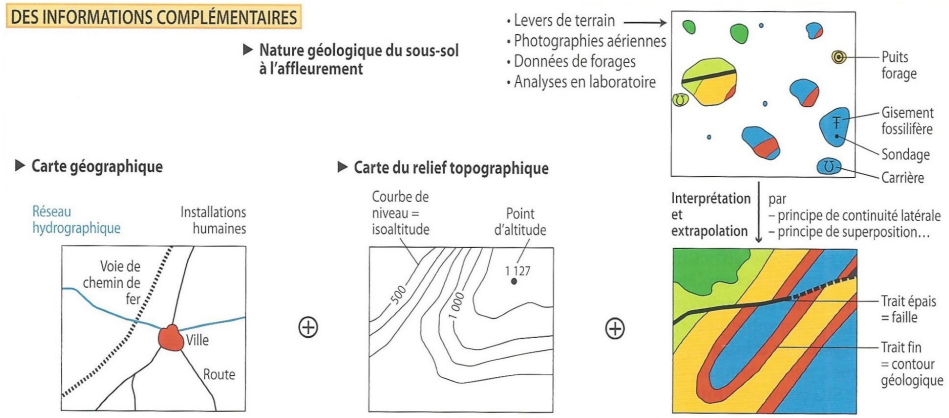


FIGURE 1. La carte géologique, une synthèse de données. D'après BORDI *et al.* (2018).

B. La diversité des informations présentes

- On pourra se reporter aux figure 2-3 pour une vue d'ensemble.

1. Les informations géographiques et toponymiques [marron sombre]

- Le « **fond de carte** » (= ***ensemble d'éléments déjà cartographiés sur lesquels on base un nouveau travail cartographique, ici la cartographique géologique***) est comprend :
  - Sur le côté, des **coordonnées géographiques**, les **cartes alentour**… [marron sombre]

LA CARTE GÉOLOGIQUE AU 1/50 000 : UN DOCUMENT DE SYNTHÈSE

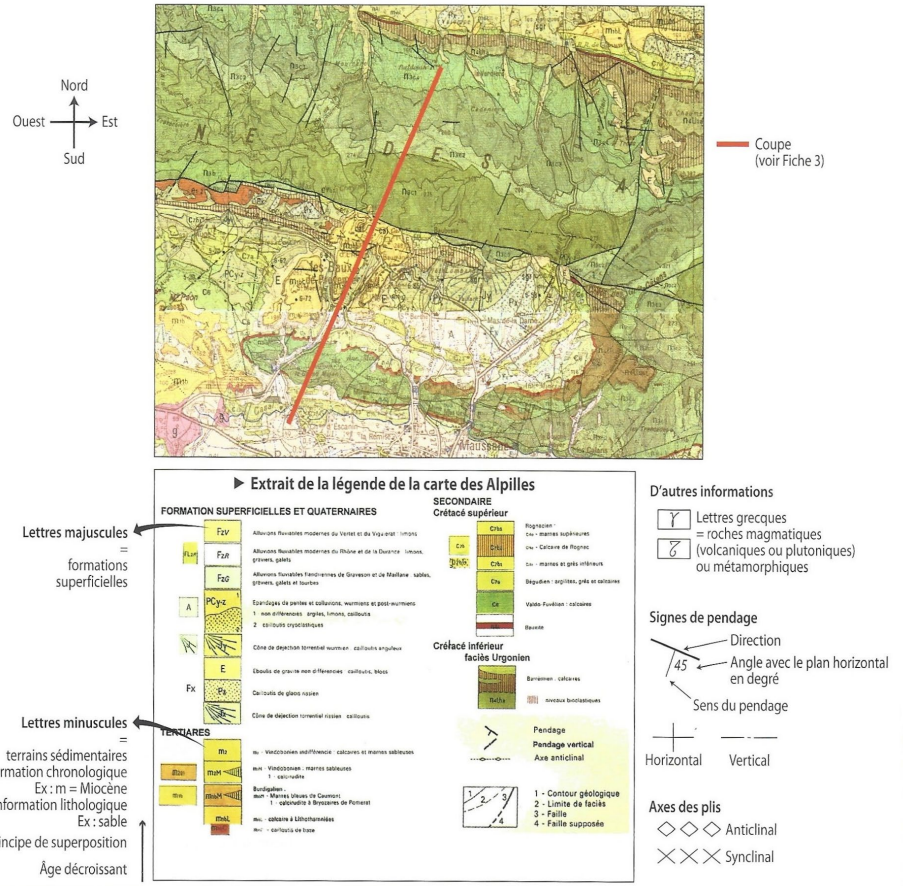


FIGURE 2. Les principales données d'une carte géologique. D'après BORDI *et al.* (2018).

Les **coordonnées géographiques** comprennent (figure 4) :
- La **latitude** (***angle entre la droite passant par la position d'un point sur la Terre et le centre de la Terre d'une part, et le plan de l'équateur d'autre part***)
- La **longitude** (***angle entre la droite passant par la position d'un point sur la Terre et l'axe de la Terre d'une part, et le méridien de GREENWICH d'autre part, le tout étant considéré dans un plan parallèle à l'équateur***).
- L'**altitude** (*cf.* 2).

  - Les **bâtiments / constructions*** ainsi que le ***nom des principales localités*** (= **toponymie**) [marron sombre].
  - L'hydrographie (= ***cours d'eau et plans d'eau***) [bleu].

* Beaucoup de cartes ayant plusieurs décennies, ce type d'information n'est pas forcément à jour…

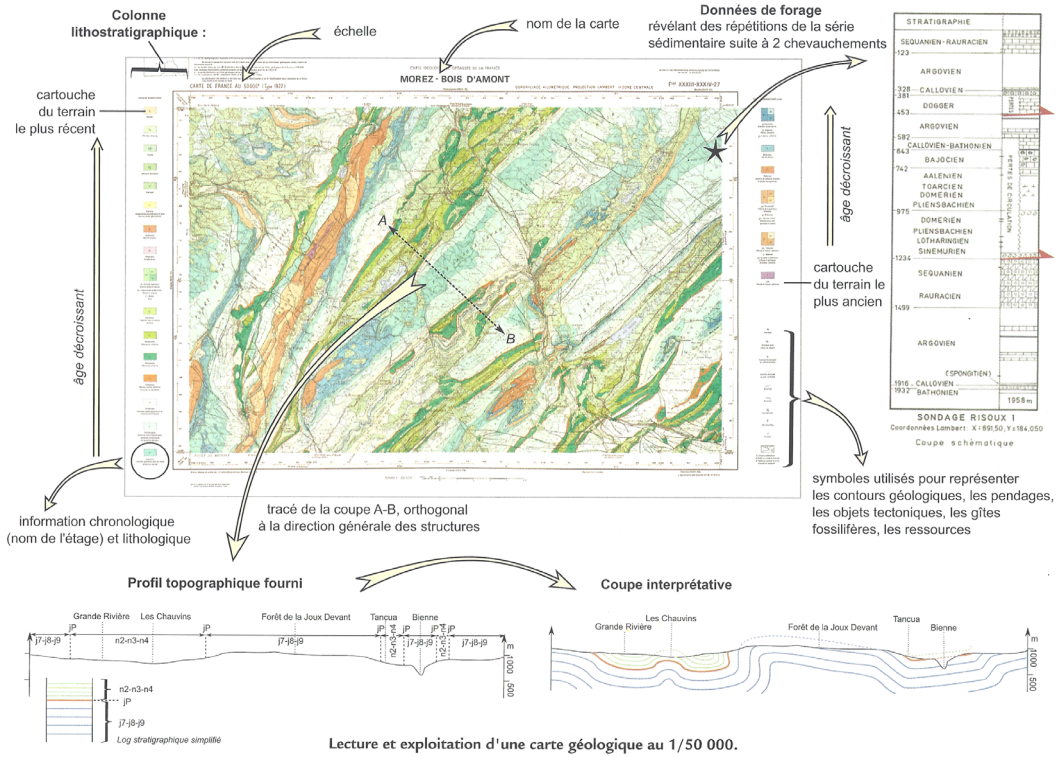


FIGURE 3. Lecture et exploitation d'une carte géologique. D'après PEYCRU *et al.* (2015).

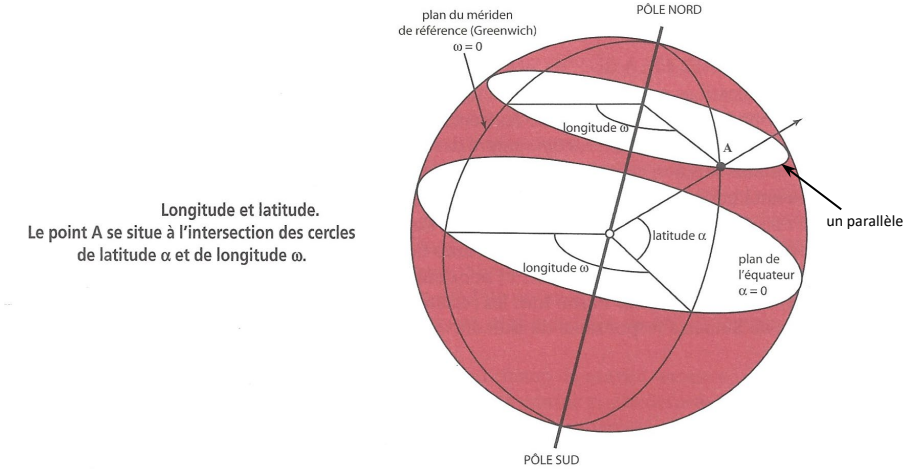


FIGURE 4. Latitude et longitude. D'après EMMANUEL *et al.* (2007).

2. L'information topographique (= altitudinale) : les courbes de niveaux [bistre]

- Les ***informations relatives au relief*** (= topographie) sont représentées :
  - Par **quelques points** dont la **côté** (**altitude** en m) est indiquée en **noir** ;
  - Par des **courbes de niveaux (= isohypses)** (figure 5) qui sont des ***courbes reliant des points ayant même altitude*** [**trait fin** de couleur **bistre**, une espèce de ***marron-beige orangé***].
- Sur les **cartes géologiques françaises au cinquante-millième**, les **courbes de niveau** sont généralement représentées **tous les 10 m**.
- ***Plus l'espacement est important, plus les variations de relief sont faibles*** (et inversement si l'espacement est faible). Avec un peu d'entraînement, on saura rapidement **repérer la nature du relief** avec les **courbes de niveau**.

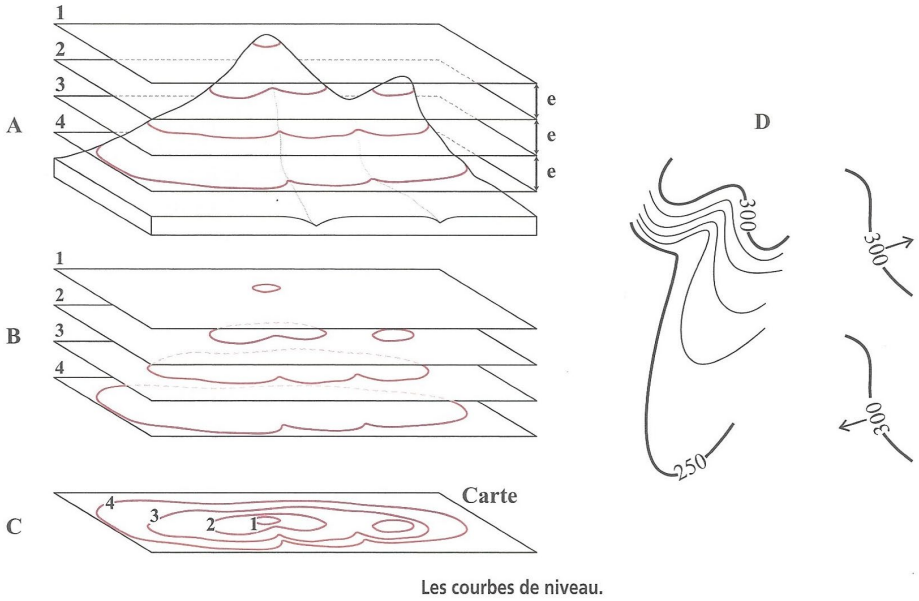


FIGURE 5. Les courbes de niveaux. D'après EMMANUEL *et al.* (2007).

3. Les informations géologiques [noir et trames]

- Les **informations géologiques** sont extrêmement **variées** (figures 2-3).

a. La lithologie (nature des roches) et la stratigraphie (organisation géométrique des couches géologiques)

α. Nature et âge des roches

- Chaque **type de roches** est représenté sur la **carte géologique** par une **trame de couleur**.

Dans le cas des **roches sédimentaires**, des **couleurs conventionnelles** sont souvent **employées** (exemple : Trias en violet, Jurassique en bleu, Crétacé en vert…).

- La **nature des roches** est **indiquée** :
  - Dans la **légende** ET **par un figuré** (**lettre grecque**) sur la **carte** pour les **roches magmatiques** et **métamorphiques**
    Ex. γ = granite ; β = basalte ; π = péridotite…
  - Dans la **légende uniquement** pour les **roches sédimentaires**.
- Dans le cas des **roches sédimentaires**, **l'âge** est **indiqué par des symboles** (exemples : j1, j2, j3… pour trois couches du Jurassique successivement de plus en plus jeunes) à la fois dans la **légende** et sur la **carte**.

β. Contour [trait fin noir] et pendage des couches géologiques

- Le **contour des couches géologiques** est **figuré** en **trait fin noir**. En cas d'**incertitude**, le figuré sera en **pointillé**.
- Des **indications de pendage** peuvent exister (figure 6) ; la **présence d'un chiffre** indique le **pendage en degrés**.

Attention **l'épaisseur apparente d'une couche géologique** ne correspond à pas son **épaisseur réelle** s'il y a un **pendage** et/ou un **dénivelé** (figure 5).

- Notez qu'en **l'absence d'indication de pendage**, on pourra tout de même le **déterminer** (voir plus loin).

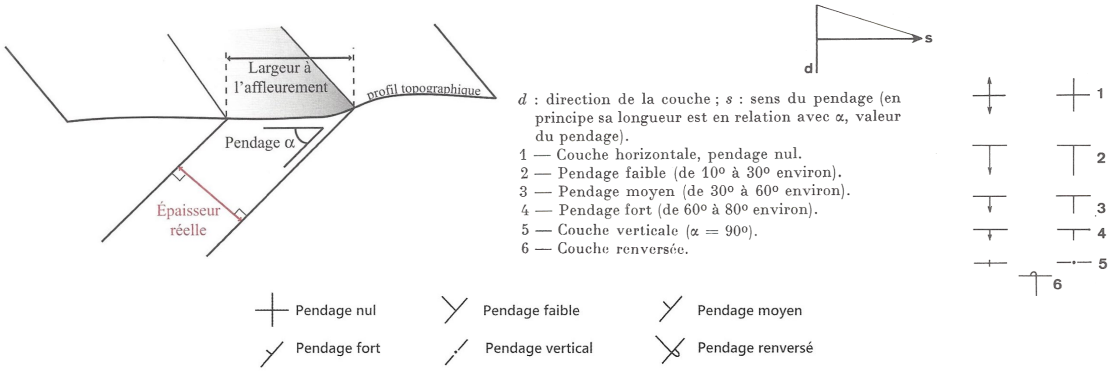


FIGURE 6. Pendage et épaisseur d'une couche géologique.
D'après EMMANUEL *et al.* (2007), FOUCAULT & RAOULT (1975) et BORDI *et al.* (2018)

b. Les informations structurales (tectoniques) : failles et plis

- Les **données structurales** ou **tectoniques** correspondent aux ***éléments de déformation des terrains géologiques***.
- Les **failles** sont représentées en **trait foncé noir**.
- En général, la **nature des failles** ou la **présence de plis** se **déduit** de la **lecture de la carte** mais des **figurés** peuvent préciser ces aspects (figure 7).

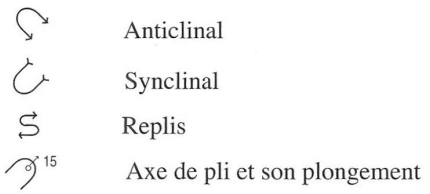


FIGURE 7. Exemple de symboles de plissements. D'après SOREL & VERGELY (2010).

c. Parfois : des informations gîtologiques ou hydrologiques

- La **gîtologie** est ***l'étude des gisements de minerais exploitables***. Des indications sur la **présence de gisements** se rencontrent parfois sur les cartes.
- **Certaines cartes** présentent aussi une cartographie des **nappes phréatiques**.

d. Parfois : un log, des coupes, un schéma structural…

- Il arrive enfin que la **carte** comprenne un **log** (voir TP sur les roches sédimentaires), des **coupes**, un **schéma structural**…

II. La dimension temporelle en cartographie : échelle stratigraphique et principes de datation relative

A. L'échelle stratigraphique internationale

Ce qu'on peut retenir :

1/ Quatre grands éons = **éonothèmes** :
Hadéen, Archéen, Protérozoïque
[ces trois-là formant le **Précambrien**, un superéon]
et **Phanérozoïque**

2/ **Phanérozoïque** divisé en **trois ères = érathèmes** :
- Paléozoïque = ère primaire
- Mésozoïque = ère secondaire
- Cénozoïque = « ères » tertiaire et quaternaire

3/ Pour connaître les étages du **Paléozoïque** :
« COS DéCaPe » (cosse décapée)
→ **Cambrien / Ordovicien / Silurien / Dévonien / Carbonifère / Permien**

4/ Pour connaître les étages du **Mésozoïque** :
cela suit l'ordre contre-alphabétique
TJC → **Trias / Jurassique / Crétacé**

5/ Pour connaître les étages du **Tertiaire** :
« PÉO MiPli »
→ **Paléocène / Éocène / Oligocène** } *Paléogène*
Miocène Pliocène } *Néogène*

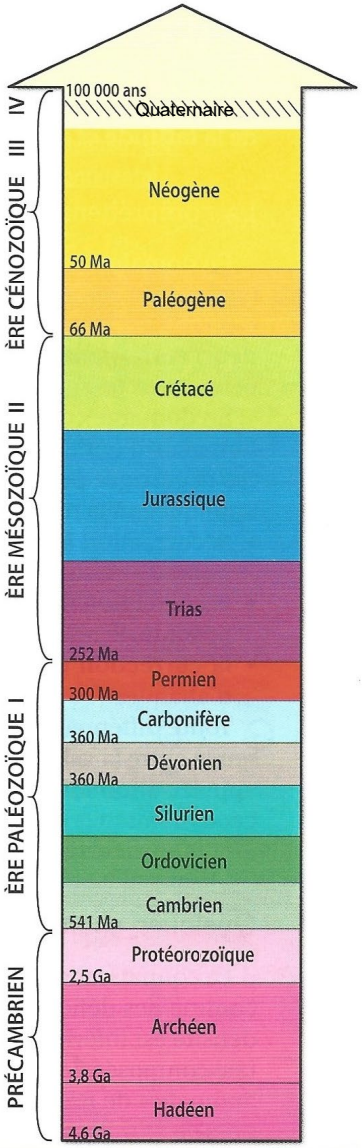


FIGURE 8. Échelle stratigraphique simplifiée.
D'après BORDI *et al.* (2018), modifié.

Âge Ma	Ère	Système ou période	Étage ou série	Notation	Étage régional ou dénomination antérieure
1,75	QUATERNAIRE			IV	
	TERTIAIRE	PLIOCÈNE	Gélasien	p3	Redonien, Astien. Villafranchien
			Plaisancien	p2	inférieur.
5,3			Zancléen	p1	Tabianien
		MIOCÈNE	Messinien	m6	
			Tortonien	m5	Helvétien
			Serravallien	m4	
			Langhien	m3	Vindobonien
			Burdigalien	m2	
23,8			Aquitanien	m1	
		OLIGOCÈNE	Chattien	g2	Stampien
33,5			Rupélien	g1	Sannoisien
		ÉOCÈNE	Priabonien	e7	Marinésien+ Ludien
			Bartonien	e6	Auversien
			Lutétien	e5	
			Yprésien	e4	Sparnacien= Ilerdien. Cuisien
55		PALÉOCÈNE	Thanétien	e3	
			Sélandien	e2	Montien — Vitrollien, Garumnien
			Danien	e1	
65	SECONDAIRE	CRÉTACÉ SUPÉRIEUR	Maastrichtien	c6	Bégudien+ Rognacien
			Campanien	c5	Valdonien+ Fuvélien
			Santonien	c4	
			Coniacien	c3	
			Turonien	c2	
			Cénomanien	c1	
96		CRÉTACÉ INFÉRIEUR	Albien	n6	Vraconien
			Aptien	n5	Bédoulien,Gargasien,Clansayésien
			Barrémien	n4	Urgonien
			Hauterivien	n3	Wealdien
			Valanginien	n2	
			Berriasien	n1	Purbeckien
135		JURASSIQUE SUPÉRIEUR	Tithonien	j7	Tithonique, Portlandien
			Kimméridgien	j6	MALM
154			Oxfordien	j5	Argovien, Rauracien, Séquanien
		JURASSIQUE MOYEN	Callovien	j4	
			Bathonien	j3	DOGGER
			Bajocien	j2	
175			Aalénien	j1	
		JURASSIQUE INFÉRIEUR	Toarcien	l4	
			Pliensbachien	l3	LIAS — Charmouthien, Domérien, Carixien, Lotharingien
			Sinémurien	l2	
			Hettangien	l1	
203		TRIAS	Rhétien	t7	Keuper
			Norien	t6	
			Carnien	t5	Muschelkalk
			Ladinien	t4	
			Anisien	t3	
			Induen	t2	Buntsandstein — Scythien
250			Olénekien	t1	

Âge Ma	Ère	Système ou période	Étage ou série	Notation	Étage régional ou dénomination antérieure
250	PALÉOZOÏQUE	PERMIEN	Thuringien	r3	
			Saxonien	r2	
295			Autunien	r1	
		CARBONIFÈRE	Stéphanien	h5	
			Westphalien	h4	
			Namurien	h3	
			Viséen	h2	
			Tournaisien	h1	Dinantien h 1-2
355		DÉVONIEN	Famennien	d7	
			Frasnien	d6	
			Givétien	d5	
			Eifelien	d4	Couvinien
			Emsien	d3	
			Praguien	d2	Siegénien
			Lochkovien	d1	Gédinnien
408		SILURIEN	Pridoli	s4	
			Ludlow	s3	
			Wenlock	s2	
			Llandovery	s1	
435		ORDOVICIEN	Ashgill	o6	
			Caradoc	o5	
			Llandeilo	o4	
			Llanvirn	o3	
			Arénig	o2	
			Trémadoc	o1	
500		CAMBRIEN	Cambrien supérieur	k5	Potsdamien
			Cambrien moyen	k4	Acadien
			Cambrien inférieur :		Géorgien
			Lénien	k3	
			Atdabanien	k2	
			Tommotien	k1	
540			Néoprotérozoïque	b	Briovérien b2 b1
			Mésoprotérozoïque	a2	
			Paléoprotérozoïque	a1	Icartien
2500					
4550					

FIGURE 9. Échelle chronostratigraphique internationale. D'après SOREL & VERGELY (2010).

Pour une vision plus détaillée et avec les couleurs conventionnelles :
Voir sur le site du BRGM
http://sigespoc.brgm.fr/IMG/pdf/charte_brgm_de_l_echelle_des_temps_geologiques.pdf

- L'**échelle stratigraphique** (ou **chronostratigraphique**) **internationale**, parfois appelée **échelle des temps géologiques** (figures 7-8), correspond à un ***découpage unanime (réglé par une Commission internationale) du temps terrestre depuis la formation de la planète***.
- L'échelle se divise en :
  Éons (= éonothèmes)
  Ères (= érathèmes)
  Périodes (= systèmes)
  Époques (= séries)
  Âges géologiques (= étages)
- Dans la partie « **Phanérozoïque** », ce sont les **cortèges de fossiles** qui ont défini les principales **subdivisions**. Des **stratotypes**, ***site de référence où se trouve le début et la fin d'un étage (localement matérialisés par des « clous d'or ») au sein d'une série sédimentaire continue***, définissent chaque **étage**.
- Ce sont les techniques de **datation absolue** (hors programme) qui ont permis de donner des **âges absolus** aux **limites** des subdivisions.

B. La datation des événements géologiques les uns par rapport aux autres : la datation relative

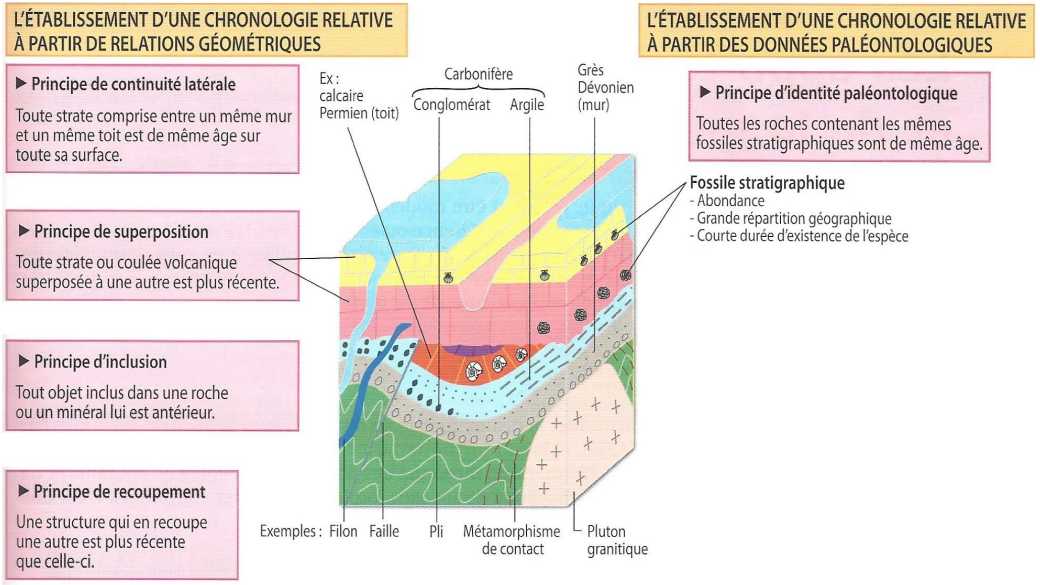


FIGURE 10. Les principes stratigraphiques permettant la datation relative.
D'après BORDI *et al.* (2018)

- La **datation des événements** de **dépôts** et des **événements tectoniques** est une tâche d'exploitation des **cartes** ou **coupes géologiques**.
- La **datation relative** (= ***ensemble de principes permettant de dater des événements géologiques les uns par rapport aux autres au sein d'un terrain ou d'un ensemble de terrain***) repose sur l'application de quelques **principes** (figure 10).

1. Le principe de continuité latérale

- Le **principe de continuité latérale** énonce que ***toute couche comprise entre deux couches semblables est de même âge sur toute son étendue***.

On peut appeler « **mur** » la ***couche sur laquelle une couche repose (limite inférieure)*** et « **toit** » la ***couche sus-jacente qui s'y superpose immédiatement (limite inférieure)***.

2. Le principe de superposition

- Le **principe de superposition** énonce que ***(sauf accident tectonique ayant retourné les couches) toute couche au-dessus d'une autre est plus récente***.

3. Le principe d'inclusion

- Le **principe d'inclusion** énonce que ***tout objet inclus dans un terrain, une roche ou un minéral est antérieur au volume dans lequel il est inclus***.

4. Le principe de recoupement

- Le **principe de recoupement** énonce que ***toute structure qui en recoupe une autre est plus récente que la structure recoupée***.

5. Le principe d'identité paléontologique

- Le **principe d'identité paléontologique** énonce que ***toutes les couches contenant le même assemblage de fossiles stratigraphiques (= caractéristiques d'une subdivision géologique) sont de même âge***.

Un **fossile stratigraphique** est ***caractéristique d'une courte période de temps, abondant lors de cette période et largement réparti à cette époque***.

Activité 1	**Datation relative**
	Comment l'application des principes de datation relative permet-elle de reconstituer l'histoire d'un terrain ?

Travail à faire

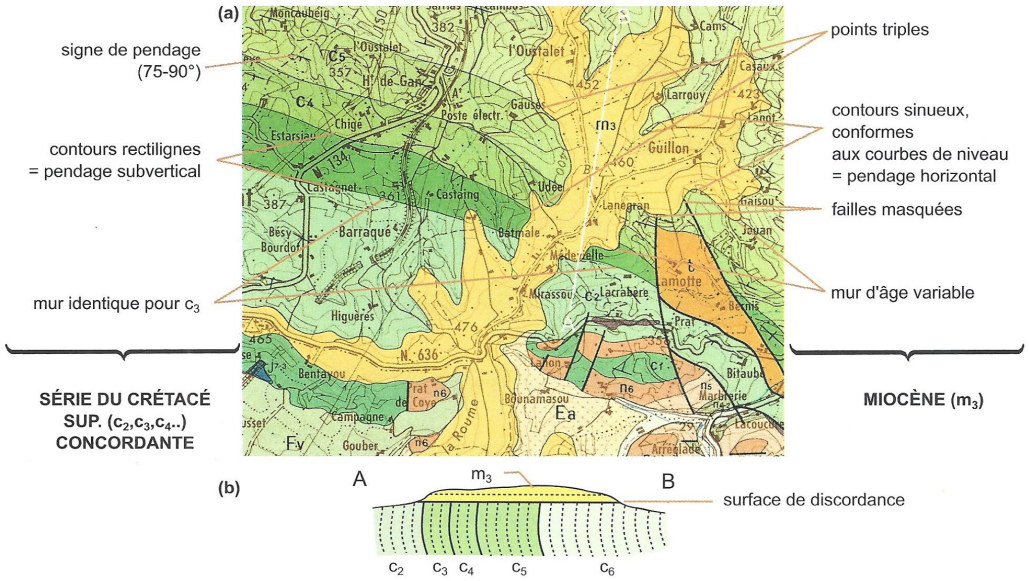
- ***Datez*** *les événements de la figure 10 en appliquant les principes de la datation relative*

C. L'érosion avant nouveau dépôt : la notion de discordance

- Une **discordance** est une ***zone de discontinuité sédimentaire entre deux couches où il y a eu érosion avant le dépôt de la couche sus-jacente***.

Il ne faut pas **confondre** **lacune de sédimentation** (= ***simple interruption des dépôts***) et **discordance** (= ***impliquant l'érosion de terrains antérieurs***).
Une **discordance** implique **forcément une lacune de sédimentation**, mais la réciproque n'est pas vraie.

- Une **discordance angulaire** est une ***discordance où les terrains au-dessus et au-dessous de la discordance n'ont pas le même pendage, ce qui implique généralement qu'il y ait eu des mouvements tectoniques*** (cas de la figure 10 et la figure 11).



Une discordance en carte.

(a) Extrait de la carte d'Oloron Ste Marie (© *BRGM, 1970*) ; **(b)** coupe interprétative selon le tracé A-B.

FIGURE 11. Discordance (angulaire). D'après PEYCRU *et al.* (2015)

Les **indices d'une discordance** sont (figure 11) :
- La présence de **points triples**, c'est-à-dire de ***points où trois couches géologiques sont en contact*** ;
- Une **lacune de sédimentation** souvent **importante** entre les **unités discordantes** ;
- Un **masquage fréquent**, par les **unités en discordance**, de **déformations (failles, plis)**.

III. L'exploitation d'une carte géologique : quelques principes

Capacités exigibles	✓ **Identifier** l'organisation spatiale et temporelle des formations sédimentaires à travers des structures simples (plis, failles, discordances, structures tabulaires) en réalisant des schémas structuraux ✓ **Identifier** grâce à la légende les principales formations géologiques afin de localiser les ressources géologiques présentes actuelles et/ou passées et/ou futures ✓ **Retrouver** des indices des variations climatiques du dernier million d'années

A. L'emploi des données stratigraphiques

1. La reconnaissance des grands types de dépôts et leur chronologie

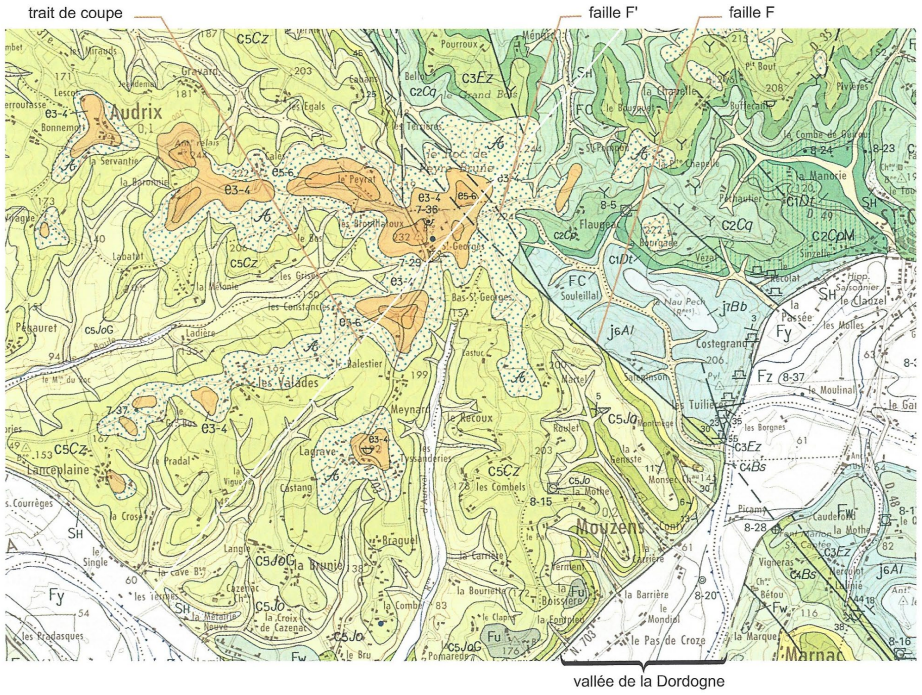
- L'emploi des **informations stratigraphiques** et de l'application des **principes de datation relative** permet de connaître la **chronologie des événements**.

2. La détermination du pendage des couches (hors indications de pendage)

- Il est assez facile d'estimer le **pendage des couches**, même lorsqu'il n'y a **pas ou peu d'indications** de pendage.

a. En relief tabulaire : des limites de couches parallèles aux courbes de niveau

- On appelle **relief tabulaire** un ***relief typiquement sédimentaire où les couches n'ont pas (ou presque pas de pendage) de sorte que les dépôts sont simplement horizontaux, le modelage étant dû à l'érosion fluviatile*** (figure 12).
- Des zones sont **moins érodées** – et donc **plus hautes** – que les autres : ce sont les **plateaux** (en cas de ***taille importante***) ou les **buttes témoin** (en cas de ***taille faible***).
- Cartographiquement, on notera ici que les **courbes de niveaux** et les **limites de couches** sont **parallèles** entre elles.



Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Le Bugue (© *BRGM*)

Coupe géologique interprétative en région tabulaire ; secteur de Le Bugue.

FIGURE 12. Cartographie et coupe géologique en domaine tabulaire.
D'après PEYCRU *et al.* (2015)

b. En relief monoclinal : des limites de couches subparallèles aux courbes de niveau (et globalement parallèles entre elles dans le cas des cuestas)

- Le **relief monoclinal** est un ***relief où les couches ont toutes le même pendage (généralement assez faible)*** (figure 13).
- Cartographiquement, les **limites de couches** et les **courbes de niveaux** sont **subparallèles**.

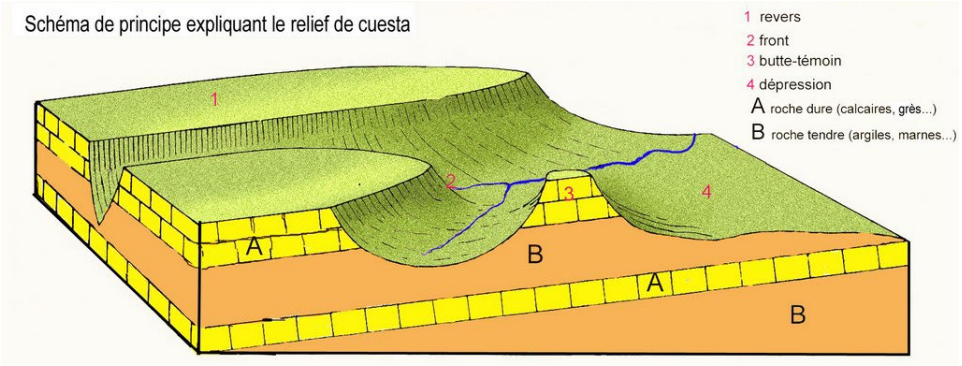


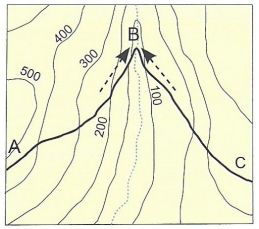
FIGURE 13. Bloc diagramme illustrant un relief monoclinal (type cuesta).
http://www.paysages.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-caracteres-des-plaines-et-coteaux-du-saumurois-a539.html (consultation avril 2019)

c. La détermination du pendage dans les autres situations : technique du V dans la vallée

- La **règle du V** (ou « **règle du V dans la vallée** ») est une ***technique cartographique visant à inférer le pendage des couches géologiques par la géométrie des couches au niveau d'une vallée*** (figures 14-15).

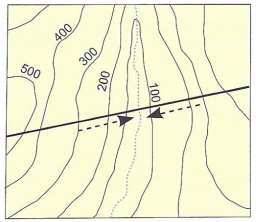
Deux règles simples

- Le **pendage d'un plan** (faille ou limite de couche) est **révélé par le V dessiné au niveau de la vallée** ; il est **en direction du V du plan**.
- Le **pendage est d'autant plus fort** que le **V du plan** est **peu marqué**.

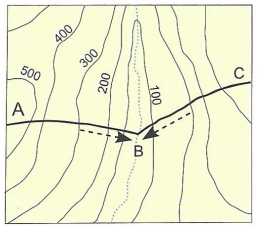


V du plan et V des courbes de niveau dans le **même sens**

*(!) pendage faible**



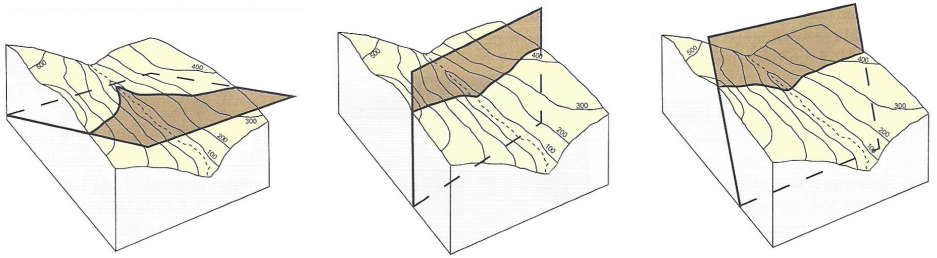
V du plan non affecté par la vallée
→ **Pendage vertical**



V du plan et V des courbes de niveau dans des **sens opposés**

*(!) pendage fort**

Interprétations :



Moins le V du plan est marqué, plus son pendage est fort (et s'approche de la verticale).

FIGURE 14. La technique du V dans la vallée. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

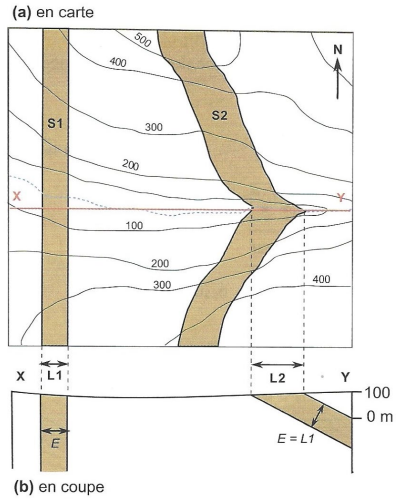


FIGURE 15. Application à des couches géologiques. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

B. La reconnaissance des principales structures

- La **structure** désigne, en géologie, ***l'ensemble des déformations héritées des mouvements tectoniques***.

1. Les déformations cassantes : les failles [traits noirs épais]

- Une **faille** est une ***déformation cassante (= avec rupture) consistant en un plan de part de d'autre duquel les terrains se déplacent*** (figures 16-18 + tableau I).
- Le ***déplacement*** s'appelle un **rejet**.
- On distingue typiquement :
  - Les **failles normales**, ***failles où le bloc qui se déplace sur le miroir de faille descend***, typiquement formées en contexte d'**extension**.
    Indice cartographique : les **terrains au-dessus** du miroir de faille sont **plus jeunes** que les **terrains au-dessous**.
  - Les **failles inverses**, ***failles où le bloc qui se déplace sur le miroir de faille monte***, typiquement formées en contexte de **compression**.
    Indice cartographique : les **terrains au-dessus** du miroir de faille sont **plus vieux** que les **terrains au-dessous**.

On parle de **chevauchement** un ***processus de recouvrement de terrains par des terrains au-dessus***. Le **contact** est typiquement de type **inverse**.
Quand un chevauchement aboutit au déplacement à très grande distance (plus de 5 km) de couches géologiques (nappe de charriage), on parle de **charriage**.

  - Les **failles décrochantes**, ***failles où les blocs se déplacent horizontalement l'un par rapport à l'autre***, soit ***vers la droite*** (**faille dextre**), soit ***vers la gauche*** (**faille senestre**).
    Indice cartographique : les terrains de part et d'autre ont le **même âge**.
- Dans la réalité, les **failles** sont **variées**, sont **souvent verticales**, font appel à des **rejeux**… On peut trouver **tous les types de failles** dans **tous les contextes**.
- Rappelons que le **pendage** se détermine à l'aide de la **technique du V dans la vallée**.

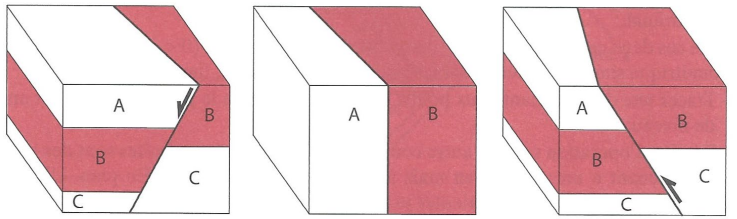
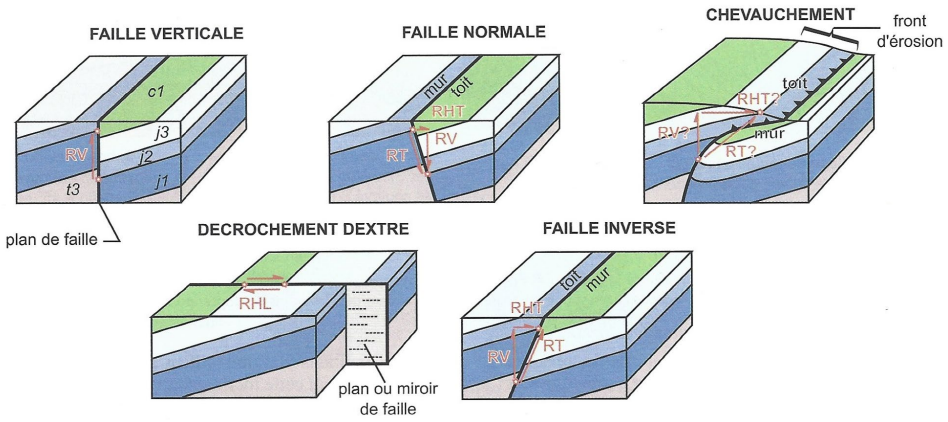


FIGURE 16. Exemples de failles. D'après EMMANUEL *et al.* (2007)

TABLEAU I. Caractères des principaux types de failles. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

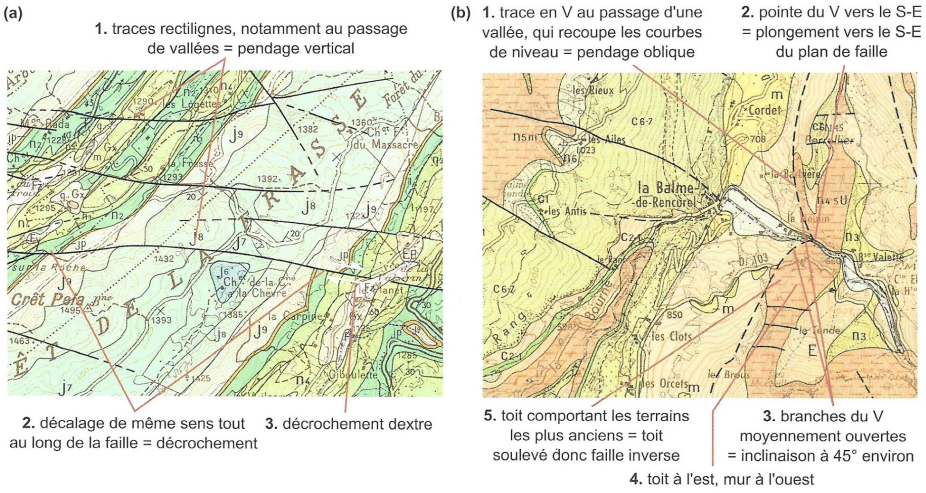
Type	Faille verticale	Faille décrochante	Faille normale	Faille inverse	Chevauchement
Pendage	vertical	vertical	< 90°	< 90°	horizontal
Rejet repérable	vertical (plus ancien soulevé)	horizontal (dextre ou sénestre)	vertical (mur soulevé, toit effondré)	vertical (mur affaissé, toit soulevé)	vertical (mur affaissé, toit soulevé)



L'aspect des divers types de failles après érosion et les composantes de leur rejet.

Les blocs diagrammes figurent des situations où l'érosion a gommé l'essentiel des reliefs créés et amène ainsi à ne raisonner qu'à partir d'arguments géologiques (et non topographiques). RT : rejet total ; RV : rejet vertical ; RHT : rejet horizontal transversal (raccourcissement ou extension) ; RHL : rejet horizontal latéral. Les étoiles rouges correspondent aux points repères, voisins avant la fracturation, qui permettent d'estimer le rejet. Le code alphanumérique désigne les sous-périodes du calendrier géologique.

FIGURE 17. Typologie des failles : une vision plus complète. D'après PEYCRU *et al.* (2015)



Les caractères en carte de failles décrochantes **(a)** et d'une faille inverse **(b)**.

(a) (carte de St Claude – © *BRGM, 1971*) ; **(b)** (carte de Vif - © *BRGM, 1967*). Pour chaque exemple, l'ordre des légendes correspond à l'ordre du raisonnement qu'il convient d'adopter pour l'analyse des failles.

FIGURE 18. Allure en situation cartographique. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

2. Les déformations ductiles : les plis

- Un **pli** est une ***déformation ductile (= sans rupture) consistant en un déplacement ondulé de couches géologiques*** (figures 19-22), quasi-systématiquement en contexte **compressif**.
- La ***zone de courbure maximale d'un pli*** s'appelle la **charnière** ; les ***zones situées de part et d'autre*** s'appellent des **flancs**. Le plan passant par la charnière s'appelle l'**axe du pli** (figure 19).
- Un pli est dit **isopaque** s'il possède la ***même épaisseur dans tout son volume*** ; il est **anisopaque** ***en cas de variation d'épaisseur des couches***.
- À l'affleurement, la ***partie haute convexe d'un pli avec les couches les plus anciennes au milieu*** est nommée **anticlinal** et la ***partie haute concave d'un pli avec les couches les plus jeunes au milieu*** est nommée **synclinal** (figures 19-21).

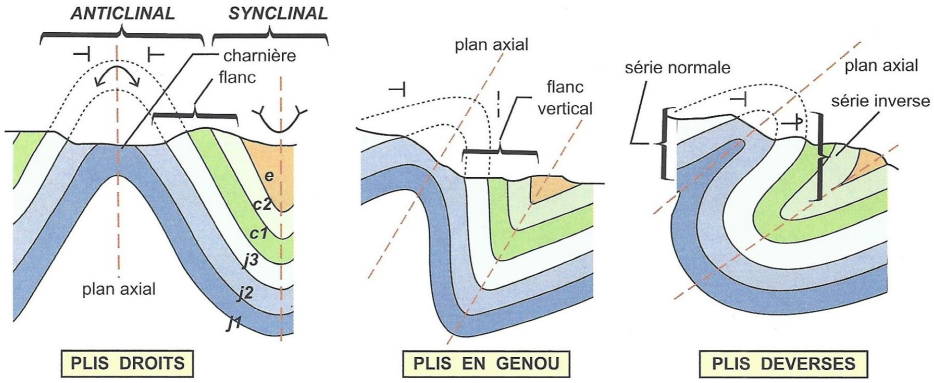
On notera qu'en **coupe**, un **anticlinal dessine un « A »** et un **synclinal le bas d'un « S »**

En **cartographie** (figure 20), on remarque les **plis** grâce à la **symétrie des couches de part et d'autre d'un axe**. *Attention toutefois à vérifier qu'il ne s'agit pas d'un relief tabulaire !*
On identifiera ensuite si les **couches les plus vieilles** sont **au centre** ou **en périphérie** pour savoir si l'on a affaire à un **anticlinal** ou un **synclinal**.

- On peut distinguer **différents types de plis** dont voici les principaux (figure 19) :
  - Les **plis droits** présentent un ***plan axial vertical***.
  - Les **plis déjetés** présentent un ***plan axial oblique et des pendages de flancs opposés***.

Un ***pli déjeté dont le pendage d'un flanc est vertical*** est nommé **pli en genou**.

  - Les **plis déversés** présentent des ***plans axiaux et des flancs ayant la même orientation de pendage (mais pas la même valeur de pendage)***.
  - Les **plis couchés** présentent un ***plan axial horizontal***.



Les différents types de plis et leur aspect suite à leur érosion partielle.

Les unités stratigraphiques représentées (sous-périodes) s'échelonnent du Jurassique inférieur (j1) à l'Éocène (e). Les symboles des pendages et des charnières sont figurés.

FIGURE 19. Trois exemples de plis. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

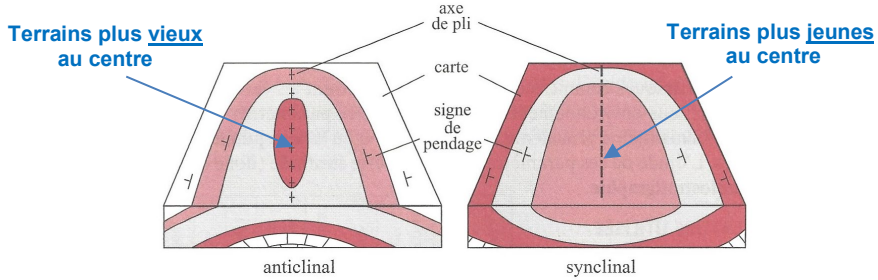
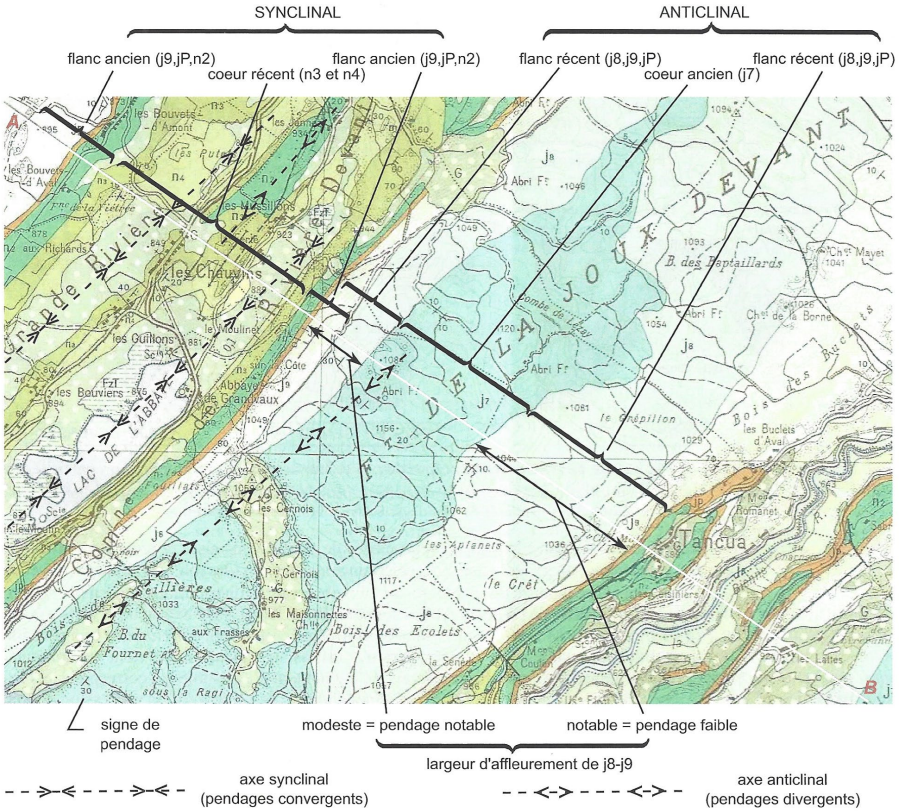
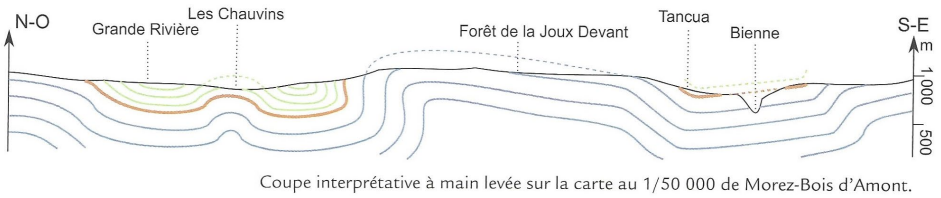


FIGURE 20. Anticlinal et synclinal. D'après EMMANUEL *et al.* (2007)



Les éléments de caractérisation des plis en carte : feuille au 1/50 000 de Morez-Bois d'Amont – Jura (© *BRGM, 1968*).
La coupe selon le tracé A-B est réalisée dans l'application 6.2. Dans le cas présent, le synclinal au N-O présente en son centre une petite ondulation anticlinale. Quant à l'anticlinal, sa géométrie est celle d'un pli en genou avec un flanc occidental plus pentu (quasi-vertical par endroits) que le flanc oriental.

FIGURE 21. Plis en carte. D'après PEYCRU *et al.* (2015)



Coupe interprétative à main levée sur la carte au 1/50 000 de Morez-Bois d'Amont.

FIGURE 22. Plis en coupe (profil AB de la figure 21). D'après PEYCRU *et al.* (2015)

Synformes et antiformes

- Un ***pli dont la partie convexe est vers le haut*** est dit **antiforme**. Il faut toutefois vérifier que ***les couches les plus anciennes sont au centre*** pour affirmer que c'est un **anticlinal**, car il peut aussi s'agir d'un **synclinal retourné** (***antiforme où les couches centrales sont les plus jeunes***).
- Un ***pli dont la partie concave est vers le bas*** est dit **synforme**. Il faut toutefois vérifier que ***les couches les plus jeunes sont au centre*** pour affirmer que c'est un **synclinal**, car il peut aussi s'agir d'un **anticlinal retourné** (***synforme où les couches centrales sont les plus anciennes***).

C. La production et l'utilisation de coupes géologiques

- Les **coupes géologiques** sont des ***coupes transversales de terrains géologiques montrant l'organisation des couches en profondeur*** (figure 23).

Généralement, **on respecte l'échelle de la carte** et l'on utilise la **même échelle** pour **l'horizontale** et la **verticale**, ce qui permet de respecter les **pendages réels**. Il arrive toutefois que **l'échelle verticale soit augmentée**, ce qui **modifie les pendages** sur la représentation.

- La **réalisation d'une coupe géologique** à partir d'une carte passe par pl**usieurs étapes** (figure 23) :

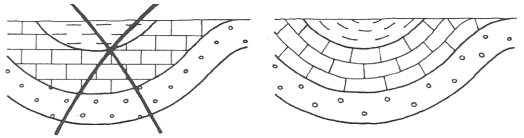
Un tel travail se réalise au **crayon à papier** ou bien, en cas de publication, **à l'encre de Chine** ou– de manière plus moderne – à l'aide d'un **logiciel de dessin vectoriel**.

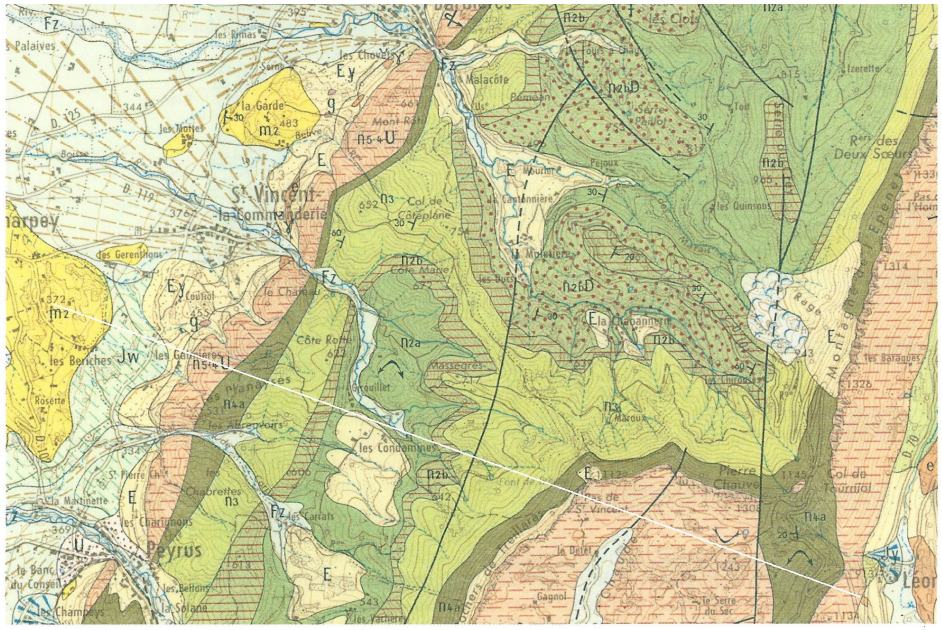
On approche une **feuille de papier millimétré** que l'on **plie** et que l'on place **le long du trait de coupe**.

- **a**. La réalisation d'un **profil topographique** à main levé (encadré A page 15) : il s'agit, le long du **trait de coupe**, de ***dessiner les variations du relief***. On utilise pour cela les **points côtés**, les **courbes de niveau** et leur **espacement**.
  *(!) Doit normalement être **donné au concours***
  *(!) En cas de **faible variation de relief**, un **trait plat** est possible.*
- **b**. Le **report des limites de couches** sur le **profil** ainsi que des **failles** dont on déterminera le **rejet**.
- **c**. Le **dessin des couches en profondeur**, déduit des **indications de pendage** et/ou des **indices indirect** (comme le **V dans la vallée**).
- **d**. Le **dessin des figurés conventionnels** (figure 24) dans **chaque couche**.
- **[e**.] On pourra enfin éventuellement **colorer la coupe** (figure 21) et l'on n'oubliera pas de produire une **légende** (figure 23) des **couches dessinées**.
  *(!) Bien que cela ne soit **pas très conventionnel**, des candidats (et quelques ouvrages) se contentent parfois de **colorer les couches sans figurés**.*

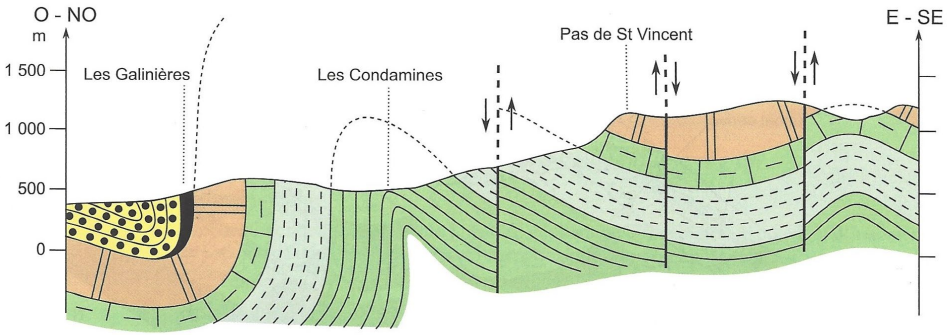
(!) Les **figurés** doivent **épouser** la **courbure** des **limites de couches**.

D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)





Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Charpey (© *BRGM*)



Coupe géologique interprétative en région plissée ; secteur de Charpey (1/50 000).

FIGURE 21. Exemple d'une coupe géologique produite à partir d'une carte au 1/50 000.
D'après PEYCRU *et al.* (2015)

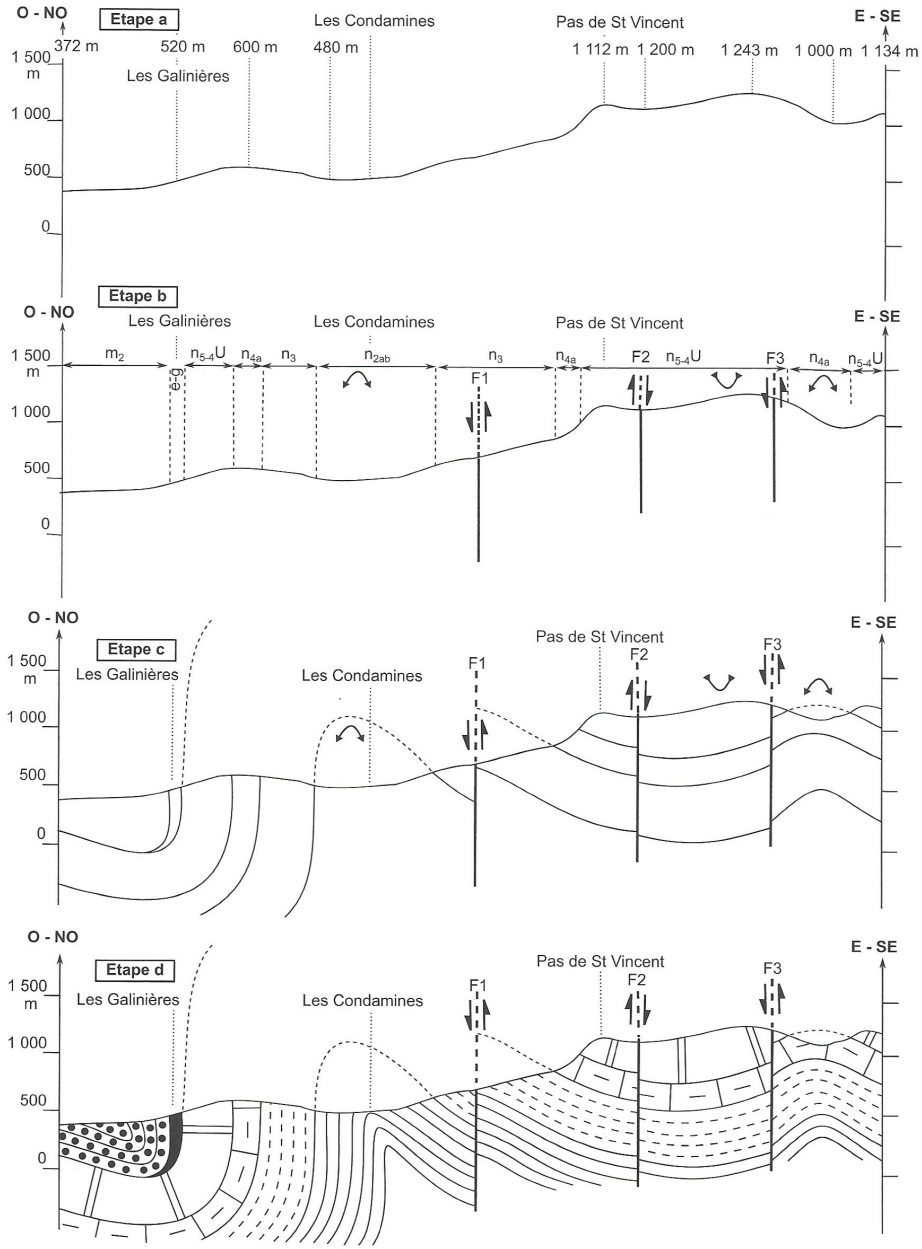


FIGURE 22. Étapes de construction de la coupe de la figure 21. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

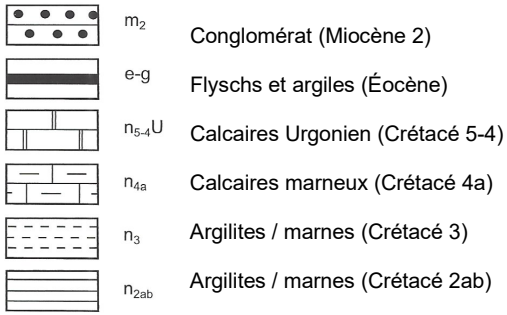


FIGURE 23. Légende de la coupe des figures 21-22. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

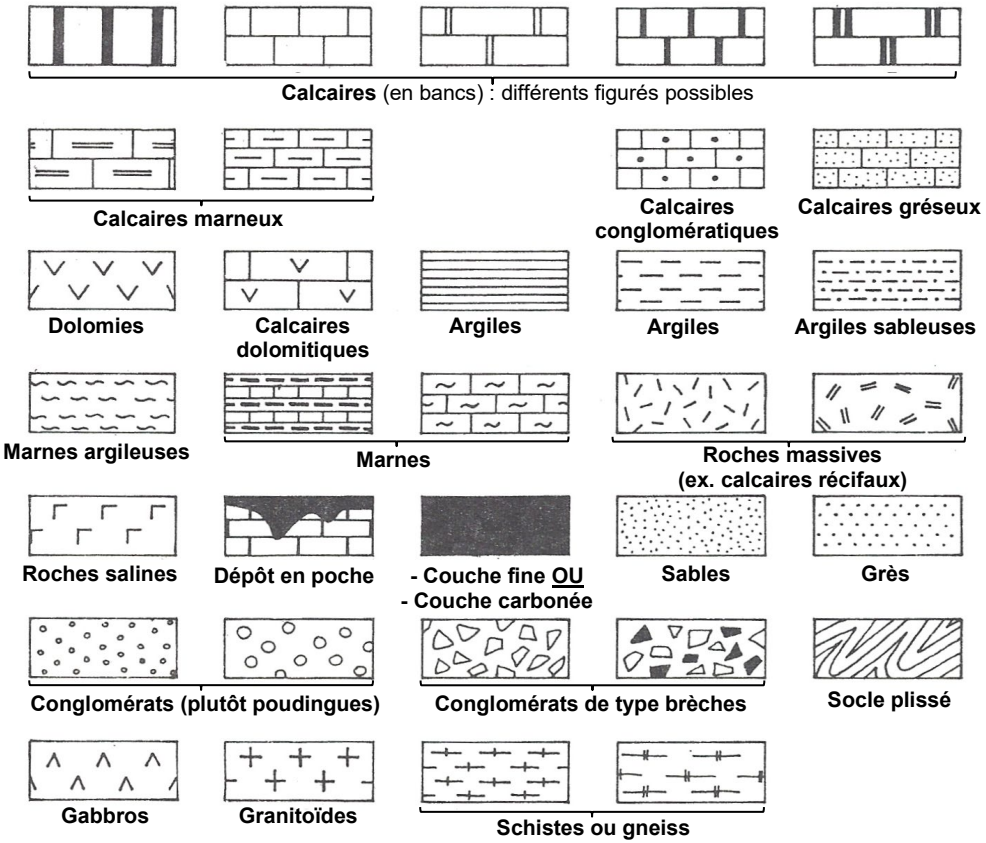
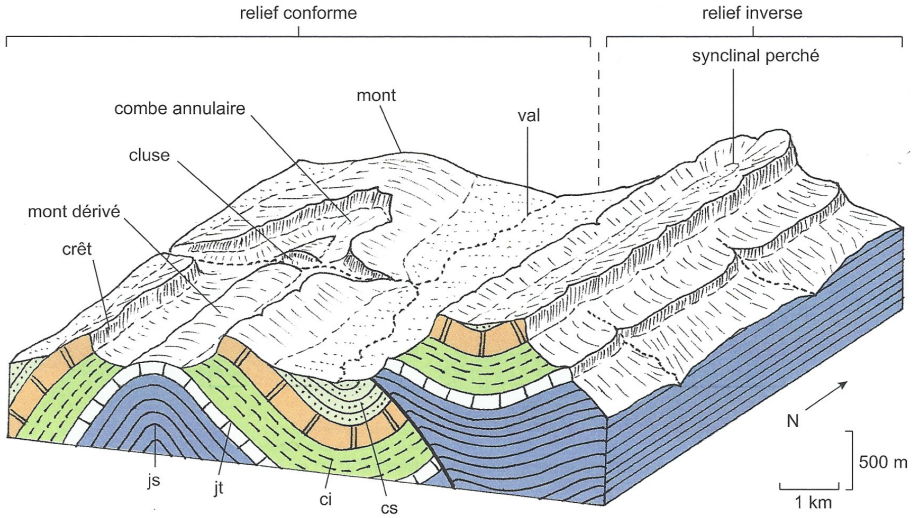


FIGURE 24. Quelques figurés lithologiques conventionnels.
D'après FOUCAULT & RAOULT (1975), modifié.

D. La production et l'utilisation de blocs diagrammes

- On appelle **bloc diagramme** une ***représentation en perspective cavalière (3D) d'un volume parallélépipédique correspondant à des terrains géologiques*** (figure 25). On en trouve dans **certaines cartes géologiques**.
- Pour construire un bloc, on applique les **mêmes outils** que pour faire une **coupe géologique** ; on peut même **réaliser plusieurs coupes géologiques en amont** que l'on croise ensuite.
- La **réalisation d'un bloc diagramme** à partir d'une **carte géologique** (hors programme) nécessite une bonne maîtrise de la cartographie et une capacité à dégager facilement une vue d'ensemble d'une carte.



Bloc-diagramme, inspiré pour partie du massif de La Chartreuse, visualisant les différentes formes du relief en relation avec les structures plissées.

À partir d'une série sédimentaire plissée, constituée d'une alternance de couches dures (calcaires) et de couches tendres (argilites et marnes), l'érosion modérée a engendré dans le secteur occidental un relief conforme où l'anticlinal coïncide avec la zone la plus haute (**mont**) et le synclinal avec la plus basse (**val**). Le creusement de la charnière anticlinale a fait apparaître vers le Sud une nouvelle dépression ou **combe** au cœur de laquelle une couche plus dure forme alors un **mont dérivé**. La rivière qui traverse l'anticlinal orthogonalement y a creusé une entaille ou **cluse** qui met à jour les terrains les plus anciens de l'anticlinal.
Dans le secteur oriental, l'érosion bien plus intense (vraisemblablement en raison de la genèse d'un relief positif plus important au départ) a conduit à la disparition totale de la charnière anticlinale et à la mise en relief d'un **synclinal perché**.

FIGURE 25. Exemple de bloc diagramme. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

Pour information :
- On parle de **relief conforme** lorsque, ***suite à érosion, un terrain plissé présenté les anticlinaux en hauteur (et les synclinaux dans les zones les plus basses)***.
- On parle de **relief inverse** lorsque, ***suite à érosion, un terrain plissé présenté les synclinaux en hauteur (et les anticlinaux dans les zones les plus basses)***.

Encadré A Comprendre et visualiser la topographie

➢ La **compréhension de la topographie** d'une **carte** n'est pas forcément spontanée alors que ce n'est pas **si difficile**. Il faut utiliser :
- Les **points cotés** donnant l'altitude précise de **lieux données**,
- Les **courbes de niveaux**,
- L'**écart entre les courbes de niveaux** qui renseigne sur l'intensité de la **pente** et les éventuelles **ruptures de pentes**.

➢ Pour **construire** un **profil topographique**, c'est ce genre d'indices que l'on emploiera par **report de repères** sur le papier où l'on trace le relevé. La **finalisation du tracé** devra bien se fonder sur **l'écart entre courbes de niveaux**.

➢ Comme l'exercice est **minutieux** et **fastidieux**, normalement, les **profils topographiques** vous seront **fournis au concours**.

➢ Notez qu'on pourra utiliser un « **trait plat** » pour des **terrains avec une faible variation altitudinale**.

➢ On pourra aussi **exagérer l'altitude verticale** sur certaines **représentations** (c'est par exemple indispensable dans un **relief tabulaire**). Il faudra alors se souvenir que le **pendage réel** des couches sera **modifié sur la représentation**.

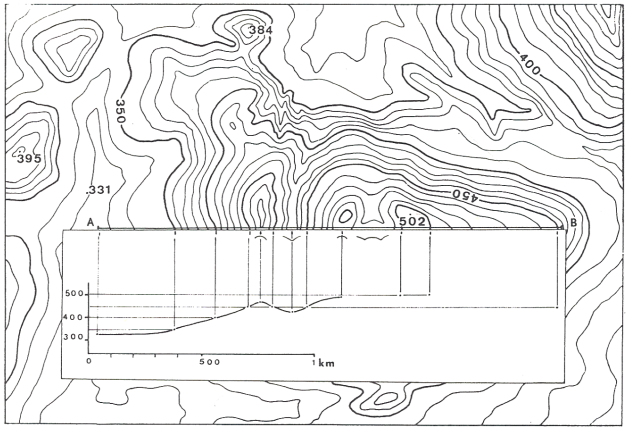
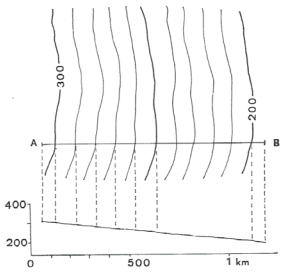


FIGURE a. Réalisation d'un profil topographique. D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)



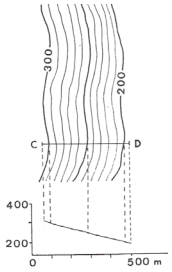


FIGURE b. Pentes régulières.
D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)

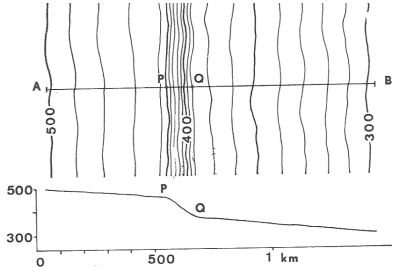


FIGURE c. Rupture de pente.
D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)

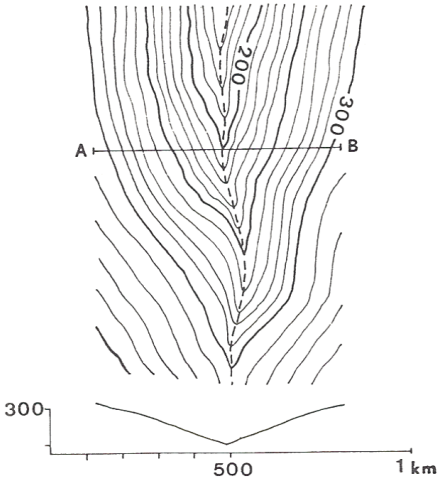


FIGURE d. Une vallée. D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)

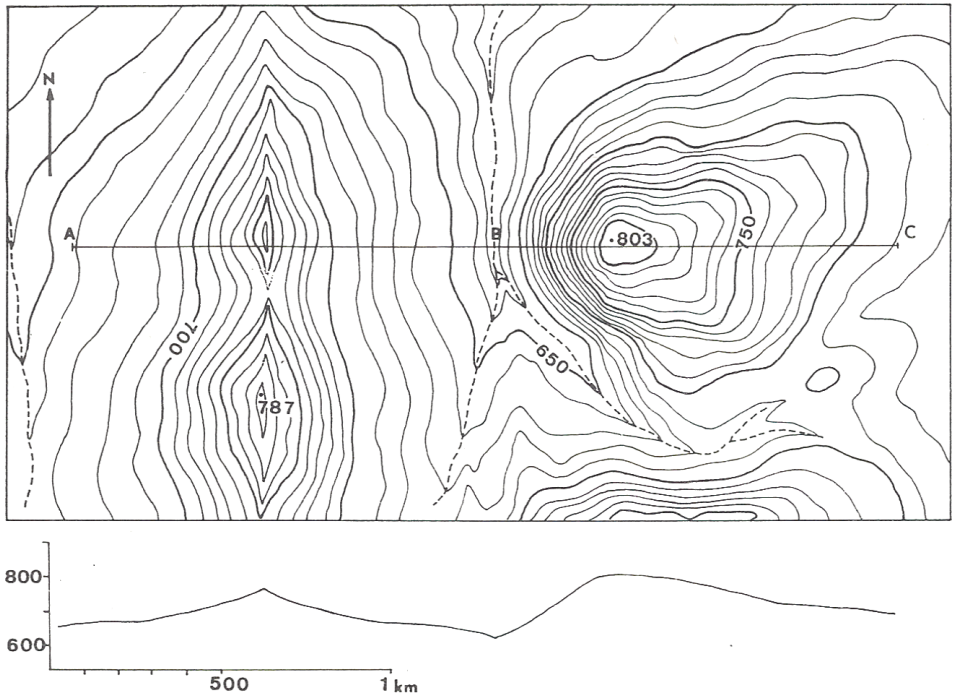


FIGURE e. Une topographie possible. D'après FOUCAULT & RAOULT (1975)

E. La production et l'utilisation d'un log

- Il arrive que les **cartes** possèdent un **log** mais on peut aussi **le réaliser** à l'aide des **indications de la légende** (y compris le **texte imprimé** accompagnant chaque carte).
- Un **log géologique** ou **colonne stratigraphique** est une ***représentation schématique verticale d'une série sédimentaire présente en un lieu donné***.
- Le **log** représente **chaque couche géologique** ou **ensemble de couches géologiques** de manière **superposée**, dans **l'ordre d'occurrence réel** du bas vers le haut (figure 26).
- Les **informations contenues dans le log** sur chaque couche sont généralement (figure 26) :
  - La **lithologie**, c'est-à-dire la ***nature de la roche présente***, souvent représentée par un **figuré conventionnel**.
  - **L'épaisseur** OU **l'âge de la couche** représenté(e) par **l'échelle des ordonnées**.

Lorsque **l'échelle des ordonnées** représenté **l'épaisseur** (en cm, m…), alors **l'étage sédimentaire** est **généralement signalé en plus** sur le document.

  - La **granulométrie**, c'est-à-dire la ***taille des plus gros grains***, souvent représentée par **l'axe des abscisses** – *parfois absent ; dans ce cas, la largeur de représentation des couches est invariante*.
  - [La **résistance des couches à l'érosion**, représentée par le **bombement de la couche** : *plus le bombement est concave, plus la couche est érodable ; plus il est convexe, plus la couche est résistante* – **parfois absent, parfois difficile à estimer quand on construit un log soi-même, même si on peut la déduire de l'altération différentielle des terrains constatée sur la carte**].
  - [Et éventuellement :
    - Des **figures sédimentaires**, ***organisations sédimentaires liées aux conditions de dépôt***, signalées par un **figuré dans la couche** ou **à côté** ;
    - Des **fossiles importants**, signalés là encore par un **figuré dans la couche** ou à côté.]

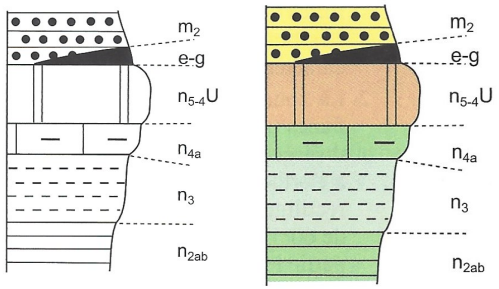


FIGURE 26. Log (noir et blanc, ou en couleur) de la figure 20. D'après PEYCRU *et al.* (2015)

F. La production et l'utilisation d'un schéma structural

- Un **schéma structural** est une ***simplification d'une carte géologique (ou d'une portion de carte géologique) montrant les principaux terrains et les principales structures présentes***.
- On y reporte :
  - Les **limites des grands ensembles de roches** que l'on s'efforcera de **regrouper** de manière **cohérente** ;
  - Les **axes** des **principaux plis**, en précisant leur **nature** ;
  - Les **principales failles**, en précisant leur **nature** ;
  - Toute autre **indication utile** (métamorphisme, schistosité…).
- Même s'il existe des **figurés conventionnels** (figure 27), on n'oubliera pas de **légender** son travail.

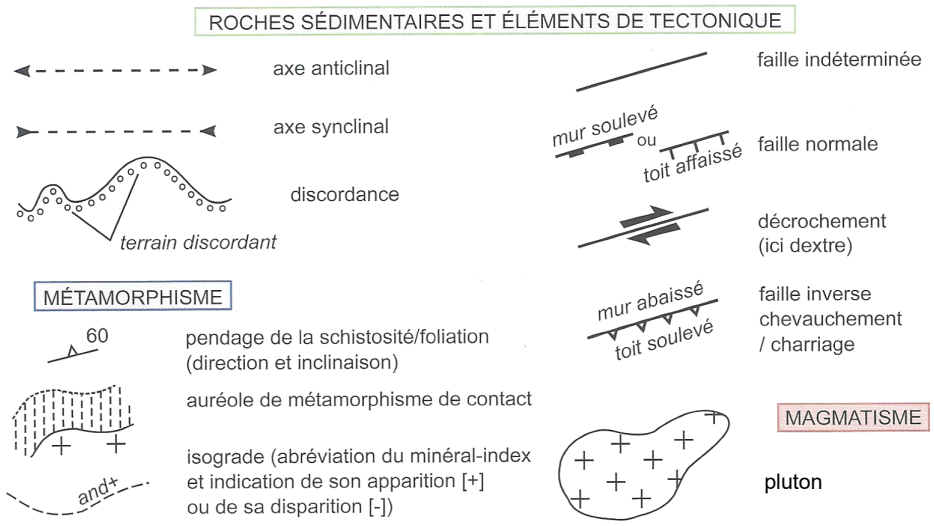


FIGURE 27. Figurés conventionnels classiquement employés dans un schéma structural.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

Activité 2 — **Production de schémas structuraux**

Comment l'étude d'une carte géologique nous permet-elle d'en produire un schéma structural ?

Travail à faire

- ***Proposez*** *un schéma structural (figure 29) de la carte de Condé-sur-Noireau (figure 28).*
- ***Proposez*** *un schéma structural (figure 31) de l'extrait de la carte de Falaise (figure 30).*

Activité 2. Production d'un schéma structural

Comment l'étude d'une carte géologique nous permet-elle d'en produire un schéma structural ?

Savoirs à construire	Schéma structural

Savoir-faire sollicité	**Capacité ou attitude visée**	**Évaluation**
	Analyser, interpréter, raisonner, mettre en relation des données	

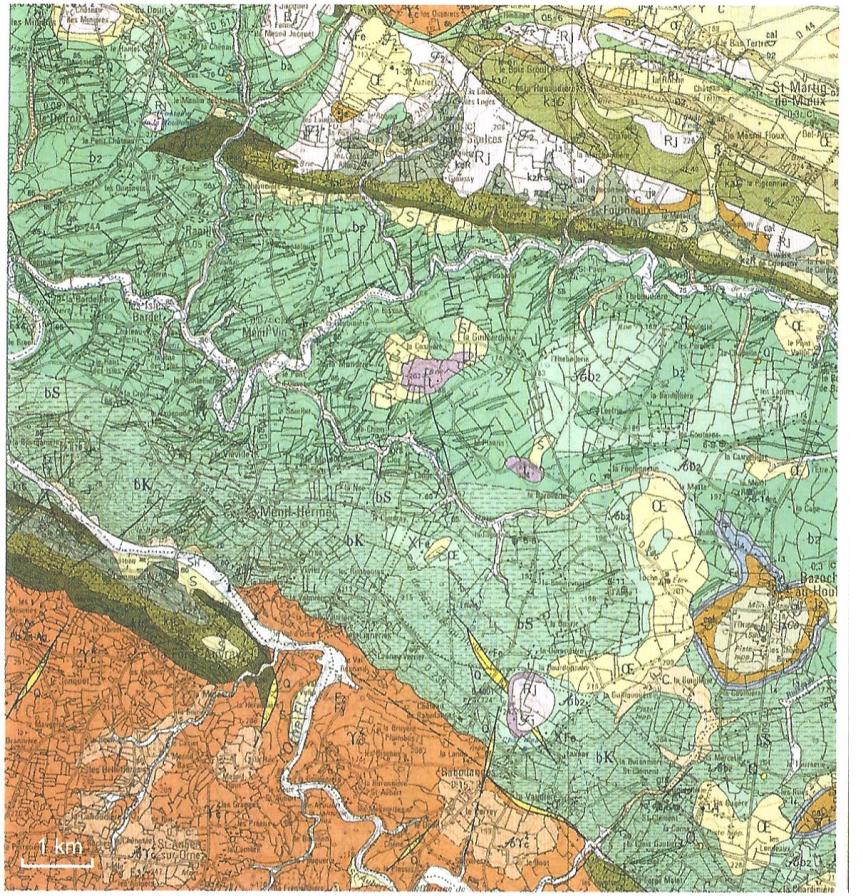
Travail à effectuer

Proposez un **schéma structural** (figure 29) de la carte de Condé-sur-Noireau (figure 27).

La carte géologique de Condé-sur-Noireau au 1/50 000 (©BRGM)

FIGURE 29. Carte de Condé-sur-Noireau. D'après BORDI *et al.* (2018)

FIGURE 28. Schéma structural de la carte de Condé-sur-Noireau. D'après BORDI *et al.* (2018)



Extrait de la carte géologique à 1/50 000 de Falaise (© BRGM, 1999)

Altérites

Rj : formations résiduelles du Jurassique ; OE : loess

Altérites de la granodiorite d'Athis

Altérites des formations briovériennes

MESOZOÏQUE

Jurassique (j_3, j_2, j_1, l_4, l_3O, l_2)

Trias (t)

PALEOZOÏQUE

Ordovicien (o_{5-6}, d_{4-5}, o_3,o_2)

Cambien (k-o_1, k_4, k_3G, k_2, k_1)

PROTÉROZOÏQUE SUPÉRIEUR

Plutonisme cadomien

Granodiorite à cordiérite d'Athis et de Quinquefougère

Métamorphisme

Briovérien métamorphisé au contact des granodiorites d'Athis et de Quinquefougère

bK - Cornéennes à biotite, muscovite et cordiérite

bS - Schistes tachetés

1 - Limite des auréoles du métamorphisme de contact

Briovérien supérieur

Formation de la Laize. Flysch : grès, siltites, argilites noires

1 - faisceaux de bancs à dominante gréseuse

FIGURE 29. Extrait de la carte de Falaise. D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

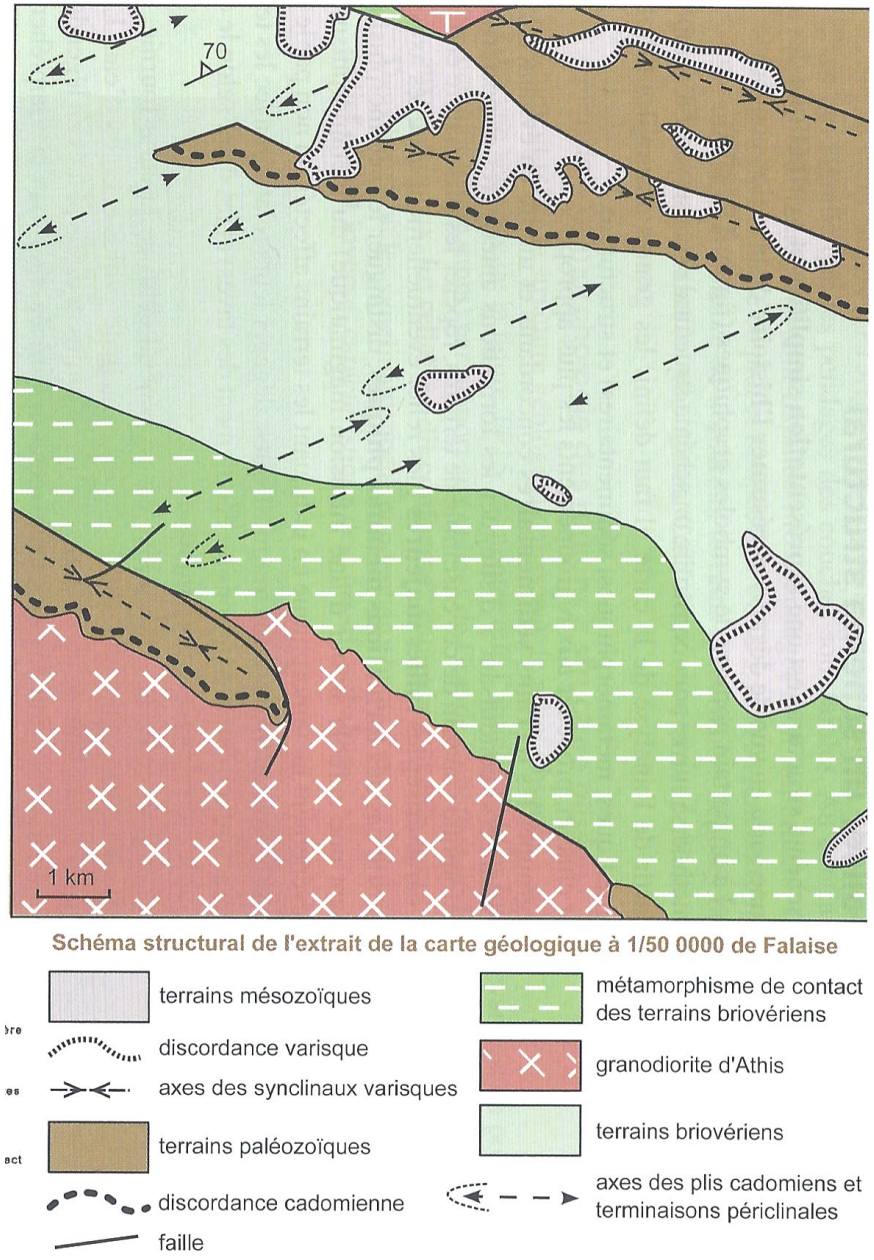


FIGURE 30. Schéma structural de l'extrait de la carte de Falaise.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

G. La recherche d'indices des variations climatiques du dernier million d'années

- Sur de nombreuses **cartes géologiques**, on peut parfois noter la **présence de terrasses glaciaires**, déposées lors des **grandes glaciations**, dont la **largeur** et l'**altitude** contrastent avec le **cours d'eau actuel** (figure 29).

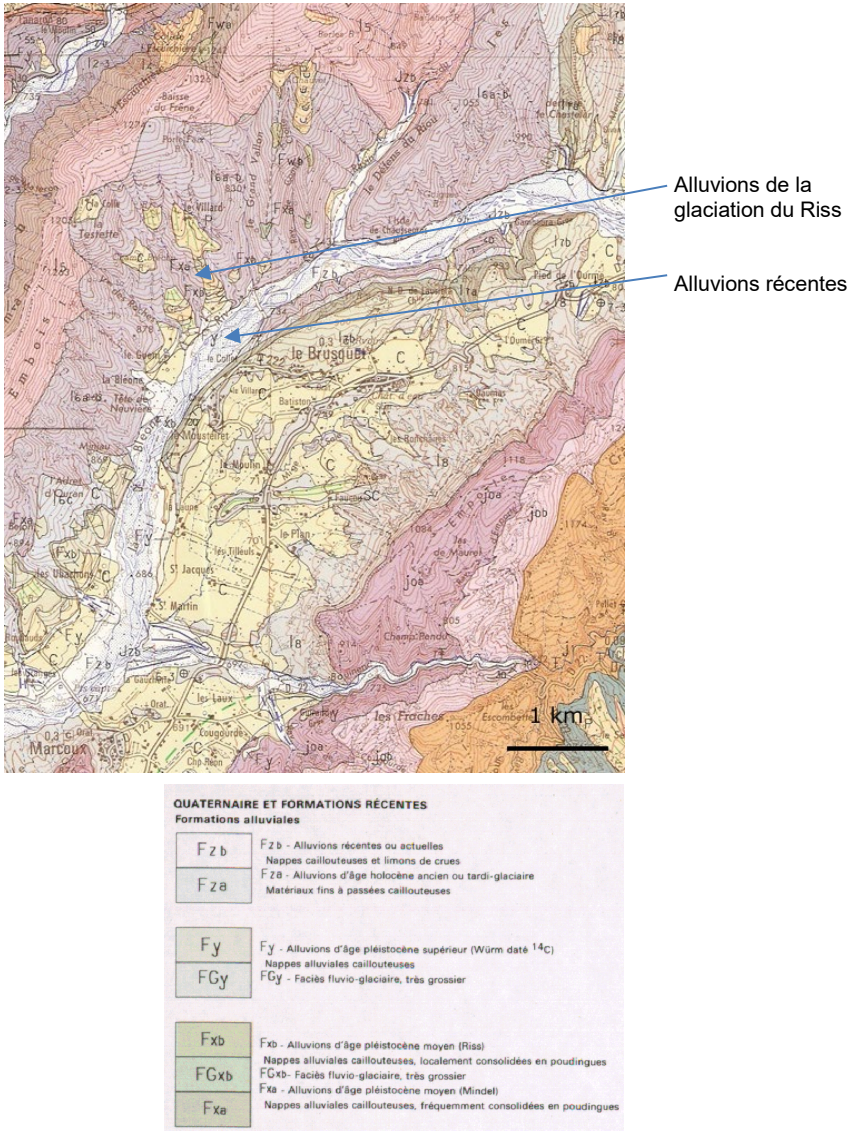


FIGURE 29. Extrait de la carte et de la légende de La Javie. © BRGM

H. La confrontation à des outils numériques

- Les cartes géologiques peuvent être complétées par :
  - Des **modèles numériques de terrain (MNT)**, qui sont des ***représentations en 2D ou plus souvent 3D de la topographie et parfois de la géologie d'une zone***.
  - Des **systèmes d'information géographique (SIG)**, ***systèmes informatiques compilant des données géographiques géologiques, géographiques, humaines… souvent référencés sur Internet*** (même s'il existe de **bases non publiques**) (figures 30-31).

On peut citer notamment pour vous :
- ***Infoterre*** qui compile les cartes géologiques du BRGM : http://infoterre.brgm.fr/
- ***Géoportail*** qui compile les cartes géographiques de l'IGN, géologiques du BRGM, des photos satellitales… : https://www.geoportail.gouv.fr/
- ***Google Earth***, puissant outil international : https://www.google.fr/intl/fr/earth/

- Ces outils en permettant la **navigation**, parfois en **3D**, dans les **différents formats d'images** proposées (**cartes**, **photos satellites**…), voire permettant d'**enregistrer des données** (cas de *Google Earth*) apportent un **éclairage complémentaire** aux cartes papier.

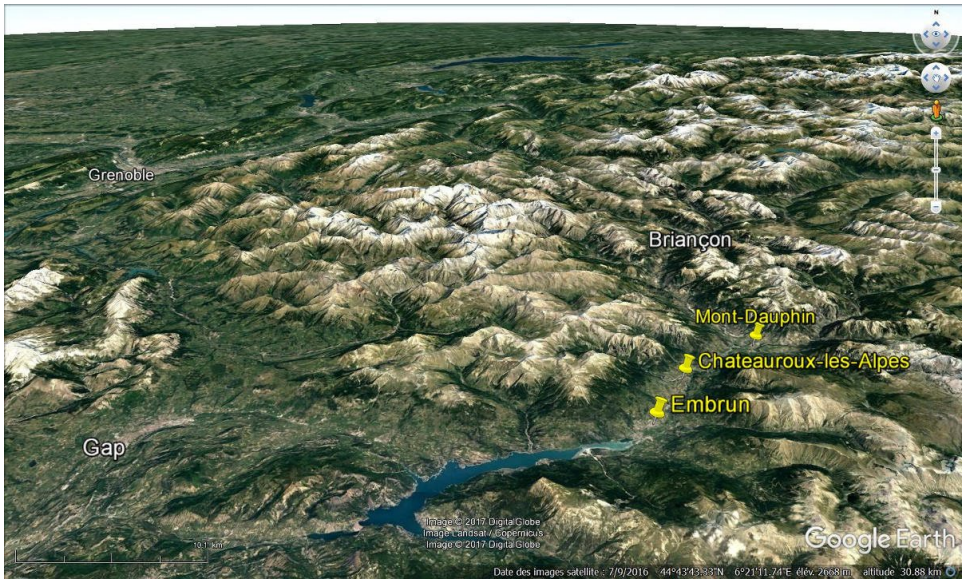
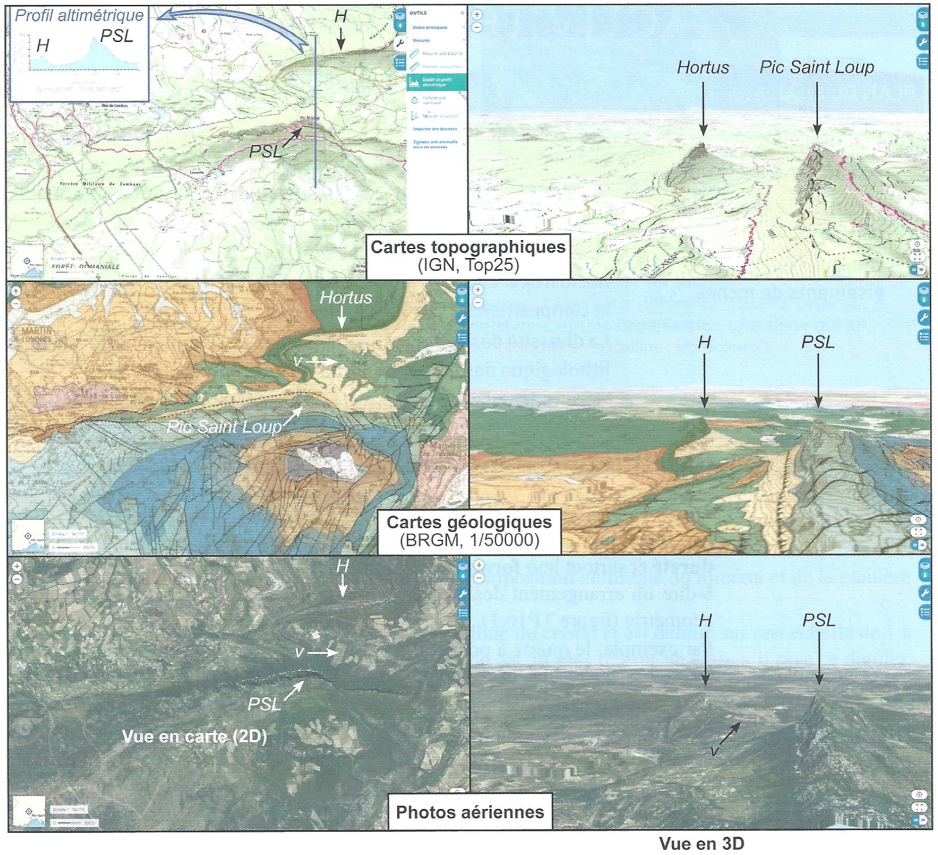


FIGURE 30. Vue oblique en 3D d'images sattellitales dans *Google Earth* au niveau des Alpes.
http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/Img572-2017-06-05.xml
(consultation avril 2019)
Les zones localisées correspondent à des terrasses glaciaires (suivre le lien pour plus d'informations).



Exemples de corrélation entre différentes cartes référencées (Source : © IGN/2021/Source geoportail®) dans la région de Saint Martin de Londres (Hérault).
Lien entre relief, géologie et exploitations agricoles : les montagnes formées de calcaires jurassiques (Pic Saint Loup, PSL) et crétacés (Hortus, H) font saillie dans le paysage, tandis que les vignes (v) sont plantées dans la combe, sur les marnes crétacées peu résistantes à l'érosion.

FIGURE 31. Confrontation de données géographiques et géologiques de cartes avec des outils numériques. D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

Références

ARCHAMBAULT, M., R. LHÉNAFF & J.-R. VANNEY [1974*a*]. *Documents et méthode pour le commentaire de cartes (géographie et géologie). Premier fascicule. Principes généraux.* Masson, Paris, 2e édition (1e édition 1965).

ARCHAMBAULT, M., R. LHÉNAFF & J.-R. VANNEY 1974*b*. *Documents et méthode pour le commentaire de cartes (géographie et géologie). Deuxième fascicule. Reliefs structuraux.* Masson, Paris, 2e édition (1e édition 1967).

AUBOIN, J., J. DERCOURT & B. LABESSE (1970). *Manuel de travaux pratiques de cartographie. 1er cycle et maîtrise.* Dunod, Paris.

AUBOIN, J., R. BROUSSE & J.-P. LEHMAN (1978). *Précis de géologie. 2. Paléontologie, stratigraphie.* Dunod (Bordas), Paris, 3e édition (1e édition 1967).

BARD, J.-P. (1990). *Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques*. Masson, Paris, 2e édition (1e édition 1980).

BEAUX, J.-F. & A. MAMECIER (2012). *Les sciences de la Terre.* Nathan, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

BEAUX, J.-F., J.-F. FOGELGESANG, P. AGARD & V. BOUTIN, 2011. *Atlas de Géologie Pétrologie. BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BERNARD, J.-J., D. CONTINI, G. GODET & G. GOHAU (1995). *Le Temps en géologie. Sciences de la Terre.* Hachette, Paris.

BIJU-DUVAL, B. (1999). *Géologie sédimentaire. Bassins. Environnements de dépôts. Formation du pétrole.* Technip, Paris, Institut français du pétrole (École du Pétrole et des Moteurs), Rueil-Malmaison (92).

BISHOP, A. C., W. R. HAMILTON, A. R. WOOLEY (2001). *Guide des minéraux, roches et fossiles*. « Les Guides du naturalistes », Delachaux et Niestlé, Paris, 336 pages.

BORIE, J.-L. (1972). *Sciences naturelles. Classe de 1re D. Tome II. Géologie.* Bordas, Paris.

BORDI, C., F. SAINTPIERRE (dir.), M. ALGRAIN, R. BOUDJEMAÏ, H. CLAUCE, O. GUIPPONI & Y. KRAUSS (2018). *Mémento Géologie BCPST 1re et 2e années*. Vuibert, Paris.

BOTTINELLI, L., A. BRAHIC, L. GOUGUENHEIN, J. RIPERT & J. SERT (1993). *La Terre et l'Univers. Sciences de l'Univers.* Hachette, Paris.

BRUNET, F., D. ANDRAULT & G. CHAZOT (2007). *La Terre interne. Roches et matériaux en conditions extrêmes.* Vuibert, Paris.

CARON, J.-M., A. GAUTHIER, J.-M. LARDEAUX, A. SCHAAF, J. ULYSSE & J. WOZNIAK (2003) (2e édition, 1989). *Comprendre et enseigner la planète Terre.* Ophrys, Gap – Paris, 303 pages.

CHAMLEY, H. (2000). *Bases de sédimentologie*. Dunod, Paris, 2 édition (1e édition 1987).

CAMPY, M. & J.-J. MACAIRE (2003). *Géologie de la surface*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1989).

CHANTRAINE, J., A. AUTRAN, C. CAVELIER (dir.) et collaborateurs (2003). *Carte géologique de la France à l'échelle du millionième*. Service géologique national, Bureau de Recherches géologiques et minières, Orléans, 6e édition.

CHAPUS, J.-L. (2006) (2e). *Initiation à la géomorphologie*. « Universités Géographie », Ellipses, Paris, 172 pages.

COJAN, I. & M. RENARD (2006). *Sédimentologie*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

CORDIER, P. & H. LEROUX (2008). *Ce que disent les minéraux.* Belin, Paris.

DANIEL, J.-Y., C. AUBOURG & P. DE WEVER (dir.) (2000). *Problèmes résolus de Sciences de la Terre et de l'Univers.* Vuibert, Paris.

DANIEL, J.-Y. (dir.), A. BRAHIC, M. HOFFERT, R. MAURY, A. SCHAAF & M. TARDY (2006). *Sciences de la Terre et de l'Univers*. Vuibert, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

DE WEVER, P., L. LABROUSSE, D. RAYMOND & A. SCHAAF (2005). *La mesure du temps dans l'histoire de la Terre*. Vuibert, Paris.

DEBELMAS, J., G. MASCLE & C. BASILE (2008). *Les grandes structures géologiques.* Dunod, Paris, 5e édition (1e édition 1991).

DECONINCK, J.-F. (2006). *Paléoclimats. L'enregistrement des variations climatiques.* Société géologique de France – Vuibert, Paris.

DELMAS, R., S. CHAUZY, J.-M. VERSTRAETE & H. FERRÉ (2007). *Atmosphère, océan et climat.* Belin, Paris.

DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1re année*. Vuibert, Paris.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DERCOURT, J. (2002). *Géologie et géodynamique de la France. Outre-mer et européenne.* « Sciences Sup », Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 1997), 330 pages.

DERCOURT, J., J. PAQUET, P. THOMAS & C. LANGLOIS (2006). *Géologie. Objets, méthodes et modèles*. Dunod, Paris, 12e édition (1e édition 1974).

DUCHAUFOUR, P. (2001). *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement.* Dunod, Paris, 6e édition (1e édition 1984, *Abrégé de pédologie*).

EMMANUEL, L., M. DE RAFÉLIS & A. PASCO (2007). *Maxi fiches Géologie*. Dunod, Paris, 228 pages + VIII.

FOUCAULT, A. & J.-F. RAOULT (1966). *Coupes et cartes géologiques.* Société d'Édition d'Enseignement Supérieur (SEDES), Paris.

FOUCAULT, A. & J.-F. RAOULT (1975). *Coupes et cartes géologiques. 2e édition revue et augmentée* (1e édition 1966). Société d'Édition d'Enseignement Supérieur (SEDES) - Doin, Paris.

FOUCAULT, A. & J.-F. RAOULT (2005). *Dictionnaire de Géologie.* Dunod, Paris, 6e édition (1e édition 1980).

FOUCAULT, A., J.-F. RAOULT, F. CECCA & B. PLATEVOET (2014). *Dictionnaire de Géologie.* Dunod, Paris, 8e édition (1e édition 1980).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

JAUJARD, D. (2015). *Géologie. Géodynamique. Pétrologie. Études de terrain*. Maloine, Paris.

JOLIVET, L. & H.-C. NATAF (1998). *Géodynamique*. Dunod, Paris.

JUNG, J. (1958). *Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.* Masson et Cie, Paris.

JUPIN, H. (1996). *Le Cycle du carbone*. Hachette supérieur, Paris.

LAGABRIELLE, Y., R. MAURY & M. RENARD (2013). *Mémo visuel de Géologie. L'essentiel en fiches. Licence. Prépas. CAPES.* Dunod, Paris.

MARSHAK, S. (2010). *Terre, portrait d'une planète.* Traduction O. ÉVRAD. De Boeck, Bruxelles (3e édition américaine 2008).

MASCLE, G. (2008). *Les roches, mémoire du temps.* EDP Sciences, Les Ulis (91).

MATTAUER, M. (1998). *Ce que disent les pierres.* Belin – Pour la Science, Paris.

PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, L. BOUGEOIS, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J. DÉMARET-NICOLAS, A. EMOND, S. MAURY, O. MONNIER, T. SOUBAYA, A. VERGNAUD & A. WOEHRLÉ (2021). *Biologie-Géologie BCPST 1. Tout-en-un.* Dunod, Malakoff (F).

PEYCRU, P. (dir.), J.-M. DUPIN, J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. VAN DER REST, F. CARIOU, C. PERRIER & B. AUGÈRE (2008). *Géologie tout-en-un 1re et 2e années BCPST.* Dunod, Paris.

PEYCRU, P., J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, C. BECK, F. CARIOU, J.-M. DUPIN, J.-L. SCHNEIDER, M. TARDY & C. VAN DER REST (2015). *Géologie tout-en-un BCPST 1er et 2e années.* Dunod, Paris.

POMEROL, C., Y. LAGABRIELLE, M. RENARD & S. GUILLOT (2011). *Éléments de géologie.* Dunod, Paris, 14e édition (1e édition 1965).

PROVOST, A. & C. LANGLOIS (2011). *Mini manuel de Géologie – Roches et géochimie.* Dunod, Paris.

RENARD, M., Y. LAGABRIELLE, E. MARTIN & M. DE RAFÉLIS (2018). *Éléments de géologie. 16e édition du « Pomerol »*. 1e édition 1965 (Armand Colin). Dunod, Paris.

ROBERT, C. & R. BOUSQUET (2013). *Géosciences. La dynamique du système Terre.* Belin, Paris.

ROTARU, M., J. GAILLARDET, M. STEINBERG & J. TRICHET (2006). *Les climats passés de la Terre.* Société géologique de France – Vuibert, Paris.

SOREL, D. & P. VERGELY (2010). *Atlas. Initiation aux cartes et aux coupes géologiques.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

TROMPETTE, R. (2003). *La Terre. Une planète singulière.* Belin, Paris.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. La carte géologique : modalités d'élaboration et contenus 3
A. L'élaboration d'une carte géologique 3
B. La diversité des informations présentes 3
1. Les informations géographiques et toponymiques [marron sombre] 3
2. L'information topographique (= altitudinale) : les courbes de niveaux [bistre] 4
3. Les informations géologiques [noir et trames] 5
a. La lithologie (nature des roches) et la stratigraphie (organisation géométrique des couches géologiques) 5
α. Nature et âge des roches 5
β. Contour [trait fin noir] et pendage des couches géologiques 5
b. Les informations structurales (tectoniques) : failles et plis 5
c. Parfois : des informations gîtologiques ou hydrologiques 5
d. Parfois : un log, des coupes, un schéma structural… 5

II. La dimension temporelle en cartographie : échelle stratigraphique et principes de datation relative 6
A. L'échelle stratigraphique internationale 6
B. La datation des événements géologiques les uns par rapport aux autres : la datation relative 7
1. Le principe de continuité latérale 8
2. Le principe de superposition 8
3. Le principe d'inclusion 8
4. Le principe de recoupement 8
5. Le principe d'identité paléontologique 8
C. L'érosion avant nouveau dépôt : la notion de discordance 9

III. L'exploitation d'une carte géologique : quelques principes 9
A. L'emploi des données stratigraphiques 9
1. La reconnaissance des grands types de dépôts et leur chronologie 9
2. La détermination du pendage des couches (hors indications de pendage) 9
a. En relief tabulaire : des limites de couches parallèles aux courbes de niveau 9
b. En relief monoclinal : des limites de couches subparallèles aux courbes de niveau (et globalement parallèles entre elles dans le cas des cuestas) 10
c. La détermination du pendage dans les autres situations : technique du V dans la vallée 10
B. La reconnaissance des principales structures 11
1. Les déformations cassantes : les failles [traits noirs épais] 11
2. Les déformations ductiles : les plis 12
C. La production et l'utilisation de coupes géologiques 13
D. La production et l'utilisation de blocs diagrammes 15
E. La production et l'utilisation d'un log 17
F. La production et l'utilisation d'un schéma structural 17
G. La recherche d'indices des variations climatiques du dernier million d'années 19
H. La confrontation à des outils numériques 20

Références 21
Plan du chapitre 22

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.

Document achevé en avril 2019 (prépa TB) • Dernière actualisation : janvier 2022.

Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com

Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.