

Comment les Alpes se sont-elles formées ?

Jacques Deferne et Nora Engel



Avant-propos

Ce petit ouvrage sur les événements géologiques qui ont modelé les paysages qui nous sont familiers est un essai de transmettre au lecteur, dans un langage simplifié, une information générale sur ce sujet infiniment complexe qu'est la géologie alpine. Nous n'avons pas voulu décrire en détails chacune des régions qui constituent notre Pays et laissons ce soin à ceux qui se sentiraient la vocation de le faire !

À dessein, nous avons structuré ce petit livre à rebours du bon sens. Après une description sommaire de l'aspect actuel de la Suisse, nous passons directement à la conclusion : l'histoire simplifiée du passé qui sous sa formulation « simplifiée » recouvre en fait l'aboutissement de longues études menées depuis plus de deux siècles par des générations de brillants géologues au premier rang desquels nous plaçons Horace-Bénédict de Saussure qui, par son monumental ouvrage "Voyages à travers les Alpes" a ouvert la voie à cette enquête passionnante.

Les Alpes suisses présentent presque tout l'éventail des terrains présents dans l'ensemble des Alpes. A ce titre, elles sont l'exemple le plus typique de la mise en place du maillon alpin.

La troisième partie comprend une description succincte des grandes unités tectoniques qui bâtissent la Chaîne alpine en général et les Alpes suisses en particulier. On verra aussi comment lire une carte géologique et une carte tectonique.

Que les admirateurs des beaux paysages qui font la réputation de notre Pays trouvent dans cet ouvrage de quoi nourrir leur curiosité ! Les collégiens et les lycéens pourront y apprendre les fondements de la géologie alpine. Enfin, l'étudiant en géologie y trouvera une vue d'ensemble dont il pourra approfondir les détails au cours de ses études.

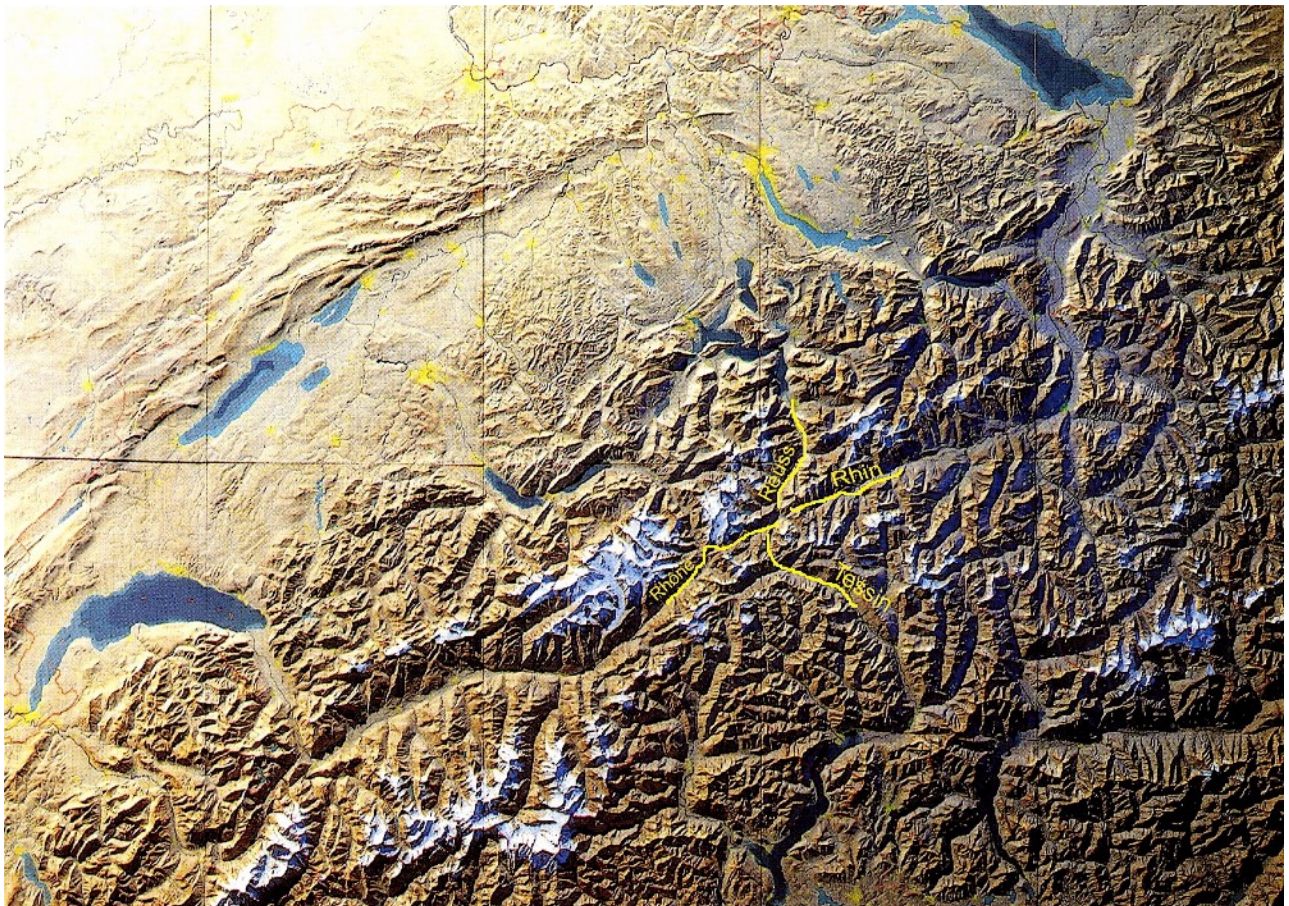
Va petit livre, et choisis ton monde ! (Rodolphe Töpffer)

La Suisse, aujourd'hui

Les Alpes

Les Alpes recouvrent 60 % de notre territoire. Elles font partie d'une immense chaîne de montagnes qui déborde largement des limites de notre Pays, s'étendant sur plus de mille kilomètres, de Nice à Vienne. Elles nous montrent aujourd'hui les ruines majestueuses des gigantesques plissements qui leur ont donné naissance, il y a plus de 30 millions d'années.

De Martigny à Coire, une profonde cassure marquée par les vallées du Rhône et du Rhin antérieur, divise les Alpes en deux chaînons distincts : les Alpes du Nord et les Alpes du Sud. Les dorsales de ces deux chaînons se rapprochent et ne constituent plus qu'une seule ligne de crête dans la région du Gothard, faisant de ce massif un carrefour d'où partent vers les quatre points cardinaux, les grandes rivières helvétiques : le Rhin vers l'Est, le Rhône vers l'Ouest, le Tessin vers le Sud et la Reuss vers le Nord.



Relief de la Suisse au 1 : 100'000^e avec courbure terrestre, réalisé par Charles Perron entre 1893 et 1900 (Muséum de Genève)

Le Mont-Blanc domine les Alpes de ses 4807 mètres. En Suisse, c'est la Pointe Dufour, dans le Massif du Mont-Rose, qui constitue le sommet le plus élevé du pays avec une altitude de 4634 mètres. Une vingtaine d'autres sommets encore dépassent 4000 mètres.

Charles Perron et le relief de la Suisse

Le relief de la Suisse exposé au Muséum de Genève a été construit entre 1893 et 1900 par le cartographe genevois Charles Perron. Son échelle est de un cent millième. Cela signifie qu'un centimètre sur le relief correspond à un kilomètre sur le terrain. La courbure terrestre a été respectée. S'il fallait construire un globe terrestre à cette échelle, il aurait 127 mètres de diamètre. La courbure est beaucoup plus prononcée qu'on ne l'imagine. Ainsi, sur le Lac Léman, si on tirait une ligne droite entre Nyon et le Château de Chillon, son centre passerait à 50 mètres sous l'eau juste devant Evian !

Le Moyen-Pays

Pays de plateaux parsemés de collines, le Moyen-Pays est faiblement incliné vers le Nord. Les rivières issues des Alpes s'écoulent naturellement vers le Nord jusqu'aux premiers contreforts du Jura où elles rejoignent la partie basse du pays occupée par la plaine de l'Orbe, les lacs de Neuchâtel et de Biènnne puis, plus à l'Est, par la vallée de l'Aar.



Lucerne et les collines du Moyen-Pays

Les eaux se rassemblent le long de cette longue gouttière naturelle avant de se diriger vers le point le plus bas du Moyen-Pays : le grand confluent de Brugg, à 350 mètres d'altitude, où la Limmat et la Reuss se jettent dans l'Aar qui, elle-même, rejoint le Rhin un peu plus au Nord-Est.

En Suisse romande, les hauteurs du Jorat séparent le bassin hydrographique du Rhin de celui du Rhône. La dépression lémanique correspond probablement à un affaissement lié aux derniers mouvements de la formation des Alpes. Le lac Léman contient aujourd'hui un peu moins de 100 kilomètres cubes d'eau. Les alluvions apportées par le Rhône et les divers autres affluents le comblent lentement. Il aura peut-être disparu dans 30'000 ans !

Le Jura

Limitant le Moyen-Pays au Nord-Ouest, le Jura déploie ses plis tranquilles en un vaste arc long de 300 kilomètres. Son point culminant est le Crêt de la Neige qui domine Genève à 1718 mètres d'altitude. La ligne de faite s'abaisse ensuite progressivement vers le Nord-Est. Le relief du Jura est caractérisé par de longues vallées longitudinales pincées ou fermées à leurs extrémités, reliées entre elles par de courtes vallées encaissées qu'on appelle des cluses. On n'observe sur les flancs de ces vallées que de maigres ruisseaux, car l'eau de pluie s'infiltré dans les roches calcaires, constituant des cours d'eau souterrains qui réapparaissent sous la forme de résurgences dans les vallées basses.



Creux-du-Van, Val-de-Travers, Neuchâtel

Les Alpes, le Moyen-Pays et le Jura sont les conséquences d'un long processus géologique qui s'est déroulé sur près de 200 millions d'années. C'est l'accumulation de sédiments marins, tout au long de l'ère secondaire, sur un socle très ancien constitué de roches cristallines et métamorphiques, accumulation suivie du plissement de l'ensemble de ces roches au cours de l'ère tertiaire qui ont constitué la Chaîne alpine dont nous admirons aujourd'hui les ruines glorieuses.

Le soubassement des Alpes

Le soubassement des Alpes appartient au socle ancien du continent européen. Les parties les plus élevées sont visibles aujourd'hui grâce au travail de l'érosion. Ce sont, au-delà de notre pays, les massifs des Vosges et de la Forêt Noire et, dans les Alpes, les massifs centraux du Mont-Blanc, des Aiguilles-Rouges, de l'Aar et du Gothard. On peut y voir encore les témoins d'anciennes chaînes de montagnes qui se sont formées au cours de l'ère primaire, il y a plusieurs centaines de millions d'années. Les géologues désignent ces anciennes chaînes du nom de **plissement hercynien**.



L'Eiger appartient au socle hercynien de l'ancien continent européen

Constitués à l'origine de sédiments, de granites et de basaltes, ces terrains ont été affectés, il y a plus de cinq cents millions d'années, par des déformations considérables et un métamorphisme intense. Ce sont aujourd'hui des schistes cristallins, des gneiss et parfois de beaux granites. Ces roches sont rigides et, lors du plissement alpin, elles ont réagi en se fragmentant en grandes écailles plutôt qu'en se plissant. Ces massifs sont partiellement surmontés d'une ancienne couverture sédimentaire fortement métamorphisée, d'âge primaire. En Valais, près de Martigny, les **Poudingues de Vallorcine** qu'on peut voir au coude de la Vallée du Rhône en sont un des témoins.

Le poudingue de Vallorcine

Il s'agit d'anciens dépôts torrentiels qui voient alterner des couches de matériel fin, correspondant à des débits tranquilles et des couches renfermant des galets et des blocs déposés lors des crues. Ces dépôts datent de la toute fin de l'ère primaire. Ils témoignent d'un relief émergé en voie de destruction par l'érosion. Les galets qu'il renferme sont des roches de l'ère

primaire, témoins qui nous renseignent sur le continent et les montagnes qui existaient auparavant. Le poudingue de Vallorcine fait partie d'un ensemble d'anciens sédiments carbonifères et permians qui ont été coincés - et ainsi préservés - entre le massif du Mt.-Blanc et celui des Aiguilles-Rouges. Les géologues décrivent cet ensemble sous le nom de "Synclinal permocarbonifère".



Poudingue de Vallorcine



Bloc erratique de Poudingue de Vallorcine provenant de la région de Fully et transporté par le glacier du Rhône jusqu'à Genève lors de la dernière glaciation. Bloc exposé dans les jardins du Muséum.

Cette roche a été décrite pour la première fois en 1786 par H.B. de Saussure dans la région de Vallorcine. Comme à cet endroit ces roches forment des bancs verticaux, de Saussure fait une remarque intéressante :

"Il n'est pas vraisemblable que des galets de la taille de la tête d'un enfant aient attendu contre une paroi que le ciment se mette autour. Ces roches ont dû se déposer horizontalement et se sont redressées ensuite de leur durcissement"

Histoire simplifiée du passé

La vie des plaques lithosphériques¹

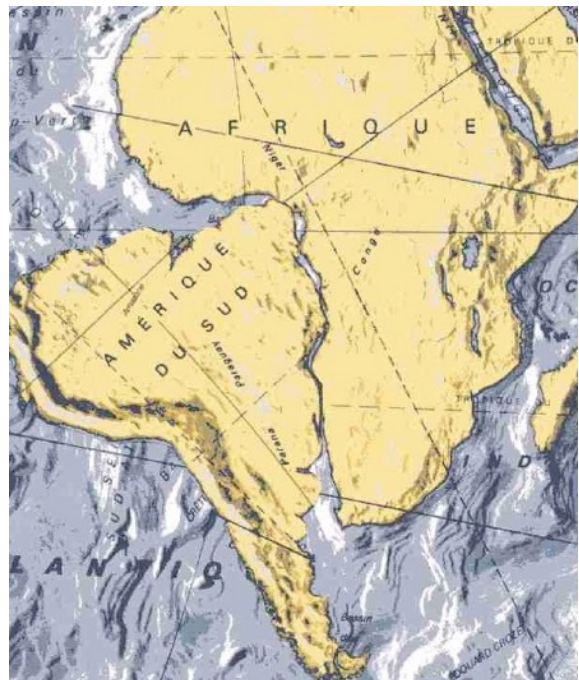
La croûte terrestre est aujourd'hui morcelée en une douzaine de plaques qui se déplacent lentement. Par endroits, elles s'écartent les unes des autres, faisant la place à des océans nouveaux. A d'autres endroits, elles se resserrent, rétrécissant les océans qui marquent leurs frontières, entraînant du même coup la compression puis le plissement des sédiments accumulés sur leur fond, mécanisme conduisant à la surrection de chaînes de montagne.

Au cours des temps géologiques, les plaques lithosphériques ont été successivement affectées par des mouvements de **distension** puis de **resserrement** :

- **Les périodes de distension** provoquent l'affaissement des zones marginales des anciens continents qui sont alors submergées par le domaine marin. Elles se chargent de sédiments provenant de l'érosion des zones continentales encore émergées. Ces distensions sont provoquées par l'écartement des plaques accompagné d'un volcanisme basaltique sous-marin.
- Lorsque le mouvement des plaques s'inverse, **le resserrement** provoque la compression, le plissement puis la surrection des anciennes marges continentales et des sédiments qui les recouvrent. C'est ce qui s'est passé pour notre pays. Les lignes qui vont suivre décrivent la reconstitution sommaire de ces phénomènes.

La dérive des continents d'après Wegener

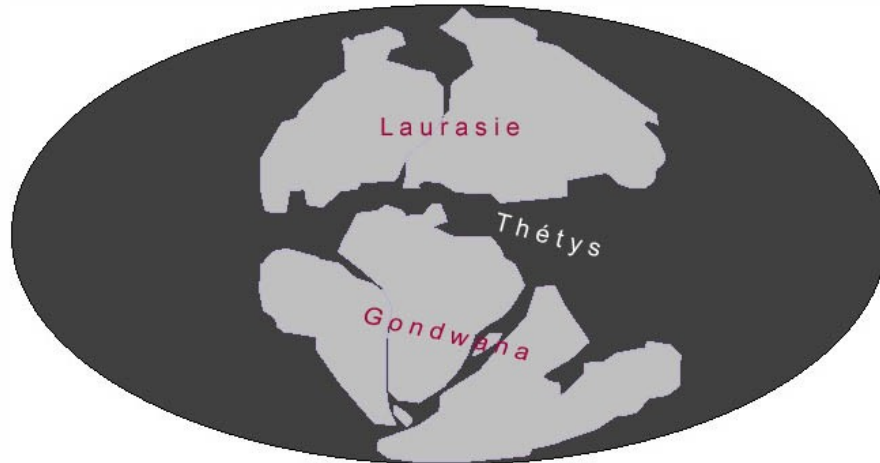
Frappé par la complémentarité des contours côtiers de part et d'autre de l'Atlantique, Alfred Wegener imagine, en 1912, la théorie de la dérive des continents. Malgré de solides arguments scientifiques, basés sur des observations minutieuses, beaucoup de géologues restèrent sceptiques et refusèrent d'admettre les idées de Wegener. Cinquante ans plus tard, grâce aux nouvelles découvertes de la géophysique, la dérive des continents est réactualisée sous une formulation plus moderne. Elle est aujourd'hui universellement acceptée par les géologues sous le nom plus général de **tectonique des plaques**.



¹ Voir des mêmes auteurs "Que savons nous de notre planète ?"

Evolution des plaques au cours du passé

Durant l'ère primaire, les continents n'étaient pas individualisés comme nous le voyons aujourd'hui. L'Afrique, l'Europe, l'Asie et l'Amérique formaient un immense continent qui commençait à peine à se morceler. Progressivement ce continent se morcelle et on peut individualiser la Laurasia qui réunit ce que seront plus tard l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie, et le continent de Gondwana qui réunit les futures Amérique du Sud, Afrique, Australie et Antarctique. Ce qui sera plus tard l'Inde est encore solidaire de la partie africaine de ce gigantesque continent.



Positions des continents vers la fin de l'ère primaire

Vers la fin de l'Ere primaire, un vaste océan, appelé Thétys, existait entre le continent de Gondwana et la Laurasia. Cet océan a atteint son extension maximale (environ 1000 km) au début de la période jurassique, il y a 180 millions d'années. L'extrémité ouest de cet océan se resserrait alors contre le continent européen au niveau de la plaque ibérique. Sa partie orientale était encore très ouverte.

Au cours de l'ère secondaire, les alluvions provenant des parties encore émergées des continents s'accumulent dans cet océan. Des chapelets d'îles délimitent plusieurs domaines de sédimentation. Dans les parties océaniques, des éruptions volcaniques sous-marines déposent des couches de basaltes qui se mêlent aux différents sédiments.

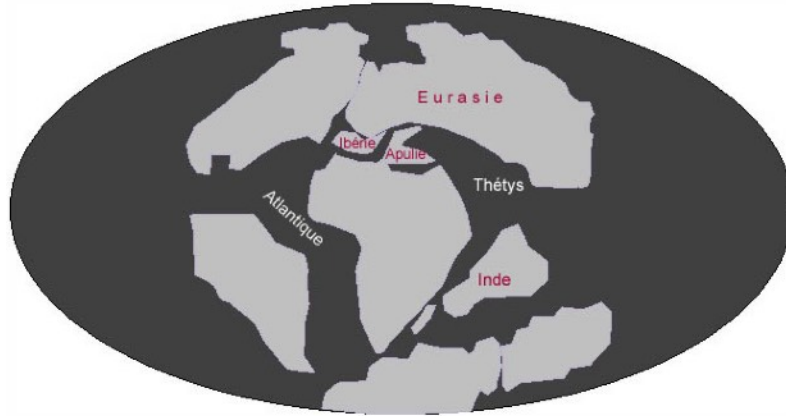
Ouverture de l'Océan atlantique (≈ -170 M.A.)

Au cours de l'ère secondaire, une intense activité magmatique profonde entraîne l'apparition de dorsales d'où s'épanchent de grandes quantités de laves basaltiques, provoquant l'éclatement puis l'écartement des continents et la formation d'une croûte océanique.

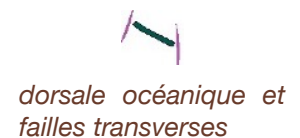
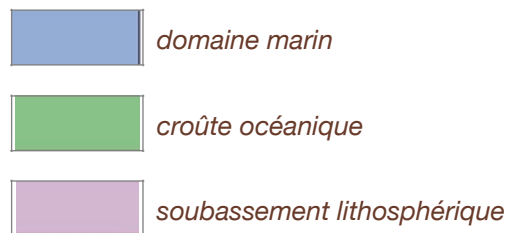
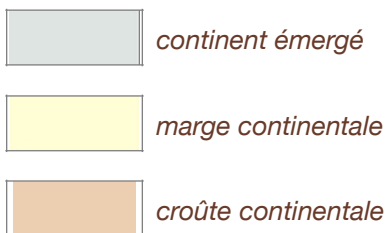
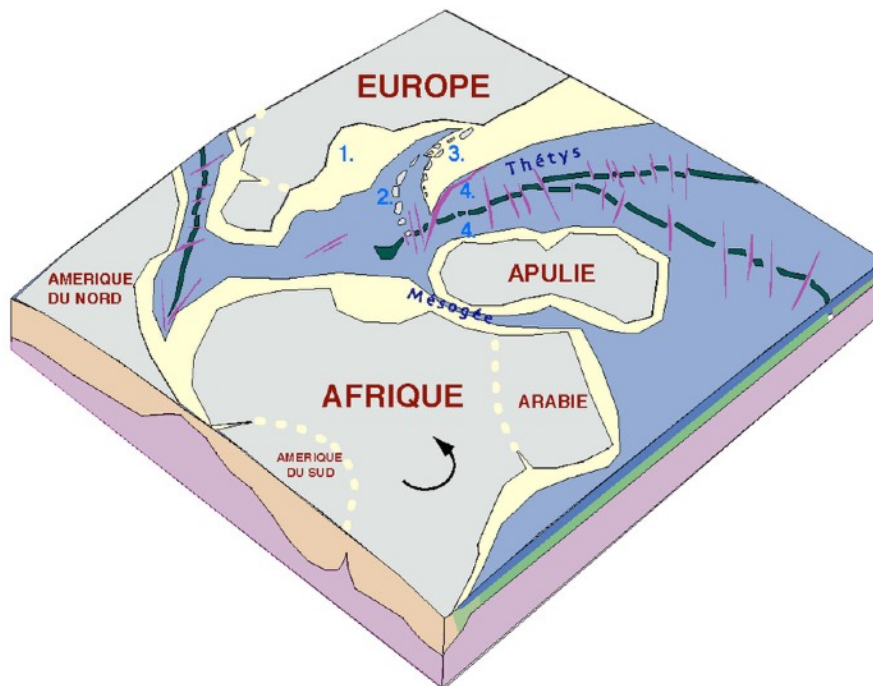
A l'époque jurassique, il y a environ 170 millions d'années, cette activité entraîne l'ouverture de l'Atlantique, éloignant progressivement l'Amérique de l'Afrique et de l'Europe. C'est à ce moment aussi que l'Inde se détache de l'Afrique et se met à dériver en direction du continent asiatique.

Naissance de la Méditerranée

Simultanément, le nord de la plaque africaine se morcelle, isolant au Nord une petite plaque dite **apulienne**. C'est elle qui constituera plus tard l'Italie, la Provence, la Sardaigne et la Corse à l'Ouest, la Yougoslavie, la Grèce et la Turquie à l'Est. La fracture entre l'Apulie et l'Afrique a pour conséquence l'ouverture timide d'une nouvelle mer baptisée Mésogée par les géologues. C'est l'ancêtre de l'actuelle Méditerranée.



Situation régionale des continents y a cent millions d'années



1. Domaine helvétique
2. Domaine pennique en voie de plissement.

3. Domaine austro-alpin
4. Domaine des Alpes du Sud

La Thétys se referme

On observe simultanément un lent mouvement de fermeture de la Thétys. Ce resserrement des masses africaines contre le continent eurasiatique aura pour conséquences la mise en place de l'immense arc montagneux qui, aujourd'hui, s'étend de l'Espagne jusqu'au Sud-est asiatique et auquel appartiennent les Alpes, les Apennins, les Dinarides, les Taurus, les Chaînes iraniennes et l'Himalaya. Ces chaînes de montagnes sont toutes nées de la fermeture de la Thétys.

Les sédiments s'accumulent

Dans la partie de la Thétys comprise entre les socles européen et africain - qu'on appelle alors mer alpine - les sédiments issus de l'érosion des continents voisins s'accumulent. Des chapelets d'îles délimitent divers bassins de sédimentation.

Sur sa bordure nord, se déposent des sédiments qui témoignent d'une marge continentale de faible profondeur (argilites et calcaires) parsemés d'une vaste étendue de récifs coralliens qui formeront le domaine helvétique. En-deçà de la marge continentale, des distensions conduisent à la formation d'un bassin océanique plus profond, appelé **bassin pennique**¹, qui se comble des produits d'éboulement de ses bords auxquels se mélangent des matériaux volcaniques. Ce sont les schistes lustrés qui forment aujourd'hui une grande partie des massifs penniques. Un chapelet d'îles, probablement volcaniques, surmontées de massifs coralliens, morcelle ce bassin en deux domaines, les domaines valaisans au nord, et piémontais au sud. Ces bassins sont affectés d'un volcanisme sous-marin, caractérisé par des émissions de laves basaltiques qui s'intercalent dans les sédiments. On retrouve aujourd'hui ces roches volcaniques fortement métamorphosées sous les appellations de roches vertes, ophiolites et serpentines.

Au-devant du bassin pennique, du côté du continent africain, on rencontre une zone de faible profondeur parsemée d'îlots et de massifs coralliens qui contribueront plus tard à la formation des Alpes orientales et autrichiennes.

Plus en avant encore, attenant à la marge continentale apulienne (africaine), des dépôts de faible profondeur constitueront les futures **Alpes du Sud**.

Il faut bien imaginer qu'au cours de la période de sédimentation, les mouvements tectoniques avaient déjà commencé. En particulier, au Crétacé inférieur, il y a cent millions d'années, le **domaine austro-alpin**, pris en étau entre les plaques apulienne et européenne avait commencé à se déverser par-dessus les sédiments penniques.

Premiers frémissements à la fin de l'Ere secondaire

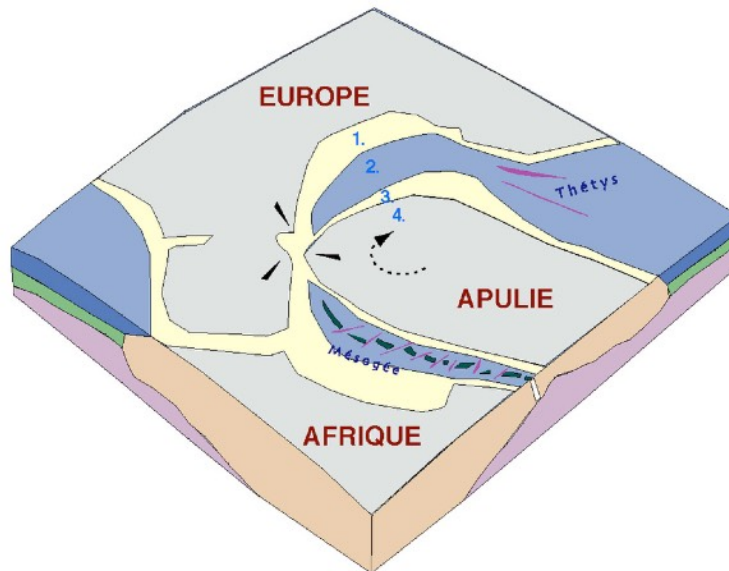
A la fin de l'ère secondaire, il y a entre 80 et 60 millions d'années environ, la plaque africaine amorce un mouvement de rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, entraînant le rapprochement progressif des masses africaines et européennes.

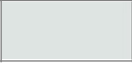





Dans ce mouvement, la plaque apulienne heurte alors les plaques ibérique et européenne et amorce un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre qui va resserrer le bassin de la Thétys et engendrer la surrection de la Chaîne alpine. Le bassin alpin

¹ Du nom de Penne, petit village au-dessus de Bourg-Saint-Pierre, dans le val d'Entremont.

se resserre et on estime que son extension s'est réduite à 500 km. Les roches rigides du socle ancien se fragmentent en grandes écailles qui se chevauchent les unes les autres, amorçant la mise en place des premières cordillères qui commencent à émerger de l'océan. L'érosion naissante de ces premiers reliefs ainsi que les glissements sous-marins provoqués par l'activité sismique donnent naissance à des dépôts anarchiques appelés **flysch** par les géologues.

A l'Eocène, il y a 60 M.A.



	continent émergé		domaine marin
	marge continentale		croûte océanique
	croûte continentale		soubassement lithosphérique
1. Domaine helvétique		3. Domaine austro-alpin	
2. Domaine pennique		4. Domaine des Alpes du Sud	


dorsale océanique et failles transversales

Quand le plissement a-t-il commencé ?

Le flysch à helminthoïdes est considéré comme le premier sédiment provenant de l'érosion du relief alpin naissant. A ce titre, il permet aux géologues de dater les premières manifestations du soulèvement alpin. Les paléontologues ont démontré que ce dépôt datait de la fin de l'Ere secondaire, il y a 70 millions d'années. On trouve dans ce flysch des traces de pistes de vers formant des sortes de serpentins qui leur ont valu le nom d'helminthoïdes.

Flysch à helminthoïdes





Flysch Apennins (Italie). Photo Robert Six

On désigne sous le nom de « flysch », une formation sédimentaire détritique, souvent épaisse, est composé essentiellement d'un empilement anarchique de sédiments. En d'autres mots, un flysch correspond à une alternance de bancs d'argiles qui se sont déposés horizontalement en eau calme dans une mer profonde.

Dans cette amorce de plissement, on assiste à la mobilisation des dépôts de l'ère secondaire qui, glissant sur les couches lubrifiantes des évaporites triasiques, se décollent du socle ancien en se déversant vers le continent européen, formant les premiers plis des futures nappes Briançonnaises ainsi que celles des Préalpes. Plus à l'Est, les masses calcaires des futures Alpes austro-alpines poursuivent leur mise en place. Ces mouvements marquent le début de l'orogénèse alpine.

Les évaporites triasiques

En pays chaud, les bassins fermés ou en voie d'assèchement - mers, lacs - soumis à une évaporation intense, voient leur concentration saline augmenter puis, après saturation, des minéraux se déposent sur leurs fonds. Ces conditions étaient largement répandues à l'époque triasique, il y a 200 millions d'années. Le minéral le plus connu par l'usage quotidien que nous en faisons est le chlorure de sodium que les minéralogistes appellent halite et les cuisinières sel de cuisine. Parmi les minéraux qui se forment de cette manière citons la halite, la sylvine, le gypse. Pendant toute cette période, la plaque apulienne (africaine) montre des signes de morcellement avec l'individualisation de l'Italie, de la Provence, de la Corse, de la Sardaigne et, plus à l'Est, de la Yougoslavie, de la Grèce et de la Turquie. L'aspect du continent européen se modifie avec l'ouverture du Golfe de Gascogne, de la Manche et l'affaissement du Bassin de Paris ainsi que du fossé rhénan.



Halite

Phase principale du plissement au cours du Tertiaire

De -40 à -25 millions d'années, le domaine alpin continue à être soumis au rétrécissement de l'ancienne Thétys dans un mouvement très complexe qui entraîne la mise en forme de l'arc alpin. L'ampleur du raccourcissement régional de la croûte terrestre a été estimée à près de trois cents kilomètres.

Les sédiments de l'ancien bassin pennique sont fortement comprimés. Les dépôts marno-calcaires de la marge continentale européenne amorcent les premiers plissements qui formeront plus tard ce que les géologues appellent le **Domaine helvétique** ou plus simplement **l'Helvétique**.

La grande intensité des mouvements tectoniques est accompagnée d'un important afflux thermique qui provoque le métamorphisme d'une partie de l'édifice alpin. Le mouvement tournant de la plaque italienne contre les Alpes occasionne la mise en place, au Sud, des massifs granitiques de Biella, de Traversella, du Bergell et de l'Adamello. C'est à cette époque que la grande cassure Rhône-Rhin devient active.

Dans les mers qui subsistent au nord des Alpes, se déposent les premiers sédiments dits **molassiques**, produits de l'érosion des Alpes naissantes.

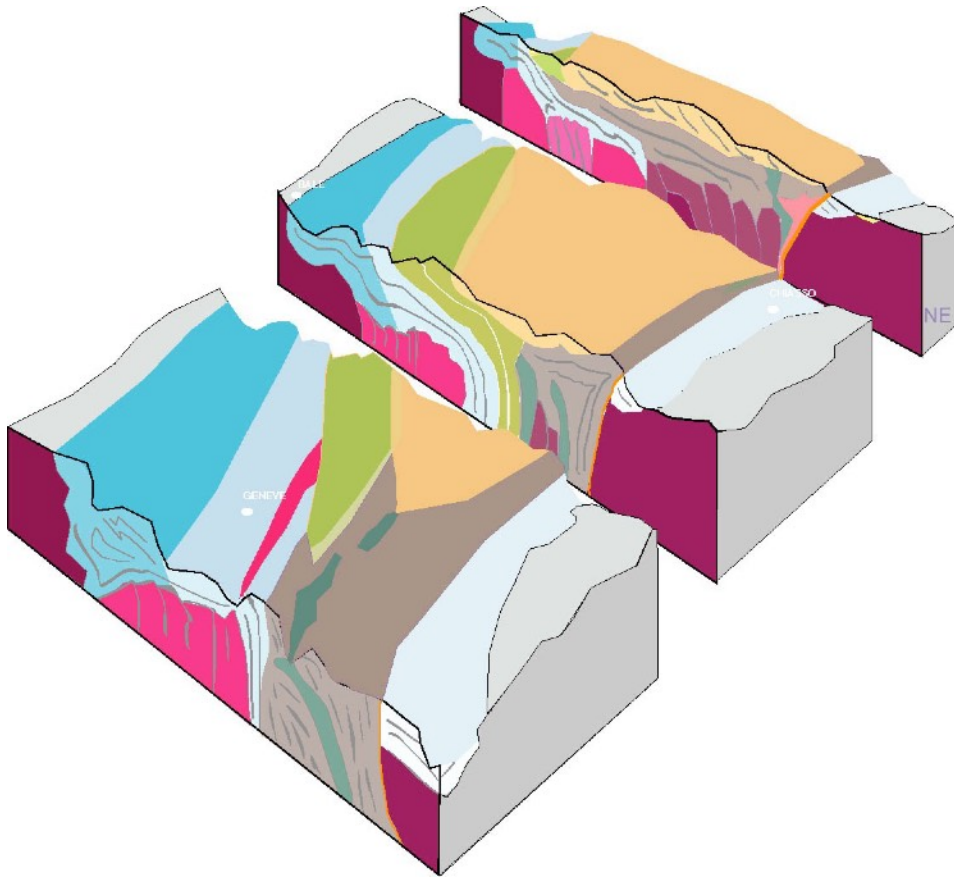
Entre -25 et -5 millions d'années, on assiste aux derniers mouvements tectoniques de l'orogénèse alpine qui se poursuivent par le mouvement de rotation de la plaque italienne, ainsi que la mise en place des plissements des **Alpes du Sud**.

Simultanément se produit une élévation des massifs centraux, Mont-Blanc, Aiguilles-Rouges, Aar, Gothard, entraînant le déversement vers le nord-ouest, des masses helvétiques et des Préalpes.

Derniers soubresauts de l'orogénèse alpine, il y a environ cinq millions d'années, les sédiments jurassiques et crétacés situés au-delà du bassin molassique, se plissent, formant les chaînes du Jura.

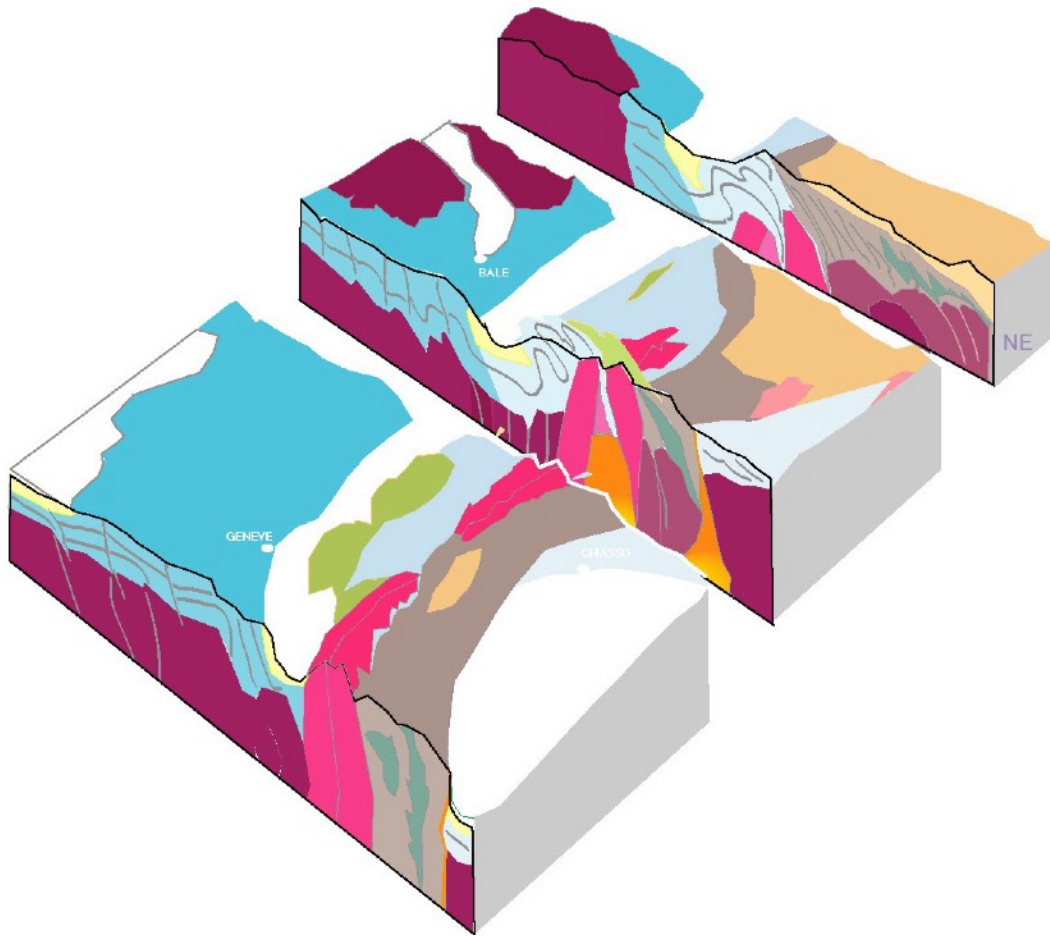
Pendant tout ce temps, les débris de l'érosion des Alpes naissantes continuent de s'accumuler dans les bassins molassiques qui finissent par se combler.

La situation au Miocène, il y a 26 millions d'années



	<i>Alpes du Sud</i>		<i>Jura</i>
	<i>Austro-alpin</i>		<i>Bassin molassique</i>
	<i>Pennique</i>		<i>Préalpes</i>
	<i>Nappes helvétiques</i>		<i>Granites jeunes</i>
	<i>Massifs cristallins anciens</i>		<i>Socle ancien (Europe et Apulie)</i>

*La situation au Pliocène, il y a 5 millions d'années
(légende : voir bloc précédent)*



Et aujourd'hui ?

Depuis 5 millions d'années, l'érosion a déjà enlevé une bonne moitié du relief alpin dont les débris ont été entraînés par les cours d'eau.

Plus près de nous, une succession d'épisodes glaciaires a rempli les vallées et recouvert le plateau de dépôts morainiques.

Nous vivons actuellement dans un calme apparent : la pression toujours présente de l'ancienne plaque apulienne contre les Alpes, se manifeste par les tremblements de terre meurtriers qui ravagent périodiquement l'Italie, la Yougoslavie, la Grèce et la Turquie. Le Vésuve, l'Etna et les volcans des Iles éoliennes en sont aussi les manifestations tardives. On constate encore une élévation des massifs de l'Aar et du Gothard de près d'un millimètre par an.

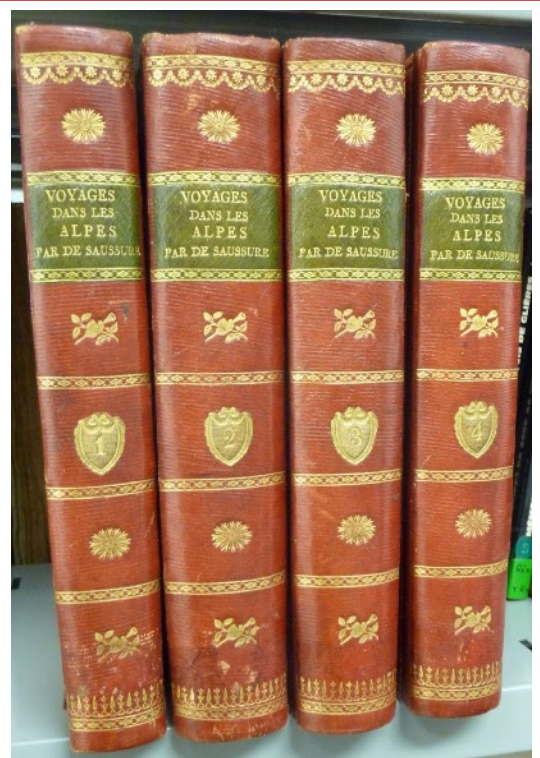
Rien ne s'est fait rapidement

Il ne faut pas croire que ces bouleversements ont été rapides. On estime en effet que le déversement des plis les uns par-dessus les autres n'a pas dépassé quelques millimètres à quelques centimètres par an.

On estime aussi que l'érosion a déjà enlevé la moitié du volume des Alpes. Sur les ruines restantes, le travail du géologue est semblable à une enquête policière : il consiste à relever minutieusement la nature de toutes les roches qu'il rencontre, à noter l'orientation des couches et des fractures et reconstituer la façon dont les divers plissements se superposent. La carte géologique constitue alors la synthèse de toutes ces observations.

Horace Bénédict de Saussure premier explorateur des Alpes

Horace Bénédict de Saussure (1740-1799) a été un des premiers naturalistes à vouloir comprendre l'architecture de la Terre. Pendant de nombreuses années il a parcouru les Alpes en tous sens, pensant que les grandes coupures des vallées à travers les roches pourraient lui révéler l'architecture de la Terre. Il a résumé toutes ses observations dans les quatre volumes des «Voyages à travers les Alpes» qui ont paru entre 1779 et 1796. Il est aussi l'inventeur de l'hygromètre. A son époque, on ignorait encore tout de la géologie moderne: les roches éruptives, les roches métamorphiques, les mécanismes des plissements. Malgré ces difficultés, il a été le pionnier de l'observation sur le terrain et il a ouvert la voie à l'essor de la géologie.



Petite géologie des Alpes

Comment lire une carte géologique

Les cartes géologiques sont coloriées de manière à mettre en évidence les divers terrains qui constituent la région décrite. Chaque couleur représente un ensemble de roches. Pour les roches sédimentaires, la couleur indique l'époque de leur formation. Pour les roches éruptives et métamorphiques, la couleur exprime leur composition pétrographique. Des figurés se superposent souvent aux couleurs, permettant une différenciation plus fine des types de roche. Une légende détaillée permet d'identifier toutes les formations. Des coupes géologiques complètent la carte.

Carte géologique de la Suisse



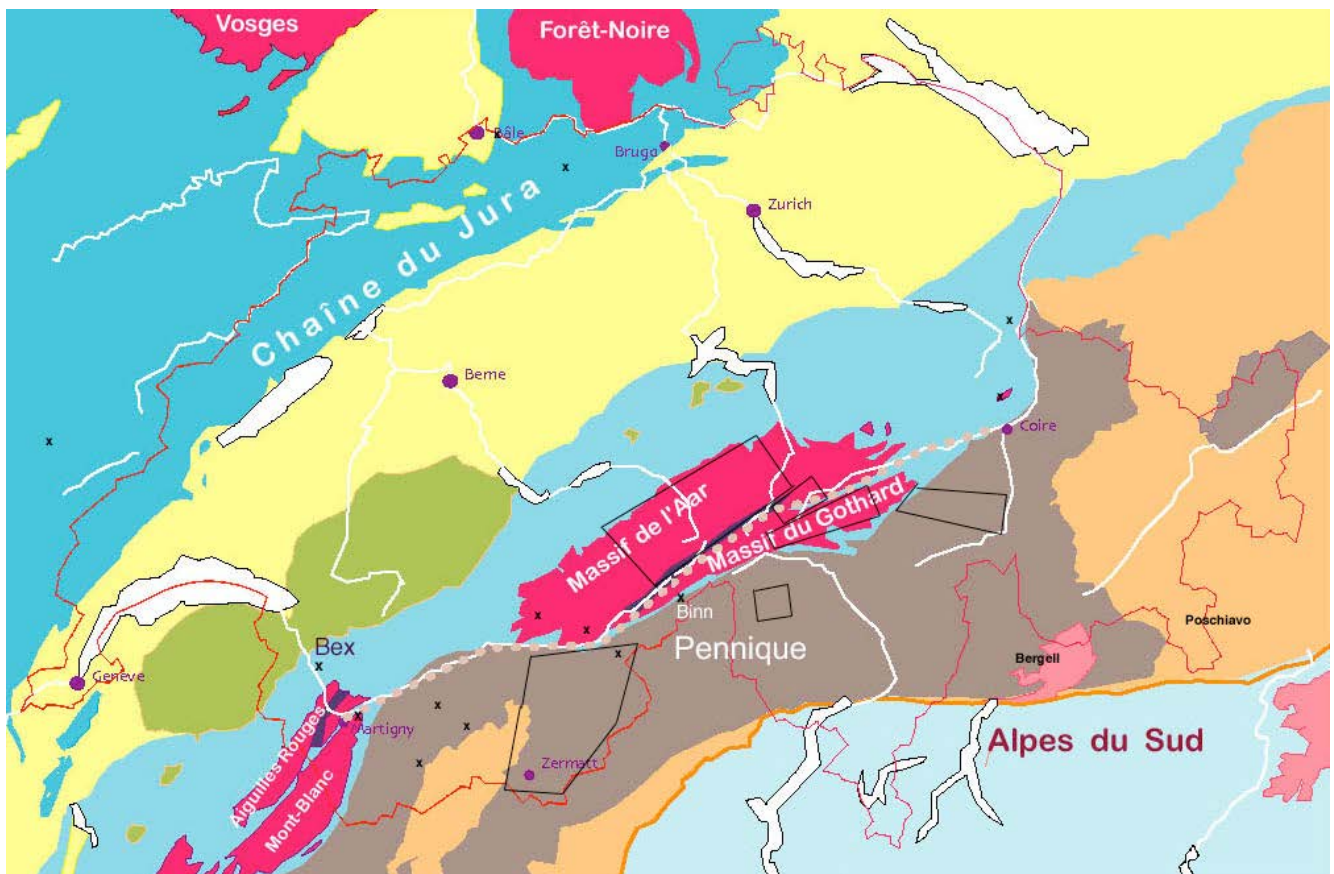
Carte géologique de la Suisse peinte par Augustin Lombard sur le relief au 1:100.000e de Charles Perron. Muséum de Genève.

Pour les **roches sédimentaires**, la couleur désigne l'âge de la roche. Sur la carte de la Suisse que nous vous proposons, les terrains de l'ère secondaire sont figurés en orangé pour le Trias, en bleu pour le Jurassique, en vert pour le Crétacé. Les sédiments tertiaires sont en jaune. Les quelques rares sédiments de l'ère primaire sont en gris brun. Pour les **roches cristallines**, la couleur désigne la nature de la roche, voire son origine, plus rarement son âge. Les couleurs vives désignent généralement les roches les plus récentes, les teintes sombres sont réservées aux roches métamorphiques les plus anciennes.

On réserve le rouge pour les roches granitiques, le rose pour les gneiss. Les roches de composition basaltiques sont de couleur vert foncé pour les roches profondes, clair ou vif pour les basaltes et les *ophiolites*.

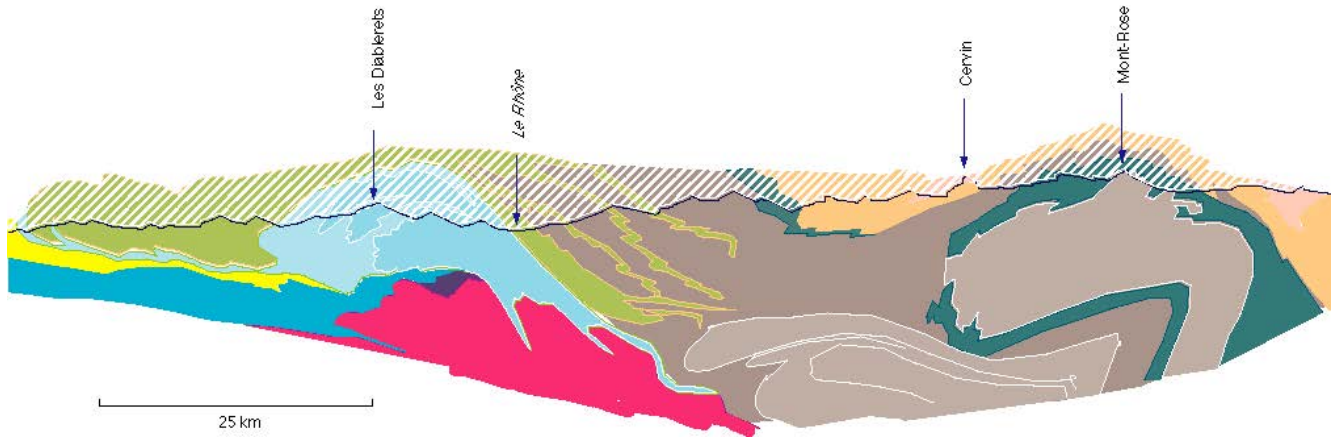
La carte tectonique

La coupe tectonique que nous vous présentons ci-dessous montre comment les géologues reconstituent la superposition des nappes de plis. La part des hypothèses est évidemment assez grande, car seuls les flancs des montagnes le long des vallées profondes sont accessibles à l'observation. Toutefois la coupe que nous vous présentons est acceptée par la majorité des géologues. La carte tectonique complète la carte géologique. Elle ne représente plus la stratigraphie détaillée des divers terrains, mais décrit les grands ensembles architecturaux auxquels ces terrains appartiennent. Elle met en évidence la charpente complexe que constituent les grands ensembles de roches qui ont subi un même processus de mise en place.



Sur la carte tectonique de la Suisse, les couleurs représentent ces grands ensembles : socle ancien, nappes helvétiques, le domaine pennique, l'Austro-alpin, le bassin molassique, le Jura. Des profils complètent la carte

Nous pouvons décrire maintenant les grandes unités qui constituent le bâti alpin ainsi que les autres parties de notre Pays.



Coupe tectonique à travers les Alpes

Le soubassement cristallin des Alpes



Les massifs cristallins anciens constituent le soubassement profond des Alpes. Ils sont formés de roches éruptives et métamorphiques qui sont les témoins des chaînes de montagne de l'Ere primaire. Ces massifs (en rouge sur la carte), forment aujourd'hui de longues ondulations qui apparaissent par endroits à la surface grâce au travail de l'érosion : ce sont les massifs du Mont-Blanc et de l'Aar-Gothard ainsi que, à l'extérieur du domaine alpin, les massifs des Vosges et de la Forêt-Noire. Ces roches cristallines constituent quelques uns des plus hauts sommets alpins : le Mont-Blanc, l'Aiguille verte, les Aiguilles d'Argentière, le Mönch, l'Eiger.



Le Mont-Blanc est le plus haut sommet des Alpes

Cette vue, prise de Courmayeur, montre le granite du Mont-Blanc. Il ne présente aucune stratification mais des séries de cassures provoquées par les forces orogéniques sur un matériau granitique rigide.

La cassure Martigny-Coire

Le long sillon formé par les vallées du Rhône et du Rhin antérieur, de Martigny à Coire, marque l'emplacement d'une cassure complexe très profonde qui limite deux domaines géologiques bien distincts :

- au nord-ouest, **les Hautes Alpes calcaires** et **les Préalpes**,
- au sud-est, le **domaine interne** qui comprend **les Alpes Penniques** et **l'Austro-alpin**.

Cette cicatrice marque la fermeture de la partie nord de la Thétys, domaine où s'étaient déposés les calcaires et les sédiments des Alpes de l'Helvétique. C'est là que se trouvent les racines des nappes helvétiques.

Cette profonde cassure est jalonnée de nombreuses sources thermales, témoins d'un bouillonnement géologique profond. Elles font le bonheur des amateurs de thermalisme.

A l'avant des Alpes : les nappes helvétiques

Au nord-ouest de la grande cassure marquée par les vallées du Rhône et du Rhin antérieur, on trouve une vaste série de roches sédimentaires d'âge secondaire, qui recouvrent le socle cristallin. Cet ensemble de roches est connu localement sous le nom de **Hautes Alpes calcaires**.



Dents du Midi : plis des sédiments jurassiques et crétacés qui constituent la "nappe de Morcles", exemple typique du domaine helvétique.

C'est une superposition de plus de 1000 mètres de couches sédimentaires, calcaires et marnes, déposées au cours de l'ère secondaire sur la marge continentale nord de la mer al-

pine. Les sédiments sont si fortement plissés qu'ils constituent des nappes de plis déversés les uns par-dessus les autres en direction du nord-ouest. Les géologues les appellent **les nappes helvétiques**. Ces terrains sont pauvres en fossiles reconnaissables car ils ont été déformés et partiellement détruits par la pression que ces roches ont subie. Ces plis sont enveloppés dans des couches détritiques d'âge tertiaire, contemporaines de la mise en place de ces plissements. On leur donne le nom de **Flysch**.

Le flysch, un sédiment typiquement alpin

A peine les premiers plis des Alpes naissantes commençaient-ils à émerger que l'érosion les attaquait, produisant des sédiments détritiques grossiers très rapidement recouverts par d'autres plis en formation. L'ensemble de ces sédiments est désigné sous l'appellation de flysch.

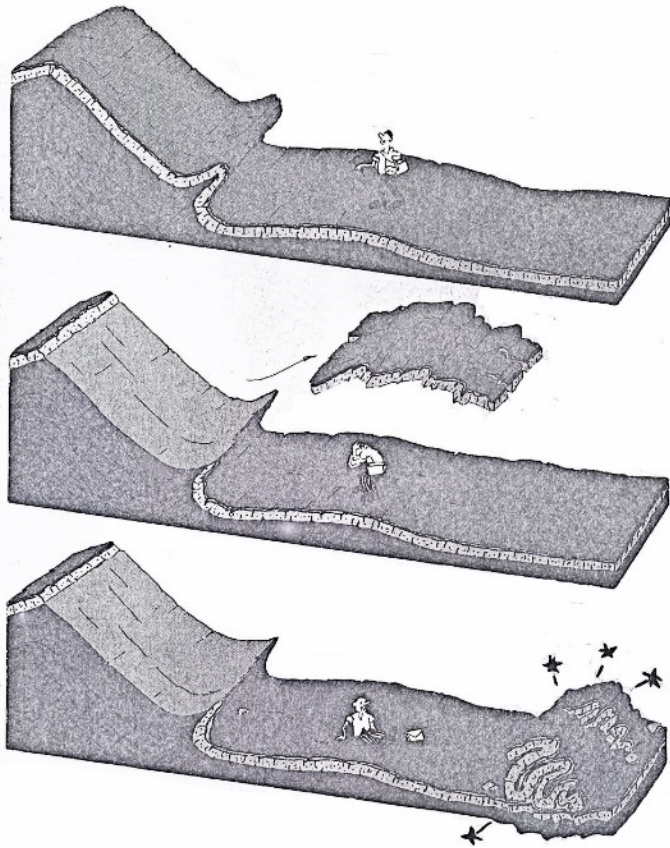
Loin vers le Nord, au-delà du domaine alpin, en Souabe et en Bourgogne, on retrouve ces mêmes assises sédimentaires en couches plus ou moins horizontales. En se rapprochant des Alpes, elles apparaissent de plus en plus plissées, formant les grands plis du Jura. Elles disparaissent ensuite sous le bassin molassique où elles semblent être horizontales avant de réapparaître dans les Hautes Alpes calcaires.

Les Préalpes

Pour être complet, il faut mentionner les Préalpes fribourgeoises, vaudoises et le Chablais, constituées elles aussi d'assises sédimentaires. Leur origine est toutefois très différente de celle des Hautes Alpes calcaires. Ce sont d'anciens sédiments qui se sont déposés aux confins sud des anciennes mers alpines et qui, sous l'effet de la formidable poussée du continent africain, ont passé par-dessus tout l'édifice alpin, en particulier par-dessus les Hautes Alpes calcaires, au-delà desquelles on les retrouve aujourd'hui. Limitant les Alpes vers le nord-ouest, ces montagnes de moyenne altitude représentent pour le géologue la partie supérieure de l'édifice alpin. Aujourd'hui, il n'en subsiste que des vestiges. Parmi les roches très particulières des Préalpes citons :

- des dolomies vacuolaires à l'aspect spongieux appelées cargneules,
- des brèches à éléments calcaires,
- des radiolarites et des calcaires à aptychus, témoins d'une sédimentation en mer profonde, formations analogues à celles qu'on trouve dans les Alpes méridionales ou Alpes du Sud,
- des flyschs dits à helminthoïdes¹

¹ Ce sont des pistes de vers qui ont laissé des traces en forme de serpents (voir encadré p. 13)



Les Préalpes ont passé par-dessus tout l'édifice alpin.

(Interprétation d'un humoriste tirée de l'ouvrage "Gravity and Tectonics" par De Jong and Scholten, 1973)

Le domaine Pennique et l'Austro-Alpin



Au Sud-Est de la grande cassure Martigny-Coire, on trouve le domaine pennique, suivi, dans la partie orientale de la Suisse, par le domaine de l'Austro-Alpin.

Le domaine pennique est formé de schistes cristallins et de gneiss granitiques, violemment comprimés et plissés en grandes nappes de plis superposés qui construisent quelques-uns des hauts sommets des Alpes (Grand Combin, Mischabel, Cervin, Bernina). La couverture sédimentaire, peu ou mal conservée est souvent rejetée loin de son emplacement originel. Toutes ces roches ont été affectées d'un métamorphisme souvent assez intense.

Les schistes lustrés constituent l'essentiel de la couverture volcano-sédimentaire caractéristique du domaine pennique. Ce sont des schistes gréseux et calcaires de teinte sombre, anciens dépôts de mers relativement profondes au sein desquelles se sont épanchées des roches éruptives sous-marines connues aujourd'hui sous le nom **d'ophiolites** (voir encadré).

Les **nappes austro-alpines**, constituées de calcaires et de dolomies provenant de la marge Sud du bassin pennique (marge africaine), surmontent les nappes penniques dans l'édifice alpin. Elles sont représentées surtout dans les Grisons et en Autriche. Dans le Valais et au Tessin, elles ont en grande partie disparu, emportées par l'érosion. Elles y sont néanmoins représentées dans le Massif de la Dent-Blanche et forment le sommet du Cervin.



*Face nord du Cervin avec les replis austro-alpins surmontant le pennique (en clair).
Photo Robert C. Bachmann, dessin d'Emile Argand tiré du Guide géologique de la Suisse, fasc. VII*

Les Ophiolites

Lors des mouvements tectoniques, responsables de la surrection des chaînes de montagnes, il arrive que des fragments complets de croûte océanique basaltique, au lieu de s'enfoncer dans les profondeurs des zones de subduction, s'échouent en plein domaine continental. Elles constituent des sortes de fragments fossiles de croûte océanique. Elles sont connues sous le nom général d'ophiolites. Ce sont principalement d'anciens basaltes issus des dorsales océaniques, complètement métamorphisés et décrits sous le nom général de "roches vertes". Les serpentines en sont l'exemple le plus représentatif. On trouve parfois dans ces roches les structures des laves en coussins si typiques des éruptions sous-marines.



*Massif de serpentine,
Vallée du Gorner, Zermatt*



*Coussins fossiles de basalte,
Musée de Zermatt*

L'Austro-alpin bâtit les hautes vallées des Grisons où il recouvre en majeure partie le domaine pennique. Il se prolonge, à l'Est, dans les **Alpes autrichiennes**. Les roches de l'Austro-alpin diffèrent sensiblement de celles du Pennique. En particulier, la couverture sédimentaire résulte de dépôts d'une mer épicontinentale à récifs de coraux qui constituaient la marge continentale de la plaque africaine. Ces roches constituent les grandes assises de calcaire dolomitique visibles aujourd'hui en Basse Engadine et qui se poursuivent en Italie du Nord, formant ces massifs si caractéristiques des Dolomites¹.



Les Dolomites, constituées de calcaires dolomitique, forment dans le paysage des massifs imposants faisant penser à des ruines majestueuses.

Les Alpes méridionales

A l'arrière des domaines pennique et austro-alpin, une nouvelle cassure importante apparaît : la zone d'Ivrée et du Tonale. Les géologues y voient la cicatrice encore bien visible de la collision de la plaque africaine (Apulie) contre la plaque européenne. Les Alpes méridionales se situent au Sud de cette cassure et, au moment de la formation des Alpes, elles formaient la partie marginale du continent africain d'alors.

Les Alpes méridionales constituent, à partir de la plaine du Pô, les contreforts de la chaîne alpine. Elles englobent la majeure partie des Alpes italiennes et la région méridionale du Tessin entre Locarno et Chiasso. C'est une région de montagnes de faible altitude et de lacs. La structure est simple : un socle cristallin faiblement plissé sur lequel repose une couverture sé-

¹ C'est H. B. de Saussure et son fils Nicolas qui ont décrit pour la première fois au XVIII^e siècle ce calcaire magnésien qu'ils ont baptisé "dolomie" en l'honneur du géologue Dolomieu de Grenoble. Plus tard, les alpinistes anglais ont pris l'habitude de désigner ces massifs sous le nom de Dolomites.

dimentaire, principalement d'âge secondaire, caractérisée par des roches calcaires et par de majestueuses falaises de dolomies.

La jonction des deux anciennes plaques, marquée par la ligne du Tonale et d'Ivrée, s'est effectuée, il y a environ 25 millions d'années. Elle s'est accompagnée de la mise en place des massifs granitiques les plus jeunes des Alpes : les massifs du Bergell et de l'Adamello. Plus au Sud, le socle et sa couverture sédimentaire s'enfoncent et disparaissent sous les alluvions de la plaine du Pô.

Le bassin molassique

Une longue dépression a subsisté au-delà de la bordure Nord des Alpes, durant toute l'Ere tertiaire. Tantôt marine, tantôt lacustre, cette dépression s'est lentement comblée des débris de l'érosion de l'édifice alpin naissant. Ce sont près de 3000 mètres d'épaisseur de marnes, de grès et de conglomérats qui se sont accumulés dès le milieu du Tertiaire, pendant plus de 15 millions d'années. Ces dépôts constituent ce qu'on appelle la **molasse**. La molasse déborde largement des limites du plateau suisse vers l'est où elle s'étend jusqu'à Vienne.

La Molasse

Tout comme le flysch auquel elle ressemble sous bien des aspects, la molasse est un terme générique qui désigne l'ensemble des roches détritiques issues de l'accumulation des débris de l'érosion des plissements naissants dans le bassin qui bordait au nord le massif alpin, sur l'emplacement actuel du Moyen-Pays. On trouve aussi la molasse dans la Plaine du Pô et dans le bassin rhénan. Les grès molassiques à ciment calcaire de couleur gris, beige, vert ou rouge ont été utilisés pour la construction à Genève, dans le Pays de Vaud, à Fribourg ou encore à Berne.

Aujourd'hui la molasse est en grande partie recouverte de dépôts alluvionnaires et de moraines, témoins des dernières glaciations qui ont pris fin, il y a à peine 10'000 ans.



Façade en molasse du
Grand Théâtre de Genève



Les nappes phréatiques

Les sables et les graviers des alluvions récentes et anciennes qui recouvrent la molasse du plateau constituent des réservoirs pour les eaux superficielles ou souterraines qui s'y déversent en provenance des Alpes et du Jura. Ces eaux sont filtrées par les sables et protégées de la pollution par les moraines argileuses qui les recouvrent. Réservoirs naturels, ils constituent les nappes phréatiques, sources d'eau potable pour bien des villes et des villages du plateau suisse.

Le Jura

Bien en marge du domaine alpin, au delà du Moyen Pays, le Jura déploie un éventail de plis et de plateaux en un vaste arc long de 300 kilomètres. Ce sont les mêmes assises sédimentaires qui, dans les Hautes Alpes calcaires, constituent les nappes helvétiques. Ces assises existent aussi profondément sous la molasse.

Les terrains proches du bassin molassique ont été soulevés et comprimés en longs plis longitudinaux alors que vers le Nord les plissements vont en décroissant, comme des vagues de plus en plus atténuées, se terminant en une succession de plateaux de moindre altitude en Bourgogne et en Souabe. Ce sont les derniers soubresauts du plissement alpin qui ont donné naissance à cette chaîne, il y a moins de dix millions d'années.

*Dans le Jura, paysages de forêts et de pâturages, les roches restent souvent cachées à l'observation et c'est dans les **cluses**, véritables cassures qui entaillent les plis du Jura, que sont mis à jour les vastes anticlinaux qui révèlent l'architecture de ces plissements.*

Les roches sont constituées d'alternances de calcaires et de marnes d'âge secondaire, allant du Jurassique au Crétacé. Le soubassement triasique avec ses assises de sel n'est qu'exceptionnellement visible. Mais il se manifeste par les sources salées qui ont donné lieu à de nombreuses exploitations : Lons-le Saunier, Salin-les-Bains ainsi que les salines de Bâle.

Les glaciers

Déjà au XVIII^e siècle, H.B. de Saussure avait été frappé par le fait qu'on trouvait d'énormes blocs de granite du Mont-Blanc presque jusqu'au Sommet du Salève, cette montagne qui domine Genève. Ce n'est que bien plus tard qu'on s'est rendu compte que les glaciers alpins avaient eu dans les passé une beaucoup plus grande extension qu'aujourd'hui. Il y a environ

25'000 ans le glacier du Rhône s'étendait jusqu'à Lyon et que la cuvette genevoise était recouverte par plusieurs centaines de mètres de glace.

C'est le géologue suisse Louis Agassiz qui le premier, en 1837, imagine l'existence de glaciations dans le passé. Les études qui ont suivi ont démontré que l'hémisphère nord avait subi périodiquement des périodes de refroidissement entraînant une avance considérable des glaciers.

Ces glaciations ont recouvert une partie de notre pays de moraines issues des glaciers alpins. Ce



Dépôt morainique

sont des dépôts plus ou moins consolidés faits d'un mélange de sable, d'argile et de galets de toutes tailles. Ce sont sur ces dépôts que se sont constituées les terres arables qui font vivre notre agriculture aujourd'hui. Les rivières ont souvent remanié ces dépôts qui sont connus sous le nom de **dépôts fluvio-glaciaires**. Les galets qu'ils renferment représentent un échantillonnage de la plupart des roches alpines qui ont été emportées par ces glaciers.

Les blocs erratiques sont des fragments de roches de grande taille véhiculés par les glaciers. Les Pierres du Niton, dans la rade de Genève en sont les exemples les plus connus.



Depuis la fin de l'ère glaciaire, Niton et Neptune, les deux blocs erratiques, émergent de la rade face au Jardin Anglais. La plus grande de ces deux pierres a été choisie par le célèbre général Henri Dufour pour servir de base (altitude 373,6 mètres au-dessus du niveau de la mer) au nivellement de la Suisse et à l'établissement, en 1864, de sa fameuse carte au 1:100 000e.