



DOSSIER INSTRUCTION

Jean-Pierre HOLVOET

Patrick PLUCHON

ELEMENTS DE GEOLOGIE

1ère édition - Décembre 1996

Ecole Française de
Spéléologie



ELEMENTS DE GEOLOGIE

1. GENERALITES

- 1.1. Géologie et spéléologie
- 1.2. Histoire géologique sommaire de la terre
- 1.3. Les karsts dans le monde

2. ETUDE DES ROCHES

- 2.1. Les roches éruptives ou magmatiques
- 2.2. Les roches sédimentaires
 - 2.2.1. Les roches carbonatées
 - 2.2.2. Les roches composites
 - 2.2.3. Les roches salines
- 2.3. Les roches métamorphiques

3. NOTIONS DE STRATIGRAPHIE

- 3.1. Les milieux de la sédimentation
- 3.2. Les principes de la stratigraphie
- 3.3. Méthodes de datation des couches
- 3.4. Echelle stratigraphique

4. NOTIONS DE TECTONIQUE

- 4.1. Définition
- 4.2. Les déformations tectoniques
 - 4.2.1. Les joints de stratification
 - 4.2.2. Les diaclases
 - 4.2.3. Les failles
 - 4.2.4. Les plis
 - 4.2.5. La mesure des pendages

5. LA CARTE GEOLOGIQUE

- 5.1. Description
- 5.2. Légende et livret d'accompagnement
- 5.3. Son intérêt pour le spéléologue

6. BIBLIOGRAPHIE

1 - GENERALITES

1.1. Géologie et spéléologie.

La géologie est une science qui a pour objet la description des matériaux qui constituent le globe terrestre, et l'étude des transformations passées et actuelles subies par la terre. C'est aussi l'histoire de la vie jusqu'à l'homme. Elle se divise en de nombreuses branches telles que : la pétrographie, la minéralogie, la cristallographie, la stratigraphie, la tectonique, l'hydrogéologie, la paléontologie, la géo-dynamique etc...

Le spéléologue prospecte des massifs calcaires et explore les cavités naturelles qu'il découvre. Il évolue donc dans un monde essentiellement minéral où, à part quelques petits animaux, on ne trouve que de l'eau et des roches.

Le spéléologue est donc forcément confronté à des questions d'ordre géologique : Quelle est la nature et l'origine de cette roche ? Jusqu'où peut se développer ce réseau ? Où faut-il prospecter ? Comment s'est formée cette montagne ? etc...

Ce dossier d'instruction EFS n'est pas un cours de géologie. Il vise simplement à apporter aux spéléologues quelques éléments indispensables pour mieux comprendre l'évolution des cavités qu'ils explorent.

1.2. Histoire géologique sommaire de la terre.

La terre est une sphère, légèrement aplatie aux pôles, d'environ 12700 km de diamètre et 40000 km de circonférence. Son âge est estimé à environ 4,6 milliards d'années.

La terre est constituée d'un noyau interne, d'un noyau externe, d'un manteau visqueux (le magma) affecté de mouvements de convection, et d'une croûte (ou écorce) rigide.

L'écorce terrestre s'est probablement formée à une époque très ancienne de l'histoire géologique de la terre, et à partir des matériaux du manteau. Epaisse d'une quarantaine de kilomètres sous les continents, et d'une dizaine seulement sous les océans, elle est continuellement soumise à des actions endogènes créatrices de relief (orogénèse et volcanisme) et exogènes (érosion).

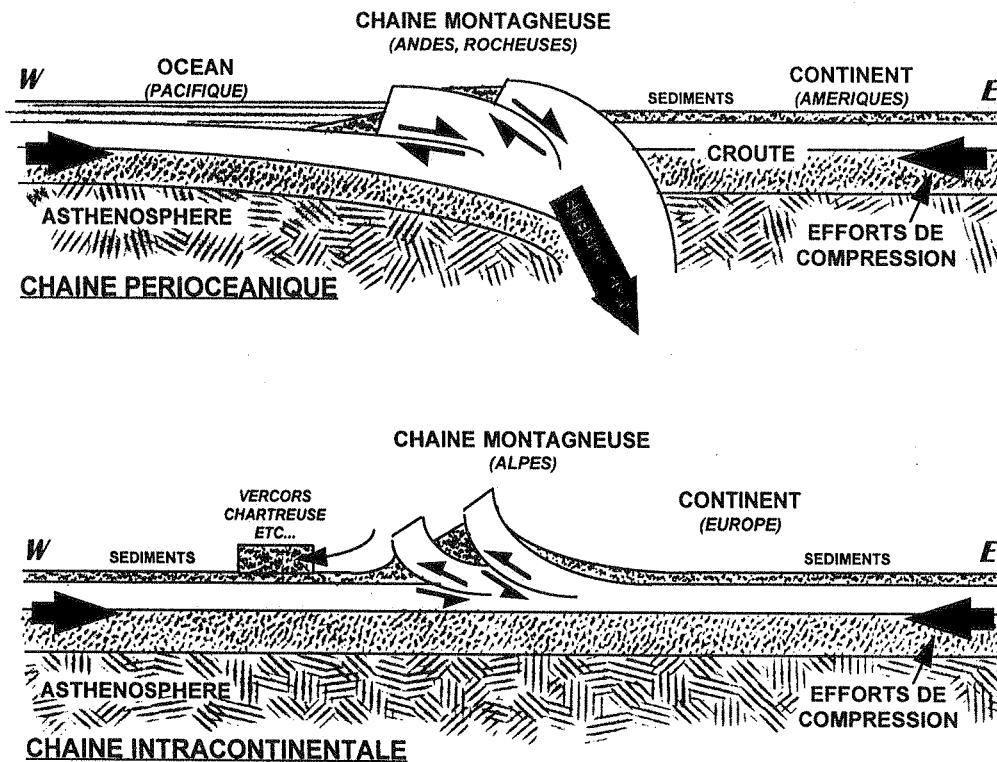
La croûte terrestre est en fait constituée de grandes plaques de granite flottant à la surface de la couche basaltique visqueuse, le magma.

La création des chaînes de montagnes est liée aux mouvements des plaques tectoniques. Ainsi lorsque deux plaques s'écartent, il y a formation d'un fossé ou d'une mer. En contrepartie, si deux plaques se rencontrent par subduction ou collision, il y a formation d'une chaîne de montagnes. L'ensemble de ces mouvements se nomme "tectonique des plaques". Ils sont généralement très lents (les plaques américaine et africaine s'écartent de quelques centimètres par an), mais peuvent être aussi brutaux et se manifester par des séismes.

Il existe deux types de chaînes de montagnes (figure 1) :

- Les chaînes péri-océaniques se sont formées quand la croûte océanique du Pacifique est venue s'enfoncer sous la plaque de l'Amérique (ex : Montagnes Rocheuses, Andes.)
- Les chaînes intra-contininentales résultent de l'emboutissement de deux plaques continentales (ex : les Alpes, l'Himalaya).

Figure 1 = chaînes péri-océaniques et intra-contininentales.



Ainsi en Europe, dès le Précambrien et l'ère primaire, des orogénèses se produisent, entraînant des plissements. Puis à l'ère secondaire (245 millions d'années - 65 millions d'années) les mers envahissent les terres émergées et déposent d'énormes couches de sédiments. C'est la **sédimentation**.

Ces roches sédimentaires sont alors soulevées et plissées, principalement au tertiaire pour l'orogénèse alpine. C'est ainsi que sur le pourtour des Alpes, des calcaires vont être portés en relief générant les chaînes dites sub-alpines (Vercors, Chartreuse ...) ou le Jura.

Le quaternaire (- 2 millions d'années à nos jours) est marqué par plusieurs glaciations successives dont le rôle sur la karstification est primordial, notamment par l'abondance des écoulements lors de la fonte glaciaire en pays de montagne.

1.3. Les karsts dans le monde.

La superficie totale des affleurements calcaires est d'environ 5,3 millions de km², soit 4% des terres émergées (sans l'Antarctique). Cette surface est probablement à augmenter dans la mesure où on ne peut pas compter les secteurs recouverts par une faible épaisseur de sédiments.

L'Europe est le continent qui possède proportionnellement le plus de terrains calcaires : 1,5 million de km², contre 1,6 pour l'Asie, soit 13,5 % de sa superficie contre 3,6 % pour l'Asie. Mais c'est la Chine qui détient la plus vaste étendue karstique du monde avec les 600000 km² de la Chine du sud (type subtropical). A cela ajoutons le Nord du Lac Baïkal ou la Patagonie (zone humide et froide) ou la plaine de Nullarbor (zone sèche). La France n'est pas en reste avec un tiers de sa surface couvert de terrains carbonatés. Même si tous ne sont pas spéléologiquement pénétrables, cela représente un beau patrimoine karstique.

L'épaisseur (ou **puissance**) des calcaires varie énormément d'un point à l'autre du globe. Ainsi en Chine, la puissance des calcaires peut atteindre 3000 m par endroit, ainsi qu'en Papouasie-Nouvelle Guinée. En Slovénie et en Crète, elle atteint 1000 m, alors que dans les Alpes ou dans les Pyrénées, elle dépasse rarement 400 m. Cependant, comme on le verra, l'épaisseur des couches calcaires n'est pas un caractère suffisant pour déterminer la profondeur maximale potentielle des gouffres, il faut aussi tenir compte du pendage des couches, et de l'altitude des gouffres (exemple du Gouffre Berger dans le Vercors.)

2. ETUDE DES ROCHES

L'étude des roches ou **pétrographie** distingue généralement les roches éruptives, les roches sédimentaires et les roches métamorphiques. Mais seules certaines roches sédimentaires sont susceptibles d'être karstifiées.

2.1. Les roches éruptives.

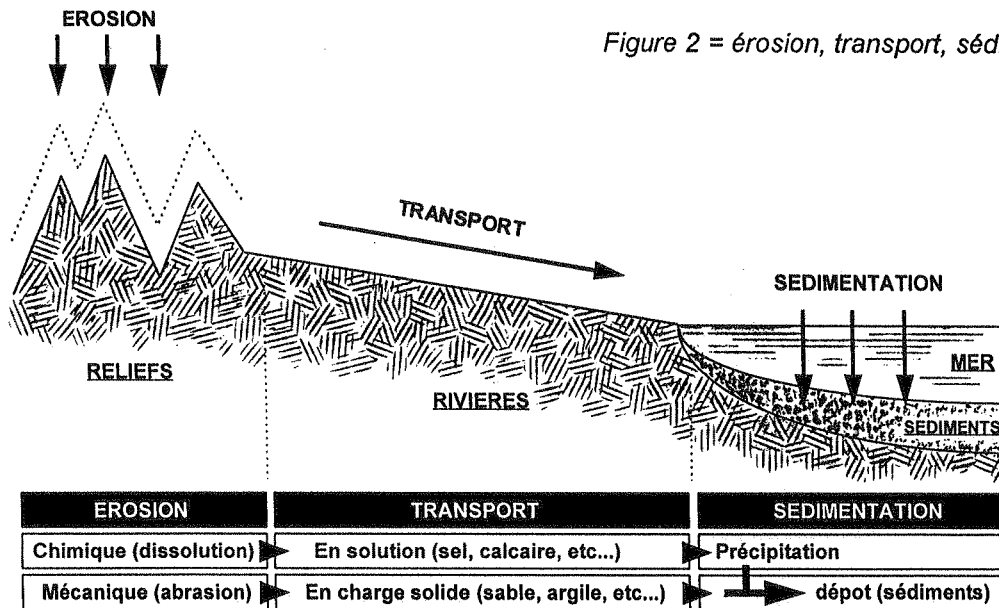
Elles ont une origine profonde, c'est pourquoi on les appelle aussi roches ignées ou endogènes.

Les **granites** sont des roches grenues (la plupart des cristaux sont visibles) qui se sont cristallisées dans les profondeurs de l'écorce terrestre avant d'être mises à jour par des soulèvements ultérieurs ou par l'érosion (roches intrusives). Ils constituent de vastes massifs affectés de nombreuses fissures, mais ne sont pas karstifiables.

Les laves ou roches volcaniques proviennent de la couche basaltique qui affleure souvent au fond des océans. Les **basaltes** visibles à la surface des continents sont issus des volcans actuels ou fossiles (roches extrusives ou effusives). Les roches volcaniques peuvent parfois renfermer des cavités non karstiques importantes comme d'anciennes cheminées volcaniques et des tubes à laves.

2.2. Les roches sédimentaires.

Elles sont constituées d'éléments très variés provenant de la longue transformation (diagenèse) de dépôts divers d'origine détritique (sable, galets..), chimique (gypse, silice..), ou biologique (calcaire, houille..).



2.2.1. Les roches carbonatées (calcaires et dolomies) forment la majeure partie des roches karstifiables.

- Les roches **calcaires** qui contiennent au minimum 50% de carbonate de calcium (CaCO_3) sont caractérisées par leur assez faible dureté (rayables par l'acier), par leur effervescence à froid aux acides et par leur solubilité relative dans l'eau chargée de gaz carbonique. Elles ont des origines très diverses :

a) Les calcaires détritiques forment des sortes de bétons naturels composés par des débris rocheux arrachés aux montagnes cimentés par du calcaire (galets cimentés ou poudingues, éléments anguleux soudés ou brèches, graviers calcaires cimentés ou calcarénites). Le terme de conglomérat regroupe à la fois les poudingues et les brèches.

b) Les calcaires organiques construits ou récifaux résultent notamment de la construction de récifs de coraux. Les calcaires à rudistes sont d'autres calcaires construits qui ont donné naissance à l'Urgonien caractéristique des grands karsts alpins. Les rudistes sont des fossiles de mollusques qui se sont groupés en colonies, parfois associés à des coraux et à des algues, soit dans des mers chaudes de faible profondeur, soit sur des plateformes à proximité du littoral.

c) Les calcaires à accumulation proviennent de l'entassement progressif et de la cimentation des coquilles (tests) d'animaux morts. Les calcaires à entroques sont ainsi constitués par des débris d'échinodermes. Les craies sont exclusivement constituées de tests d'algues (coccolithophoridés).

d) Les calcaires chimiques sont dus à la précipitation du carbonate de calcium dans des eaux saturées de carbonates (tufs, travertins, calcite et aragonite).

- Les roches **dolomitiques** sont composées d'un calcaire double de calcium et de magnésium appelé dolomie : $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$.

Ce sont des roches très compactes ne faisant généralement pas effervescence à froid à l'acide, et fumant parfois au choc du marteau en dégageant une odeur fétide (ex : Chaos de Montpellier le Vieux sur les Causses). En raison de l'obstruction fréquente des conduits par la désagrégation de ce calcaire en sables dolomitiques, ces roches possèdent rarement de grands réseaux.

2.2.2. Les roches composites sont des roches sédimentaires peu karstifiables en raison des impuretés qu'elles contiennent et qui colmatent les fissures. On distingue :

- les **calcaires marneux** contenant de 5 à 35% d'argile,
- les **mares** contenant de 36 à 65% d'argile,
- certains **grès** formés de grains de sable siliceux (quartz) soudés par un ciment calcaire, qui sont peu favorables à la karstification, car leur dissolution conduit à leur décomposition en sable. Quant aux grès à ciment siliceux, ils sont théoriquement inkarstifiables bien que des grottes et des mégadolines de surface aient été découvertes au Venezuela ; mais il s'agit là d'un modelé karstique très particulier qui pourrait provenir de la dissolution du ciment siliceux, notamment par l'intermédiaire d'eaux hydrothermales.

2.2.3. Les roches salines ou évaporites, qui par leur relative abondance et leur faculté à se dissoudre dans l'eau renferment quelques unes des plus longues cavités du globe.

- Le **sel gemme** (NaCl) est très soluble dans l'eau ce qui explique que les affleurements se localisent seulement dans les déserts.
- Le **gypse** est une roche très tendre rayable à l'ongle, composée de sulfate de calcium hydraté ($\text{Ca SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Les karsts de gypse se caractérisent par de nombreuses dolines en entonnoir (ex : Alpes du Beaufortin).

2.3. Les roches métamorphiques.

Ce sont d'anciennes roches éruptives ou sédimentaires qui ont été recristallisées sous de fortes températures et dans des conditions de très fortes pressions, avec ou sans apport chimique, parfois à plusieurs kilomètres de profondeur (ex : les gneiss, les schistes).

Pour le spéléologue, seule la métamorphisation des calcaires présente un intérêt puisqu'ils peuvent être affectés par des phénomènes d'érosion karstique (marbre, cipolin).

3. NOTIONS DE STRATIGRAPHIE

3.1. Les milieux de la sédimentation.

C'est dans les milieux marins, que les dépôts sédimentaires se sont effectués en plus grande quantité, et que leur conservation est la meilleure, car ils sont préservés de la dégradation par les divers agents d'érosion qui agissent sur les continents. Néanmoins, des sédiments se sont aussi déposés dans les milieux continentaux ou lacustres (dépôts fluviaux, éoliens, glaciaires etc).

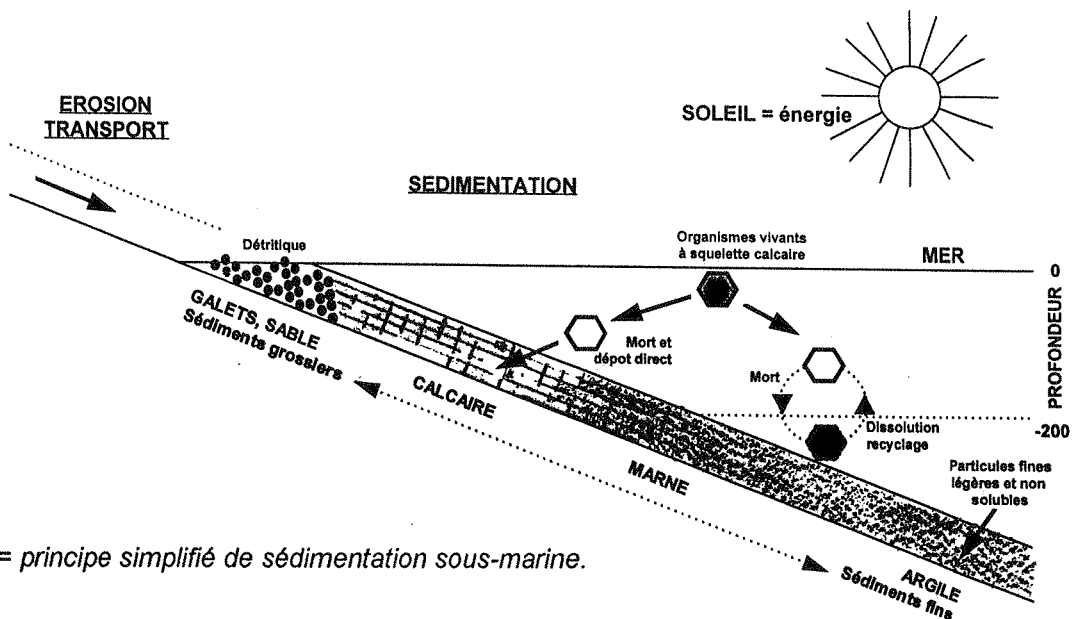


Figure 3 = principe simplifié de sédimentation sous-marine.

3.2. Les principes de la stratigraphie.

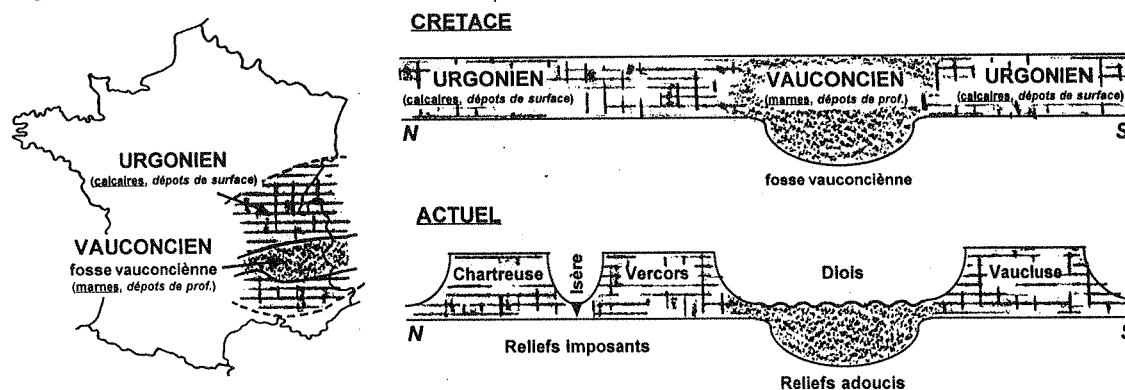
Avant de subir des contraintes tectoniques, les roches sédimentaires se présentent en couches horizontales appelées **strates**. L'étude de la succession des terrains sédimentaires s'appelle la stratigraphie. Elle est basée sur deux principes essentiels :

- Le principe de superposition : à l'origine, les couches se déposent les unes sur les autres. Les plus basses sont donc les plus anciennes et les plus hautes les plus jeunes.

- Le principe de continuité : chaque couche est définie par ses caractéristiques pétrographiques et paléontologiques, c'est ce qu'on nomme le **faciès**.

La modification de l'une ou l'autre de ces caractéristiques entraîne une modification du faciès (ou variation latérale de faciès). Par exemple, le passage progressif des calcaires à des marnes traduit un changement de sédimentation dans l'espace.

Figure 4 = variation de faciès dans les Alpes.



Le but de la stratigraphie est d'établir la chronologie des couches et de permettre ainsi de reconstituer l'histoire géologique de la terre, ou d'une région donnée.

3.3. Méthodes de datation des couches.

Plusieurs méthodes permettent la datation des couches :

- La chronologie relative qui s'appuie essentiellement sur le principe de superposition.
- La chronologie absolue avec comme principaux moyens, l'étude de la radioactivité des roches et la paléontologie ou étude des fossiles. Certains fossiles sont en effet caractéristiques d'époques bien déterminées (ex : les trilobites caractéristiques de l'ère primaire, les ammonites de l'ère secondaire et les nummulites de l'ère tertiaire). Ils permettent ainsi d'établir des corrélations entre des terrains de régions éloignées.

3.4. Echelle stratigraphique.

Grâce à ces méthodes de datation des couches, on a pu établir une échelle stratigraphique qui rend compte de la succession chronologique des couches.

Elle se divise en cinq ères : le précambrien, l'ère primaire ou Paléozoïque, l'ère secondaire ou Mésozoïque, et les ères tertiaire et quaternaire regroupées sous le terme de Cénozoïque, qui représentent les temps fossilifères. Il faut néanmoins noter que ces temps fossilifères ne représentent qu'une partie de l'histoire de la terre (environ 500 millions d'années sur 4,5 milliards d'années).

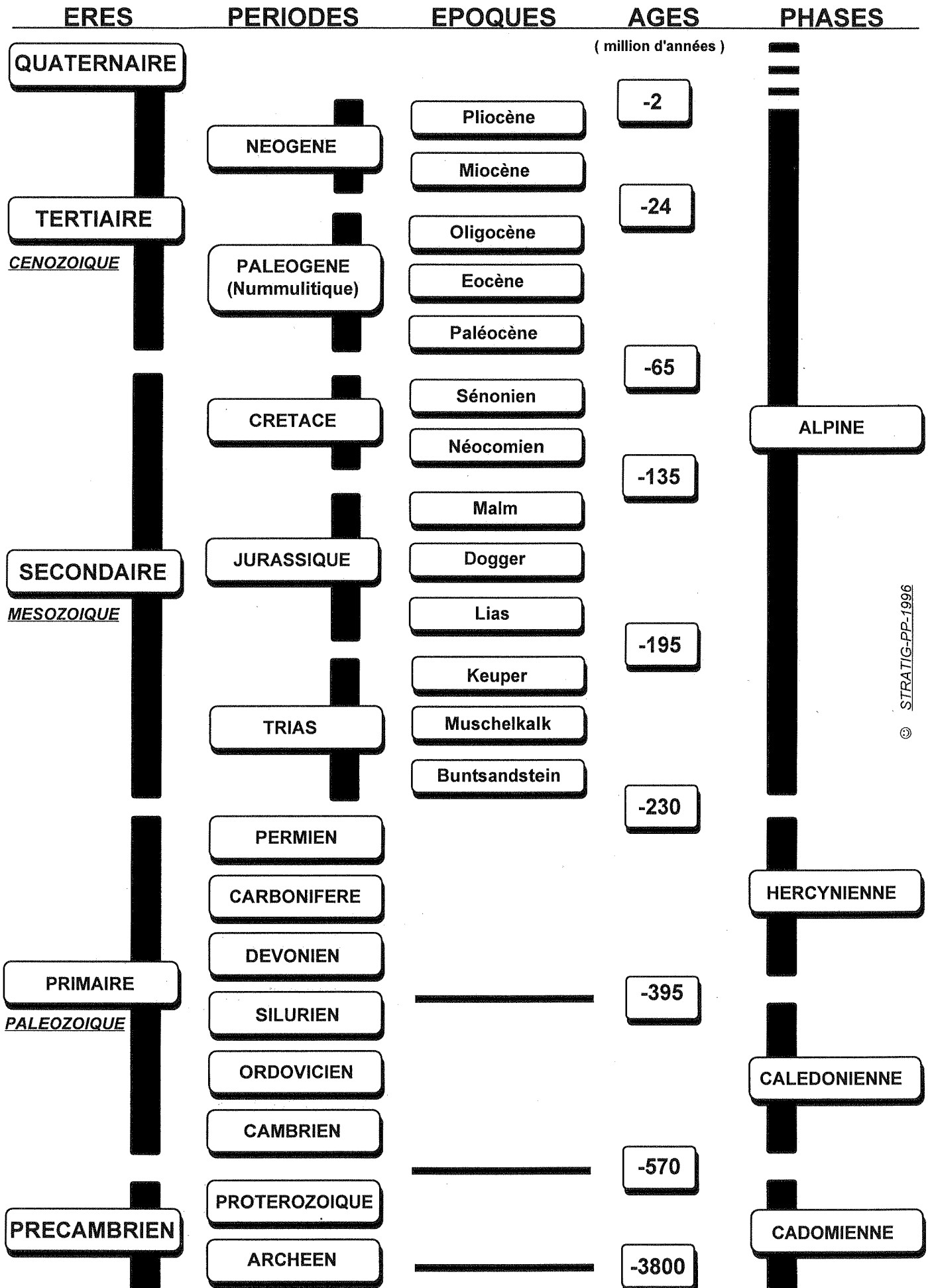
Les ères se divisent en quinze périodes ou systèmes (du Cambrien à l'Holocène).

Un système se compose de plusieurs séries (ex : Trias ou Carbonifère). Une série est une succession d'étages compris entre une submersion marine initiale (ou transgression) et un recul de la mer (ou régression).

Un étage est une unité chronostratigraphique correspondant à une couche bien précise.

Enfin l'âge est l'intervalle de temps qui correspond à un étage. On peut donc dire qu'un échantillon est d'âge barrémien ou appartient à l'étage barrémien.

TABLEAU DES PRINCIPALES UNITES STRATIGRAPHIQUES ET PHASES OROGENIQUES



4. NOTIONS DE TECTONIQUE

4.1. Définition.

La tectonique constitue l'étude des déformations de l'écorce terrestre. On sait que les matériaux qui constituent cette écorce n'occupent que rarement la position qu'ils avaient lors de leur formation. Les couches originellement horizontales sont plissées, fracturées, charriées etc...

Pour le spéléologue, les notions de tectonique s'avèrent indispensables puisque la formation des cavernes, est essentiellement due à l'élargissement de fissures (ou plus généralement de discontinuités dans la masse calcaire) sous l'action physique et chimique des eaux d'infiltration.

Nous avons vu que les mouvements des plaques les unes par rapport aux autres sont à l'origine des déformations, plissements et dislocation des roches de toutes natures constituant l'écorce terrestre. Ces mouvements se répercutent à l'échelle des régions karstiques et jusque dans les roches elles-mêmes qui constituent les massifs que fréquente le spéléologue.

Notons enfin que les déformations subies par les roches dépendent du niveau structural où elles se produisent et du comportement des roches. Ainsi en fonction de l'augmentation de la pression et de la température avec la profondeur, les roches cassantes deviennent de plus en plus souples.

4.2. Les déformations tectoniques.

4.2.1. Les joints de stratification.

Ce sont des plans de discontinuités qui séparent les strates. Les joints de stratification sont contemporains de la formation des strates. Un faible accrochage de ces couches ou un rejeu tectonique peuvent rendre ces joints de stratification utilisables par l'eau.

4.2.2. Les diaclases.

Ce sont des cassures sans déplacement ou rejet, résultant de contraintes tectoniques affectant les strates.

L'eau emprunte les discontinuités de la roche pour initialiser son cheminement.

Celui-ci deviendra, après dissolution des roches solubles, un réseau pénétrable.

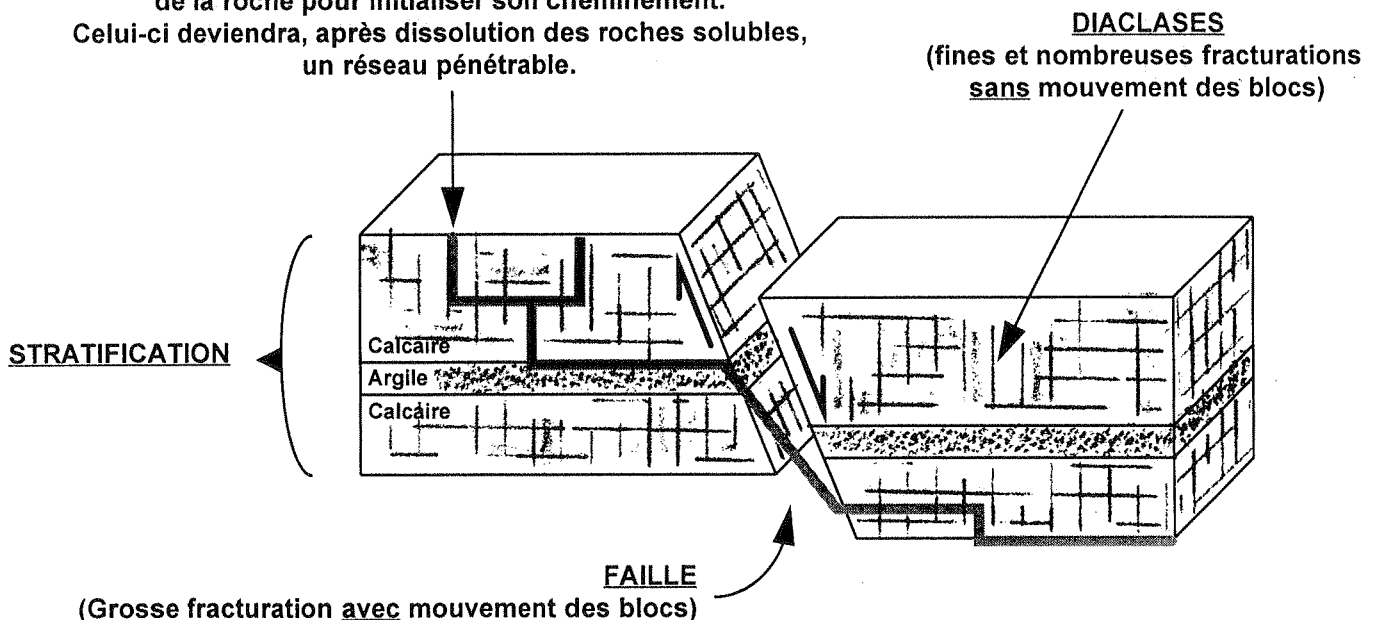


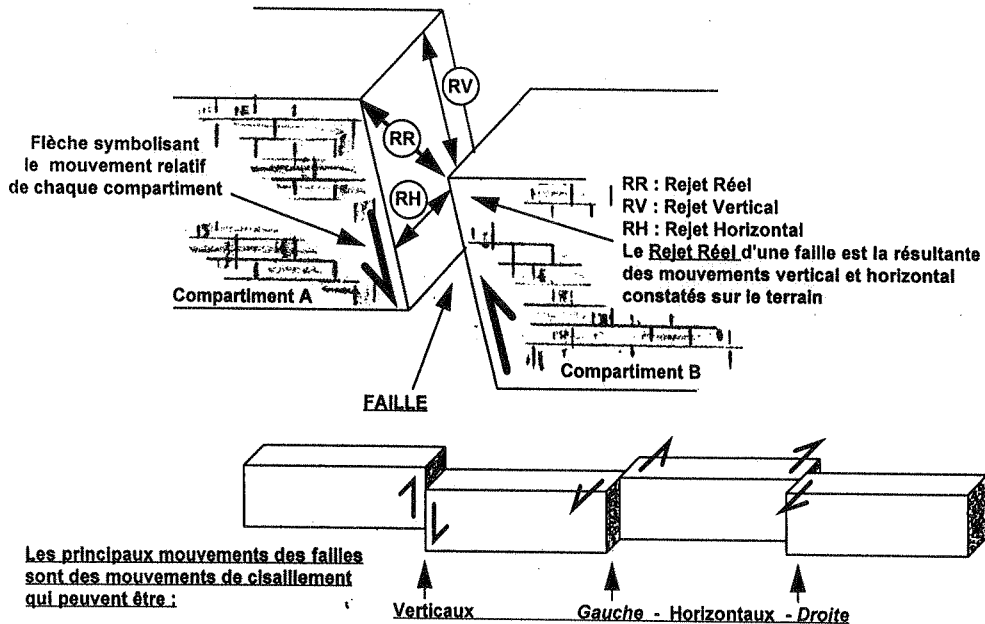
Figure 5 = principales discontinuités dans les roches sédimentaires : strates, diaclases, failles.

4.2.3. Les failles.

Ce sont des cassures majeures avec déplacement des compartiments les uns par rapport aux autres, et qui peuvent être verticales, obliques ou horizontales (traction ou cisaillement).

Le plan de faille correspond à la surface de glissement de deux compartiments et présente parfois soit des débris de roches brisées, soit des surfaces de polissage mécanique, striées ou non, appelées "miroir de faille".

Figure 6 = les failles, terminologie.



4.2.4. Les plis.

Les plis sont des déformations souples (malléabilité de la roche) résultant d'un effort de flexion, de torsion, ou de compression. Leur formation s'accompagne souvent de failles et de diaclases.

Figure 7 = plissement et fracturation.

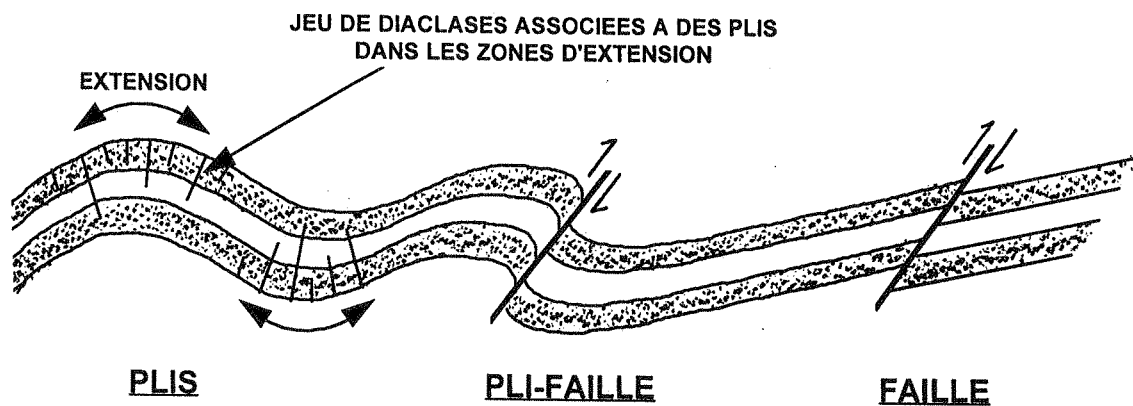
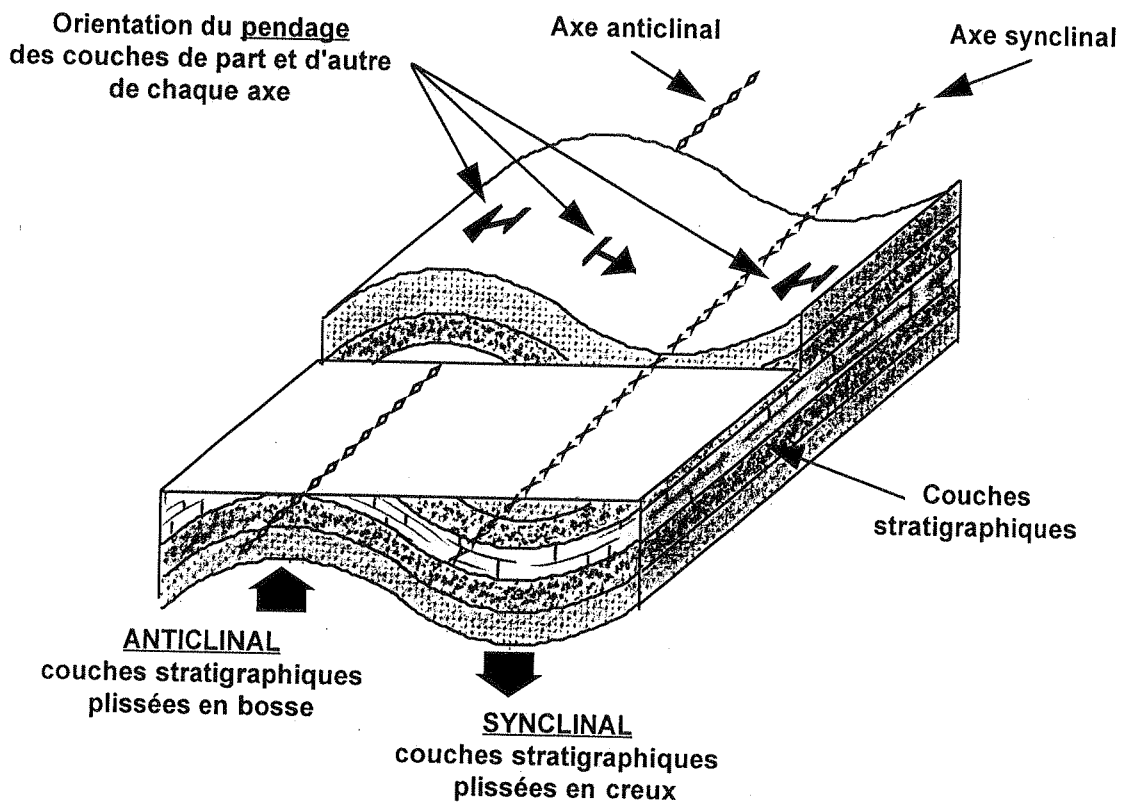


Figure 8 = Principales formes plissées : anticlinal, synclinal, pendage.



Tous ces mouvements tectoniques, auxquels s'ajoutent les différentes formes d'érosion contribuent à la formation de nombreux reliefs qui vont déterminer l'allure générale des réseaux et leur potentiel de dénivellation.

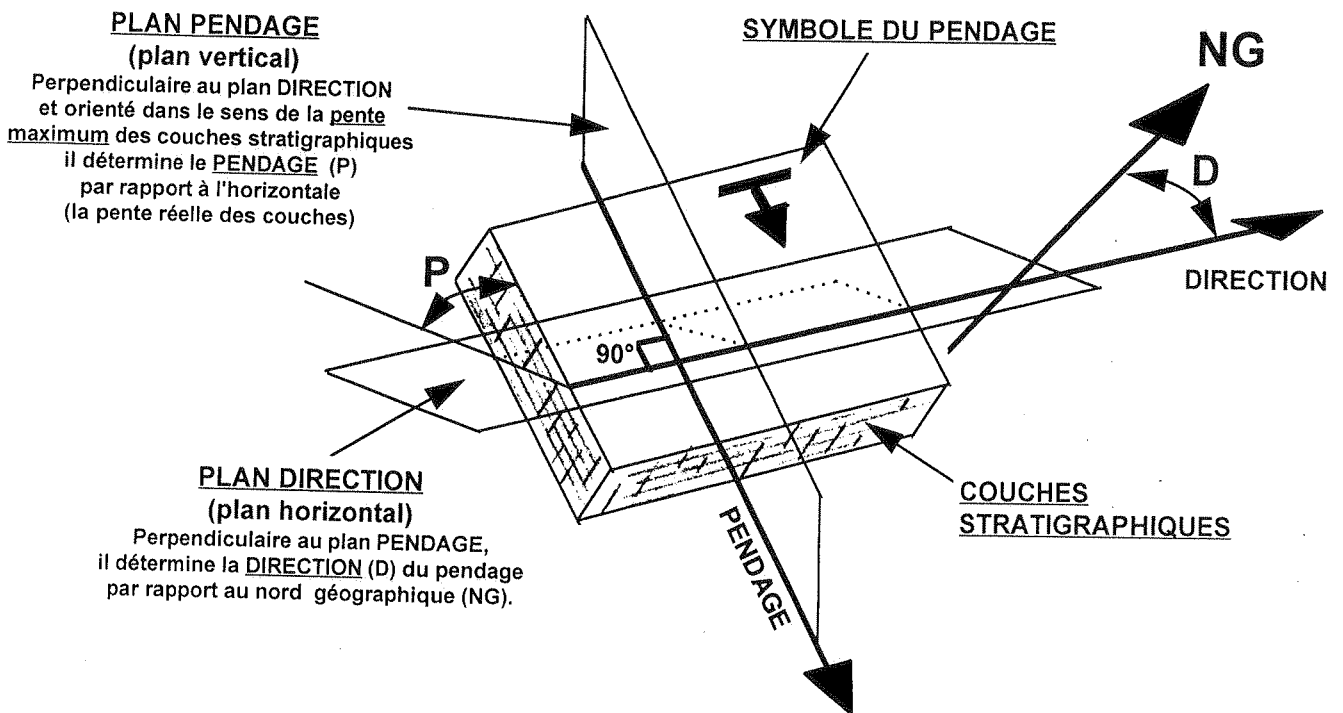
4.2.5. La mesure des pendages.

La mesure du pendage des couches va permettre au spéléologue d'évaluer la façon dont les couches calcaires se prolongent au-delà des affleurements qu'il peut observer, et donc, la direction probable de développement des réseaux souterrains. Cette connaissance de l'allure des couches permet aussi de mieux comprendre la structure d'un réseau souterrain, car les grandes galeries suivent souvent le pendage.

Le **pendage** d'une couche correspond à la ligne de plus grande pente de cette couche et se définit par son sens et sa valeur angulaire (exemple : pendage S-S-E de 30°). Le pendage est inséparable de la direction de la couche qui est l'azimut des lignes horizontales du plan de la couche. La direction et le pendage des couches doivent être observés avec attention. En effet, il peut arriver que certaines couches visibles semblent horizontales si on observe les strates visibles dans le sens de la direction, alors que l'inclinaison est invisible.

Sur les cartes géologiques, le pendage est représenté par des signes conventionnels dérivant d'un "T" dont la barre horizontale est parallèle à la direction et la barre verticale orientée dans le sens du pendage. Pour mesurer un pendage, on choisit une surface bien plane, en évitant les irrégularités de détail qui faussent la mesure. On y pose un carnet topo ou une planchette. La direction est mesurée avec une boussole placée parallèlement aux lignes horizontales du plan, que l'on repère en faisant tourner le clisimètre jusqu'à obtenir une position horizontale. Le pendage est mesuré sur une ligne perpendiculaire à la direction que l'on aura tracée préalablement au crayon, ou en faisant tourner le clisimètre jusqu'à obtenir une valeur maximale.

Figure 9 = mesure de pendage.



5. LA CARTE GEOLOGIQUE.

5.1. Description.

Une carte géologique est une représentation sur fond topographique des affleurements des couches et des accidents structuraux majeurs. Les grandes failles sont systématiquement indiquées. L'affleurement d'une couche est l'intersection de la couche avec la surface topographique. En projetant l'affleurement sur la carte topographique, on obtient la carte géologique. L'affleurement est aussi la surface couverte par la couche sur la surface topographique.

Une carte géologique est toujours une sorte d'écorché, car elle ne fait pas figurer la végétation, la terre végétale et la plupart des limons, objets de cartes spécialisées : végétation, pédologie.

Les couches sont dégagées de la couverture superficielle (qui apparaît sur les cartes géomorphologiques), sauf quand cette dernière présente un intérêt sur le plan géologique tel que dépôts glaciaires, certains limons etc...

La carte géologique originelle est une carte au 1/80000ème sur fond topographique dit d'Etat Major. Les cartes géologiques actuelles couvrent les 2/3 de la France, mais il subsiste encore des lacunes. Ce sont des cartes surchargées sur fond topographique type 1922, échelle 1/50000ème, elles sont revues environ tous les 25 ans.

Sur la carte géologique, le fond topographique de base a été modifié :

- suppression des indications concernant la végétation,
- toute la planimétrie et la toponymie sont figurées en bistre,
- on a réalisé un adoucissement du bleu de l'hydrologie,
- des placages et plages indiquent les étendues d'eau,
- les contacts géologiques sont indiqués au moyen de fins traits noirs, ils sont l'intersection des plans limites de couches avec la surface topographique.

5.2. La légende et le livret d'accompagnement.

Sur la carte on peut observer une échelle stratigraphique schématique de la région concernée.

L'indice d'une couche est indiqué dans les marges et sur la carte. Les indices précisent le stratotype de l'étage. Ils comportent :

- une lettre et une couleur indiquant le système (ex : "j" pour Jurassique, représenté en bleu),
- un chiffre indiquant l'étage (ex : "j1" pour Bajocien, "j2" pour Bathonien).

Quand il faut préciser le sous étage, on introduit une lettre après l'indice chiffré (ex : "j2a" pour Bathonien inférieur, "j2b" pour Bathonien moyen).

Certaines cartes de régions complexes comportent des renseignements très complets ; on y trouve des coupes géologiques types.

Sur la carte sont également mentionnés les failles et les pendages (direction + valeur).

Chaque carte est livrée avec une notice ou livret donnant les renseignements géologiques sur la région représentée et en particulier les faciès et l'épaisseur des couches.

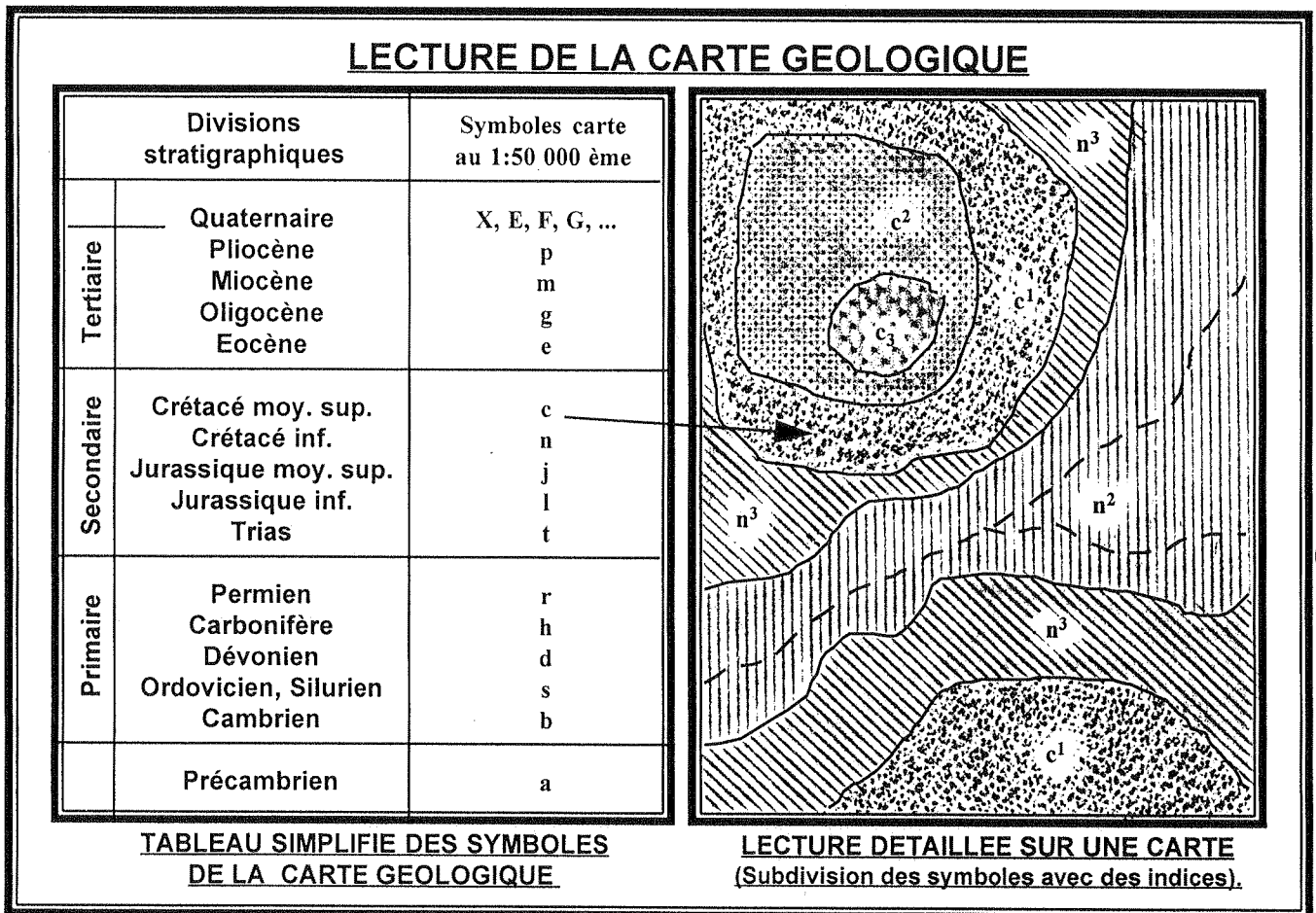


Figure 10 = symbolisation sur une carte géologique.

5.3. Son intérêt pour le spéléologue.

Pour le spéléologue, la carte géologique est un outil indispensable à la prospection. Elle permet en effet de déterminer la présence de calcaires favorables au creusement des cavités. On portera une attention particulière aux zones de contact avec d'autres terrains, zones souvent propices à des pertes ou des émergences. Le voisinage des accidents tectoniques (failles, pli-failles, décrochements) provoque des zones de fractures. L'expérience a également prouvé qu'en suivant d'après la carte le tracé des intercalations marneuses on trouvait fréquemment des cavités s'ouvrant à ces niveaux.

Mais au delà de la prospection, la carte géologique et les coupes qui en découlent, associées à la carte topographique sont des outils essentiels pour étudier et comprendre un massif et une cavité. Il est souvent très intéressant, comme le préconise B. GEZE de faire figurer le plan d'une cavité en surimpression de la carte topographique ou géologique.

De même, projeter la coupe d'une cavité sur un profil topographique ou mieux sur une coupe géologique en prenant soin de faire concorder les plans de coupe la rend beaucoup plus parlante et permet de vérifier l'exactitude de certaines hypothèses émises sur la formation de la cavité. De tels travaux qui ne demandent qu'un peu de soin et de méthode doivent permettre à chaque spéléologue de donner plus de réalité aux cavités qu'il explore, en les situant dans leur environnement karstique.

6. BIBLIOGRAPHIE

- AUDETAT M., 1981, "*Notions de géologie, géomorphologie et hydrogéologie à l'usage des spéléologues*", 163 pages, Société Suisse de Spéléologie
- RENAULT P., 1970, "*La formation des cavernes*", PUF collection Que sais-je, N° 1400.
- MAIRE R., 1980, "*Eléments de karstologie physique*" Spelunca spécial N° 3, 56 pages.
- BOUCARUT M., DELOBBE G., 1983, "*Les montagnes, comment se forment-elles ?*", Edition C.E.L. Périscope, 49 pages.
- DELOBBE G., 1984, "*Les montagnes, pourquoi se forment-elles ?*", Edition C.E.L. Périscope, 49 pages.
- COLLIGNON B., 1988, "*Spéléologie : approches scientifiques*", Edisud.
- FOUCAULT A., RAOULT JF., "*Dictionnaire de géologie*", Masson.
- BAUER J., 1992, "*Principes de karstologie physique*", C.D.S. 64 et ARSIP.
- BONTE A., "*Introduction à la lecture des cartes géologiques*", Masson.
- FOUCAULT A., RAOULT JF., "*Coupes et cartes géologiques*", S.E.D.E.S., Editions DOUIN.
- GEZE B., 1974, "*Le trou et son environnement*", Spelunca Mémoires N°8, pages 42 à 47.
- CHOPPY J., "*Dictionnaire de spéléologie physique et karstologie*", Série de 9 travaux de référence SCP-CAF.
- KRESAY C., "*Découvrir le monde souterrain*", Editions PEMF Périscope.
- ARCHAMBAULT, POMEROL, TRICART, "*Eléments de géologie*", Armand Collin.

Figure 11 = les grandes régions karstifiées de France.

