

L'enthousiasme :  
L'héritage pédagogique  
de Marcel Burri

Michel Marthaler  
Université de Lausanne

















































# Trois longues histoires pour raconter les Alpes

Les chaînes de montagnes ne sont pas éternelles. Elles suivent un cycle, appelé orogénique, qui décrit leur évolution depuis la naissance de leurs roches jusqu'à la formation de leur relief, suivi par son érosion.

Le dernier, le cycle alpin, a débuté il y a environ 260 Ma; il n'est aujourd'hui pas tout à fait terminé. Les tremblements de terre en Valais en sont la preuve et l'érosion est encore très active.

Nous proposons d'utiliser dans ce guide le modèle didactique des trois histoires du paysage, décrit par Nicolas Kramar qui à également préfacé ce livre. Ce modèle est fondé sur les trois étapes d'un cycle orogénique :

**HISTOIRE 1** naissance et solidification des roches ;

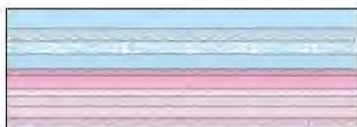
**HISTOIRE 2** déformations ;

**HISTOIRE 3** érosion.

## HISTOIRE 1

### L'histoire des roches

Elle nous parle d'un bon vieux temps géologique en millions d'années, elle nous raconte l'histoire d'anciens paysages, de paléo-environnements dans lesquels sont nées les roches : déserts, rivières, lacs, volcans, bords de mer ou profondeur des océans. Les pierres sont les témoins d'une paléogéographie, d'un ancien climat, de la vie d'alors et de son évolution. Dans les Alpes, les plus vieilles roches, issues d'orogénèses très anciennes, datent d'environ un milliard d'années jusqu'à -300 Ma. Mais la majorité ont un âge compris entre -260 et -40 Ma ; elles racontent l'histoire des roches du cycle alpin, le plus récent et le mieux connu.



Dépôt des sédiments dans la mer



▲ Pli du massif d'Argentine (Vaud). Cette vue aérienne permet d'observer les trois histoires.

## HISTOIRE 2

### L'histoire des plis, des mouvements qui ont construit les montagnes

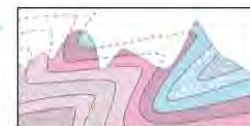
Cette histoire est plus difficile à comprendre et à expliquer, car c'est celle de gigantesques bouleversements qui vont, par exemple, lentement transformer le paysage d'un bord de mer en hautes montagnes enneigées. La cause de ces changements est la dérive des continents et du fond des océans (ou tectonique des plaques), dont le moteur est la chaleur enfouie jusqu'au

centre de la Terre. Notre planète a toujours évolué, et la tectonique des plaques restera active pour longtemps encore. Pour les Alpes, elle a provoqué un empilement de grands groupes de roches (continentales et océaniques) tout en les plissant.

Tout cela s'est déroulé entre -100 et -10 Ma, avec une crise orogénique (fin de l'empilement, plis, début du soulèvement) vers -35 Ma, mais qui perdure encore un petit peu aujourd'hui.



Plissement des roches sous terre



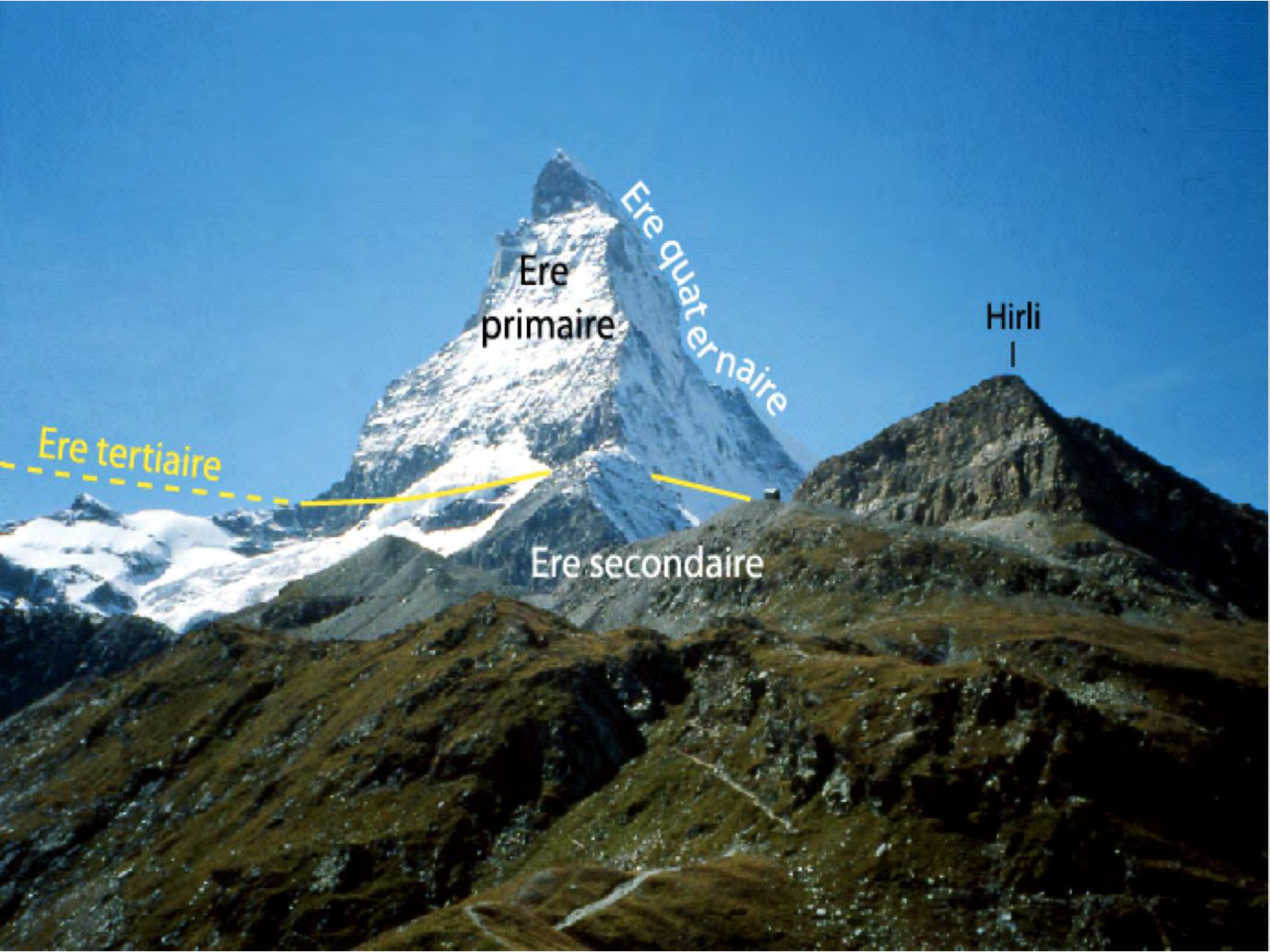
Érosion et découpe du relief en surface

## HISTOIRE 3

### L'histoire des formes et de l'érosion

À peine né, tout relief est soumis à l'érosion. Cette histoire ne commence donc pas après celle de la tectonique, mais pendant que les montagnes s'élèvent. Oui, tectonique et érosion se combinent ; l'érosion, en allégeant les reliefs, les fait remonter, tel un bateau que l'on décharge. Deux types d'érosion se sont succédés : torrents, rivières et fleuves ont érodé les

jeunes Alpes pendant leur soulèvement (principalement entre -40 et -10 Ma), puis ce sont les grands glaciers du Quaternaire (durant les deux derniers millions d'années de notre longue épopée) qui ont donné aux montagnes et aux paysages les formes qu'ils ont aujourd'hui. La vallée du Rhône et le lac Léman sont bien plus jeunes que la matière des montagnes qui les entourent.



Ere  
primaire

Ere quaternaire

Hirli  
|

Ere tertiaire

Ere secondaire





Extrait de la carte géologique d'Emile Argand (1908)<sup>1</sup>.

Echelle: 1:75 000

Les gneiss continentaux d'origine africaine sont en rouge orangé. Les sédiments océaniques en bleu et les laves sous-marines en vert. Bien que les glaciers et leurs moraines recouvrent en partie les roches, il est relativement facile (grâce au trait jaune rajouté) de visualiser où passe la limite entre roches continentales et océaniques. C'est un des buts de la cartographie géologique: pouvoir situer les contacts entre roches différentes sous les formations qui datent du **Quaternaire** (glaciers, moraines, éboulis).









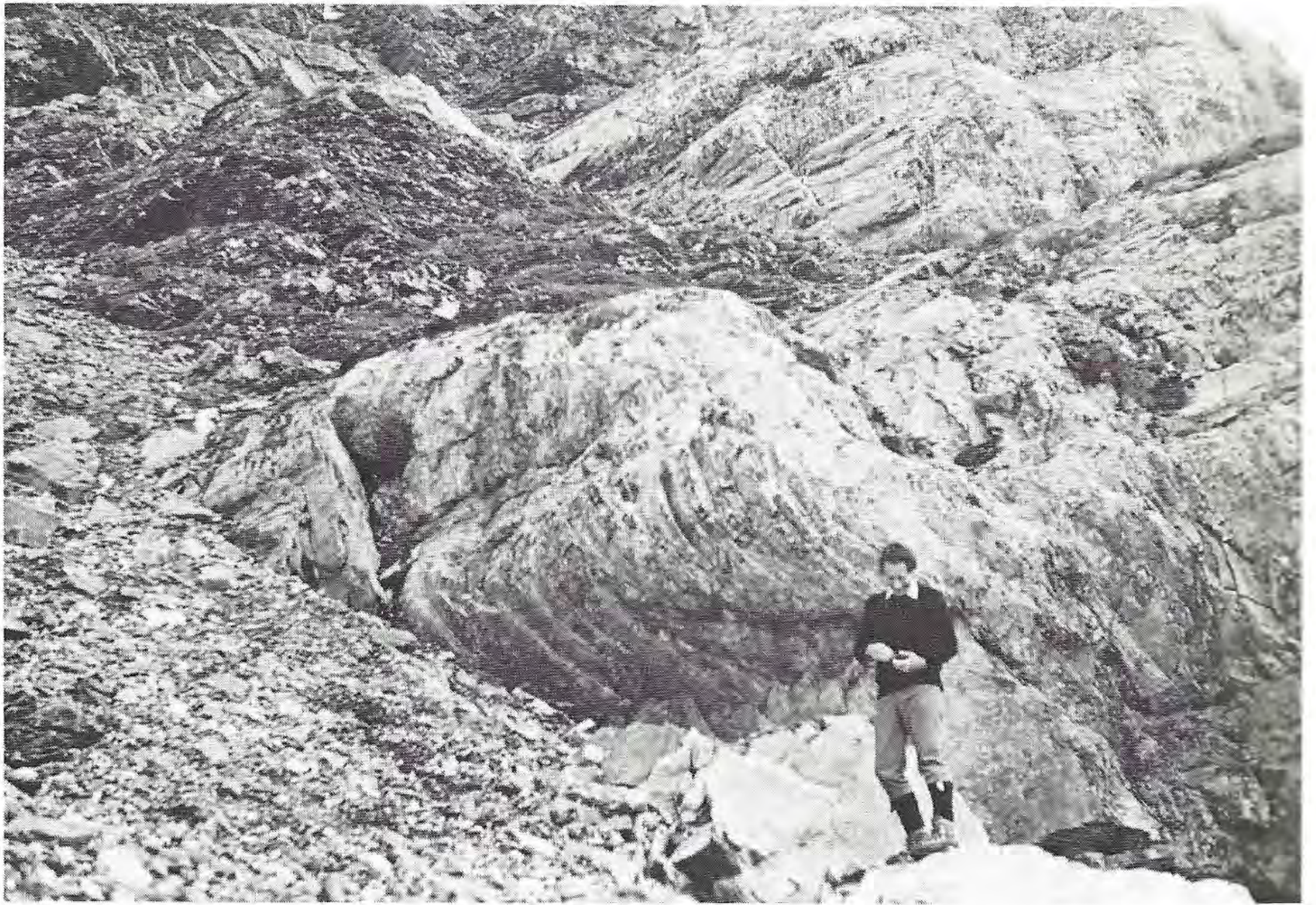
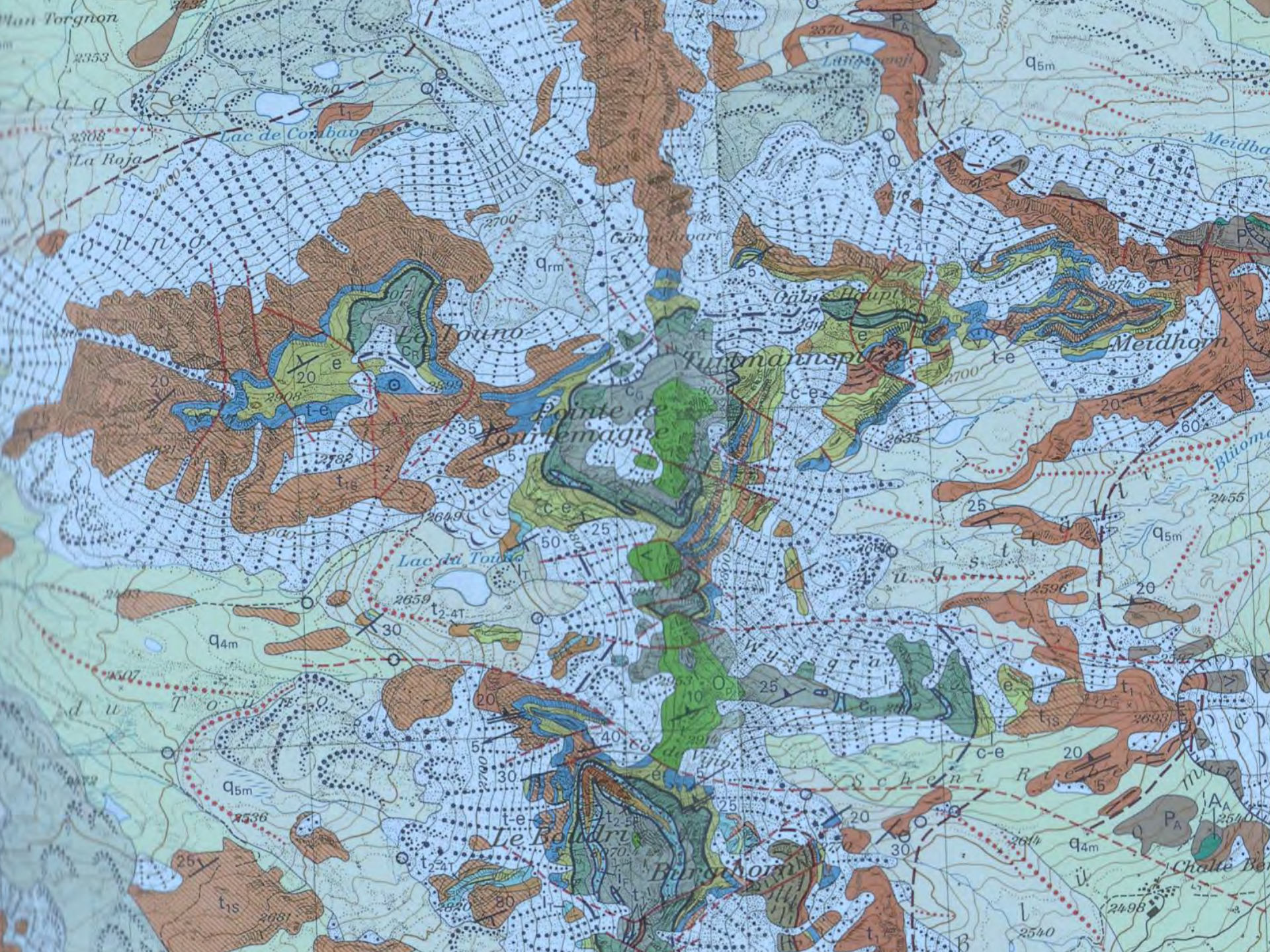


Fig.20. Cascade de plis en retour dans la série du Toûno. Le N est à droite. Flanc E du Boudri (617.160/  
115.850).









*Version provisoire*



▲ Vue aérienne du site de Moiry, prise en direction du sud. Ce beau barrage-voûte peut retenir jusqu'à 77 millions de mètres cube.



### **Le plancton : indispensable pour stocker le CO<sub>2</sub>**

Pour fabriquer leurs coquilles calcaires (CaCO<sub>3</sub>), tous les organismes marins ont besoin de grande quantité de CO<sub>2</sub> qui est dissous dans l'eau des océans. Ainsi, la vie sous-marine, en stockant le dioxyde de carbone, évite que la planète ne se réchauffe trop.

Les foraminifères planctoniques sont des organismes unicellulaires qui vivaient et vivent encore par milliards dans les océans. Les formes très variées de leurs petites coquilles permettent de connaître leur âge. Les foraminifères découverts dans les calcschistes des Alpes valaisannes datent de la période du Crétacé, de -110 à -70 Ma. Ils ont contribué à faire baisser la température très chaude durant cette époque.



▲ *Coquille de foraminifère planctonique, agrandie 50 fois.*



◀ *Les taches claires sont des grains de quartz et les zones beiges du calcaire avec des petites taches orange. Parmi celles-ci, on arrive à distinguer les minuscules coquilles calcaires des foraminifères qui mesurent un demi-millimètre de diamètre. Elles sont souvent mal conservées, à cause des déformations et de la pression subies lors de l'orogénèse alpine.*

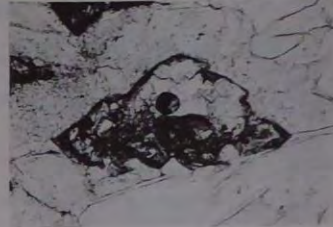
## Planche 3

## Foraminifères planctoniques de la série Rousse

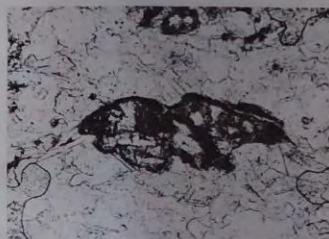
- Fig. 1 *Rotalipora* sp.? Cénomanién? Gr. ×105. Marbres phylliteux ocre, Wyssgrat. (618.015/116.026). Ech. 42.932 [425].
- Fig. 2 *Rotalipora* sp.? Cénomanién? Gr. ×90. Marbres phylliteux gréseux. Frilihorn. (618.100/112.916). Ech. 42.937 [515].
- Fig. 3 *Rotalipora* sp.? Cénomanién? Gr. ×60. Marbres gréseux gris. Boudri, face E. (617.192/115.530). Ech. 42.929 [544].
- Fig. 4 *Rotalipora* sp.? Cénomanién? Gr. ×60. Marbres bréchiqes ocre. Pointe de Tourtemagne. (616.915/117.060). Ech. 42.938 [487].
- Fig. 5 Foraminifère planctonique bicaréné s.l., Crétacé supérieur indifférencié. Gr. ×105. Marbres phylliteux ocre. Pointe de Forcletta. (617.190/115.013). Ech. 42.931 [553].
- Fig. 6 Foraminifère planctonique bicaréné, Crétacé supérieur indifférencié. Gr. ×66. Marbres gréseux ocre. Pointe de Tourtemagne. (616.954/117.052). Ech. 42.939 [471].
- Fig. 7 Foraminifère planctonique bicaréné s.l., Crétacé supérieur indifférencié. Gr. ×70. Marbres microbréchiqes. Col au S du Boudri. (616.977/115.288). Ech. 42.936 [534].
- Fig. 8 Foraminifère planctonique bicaréné s.l., Crétacé supérieur indifférencié. Gr. ×80. Marbres phylliteux ocre. Pointe de Forcletta. (617.144/114.952). Ech. 42.933 [555].



1



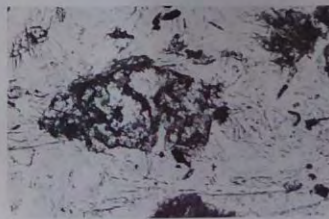
2



3



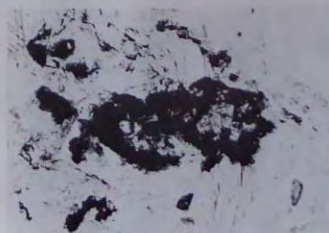
4



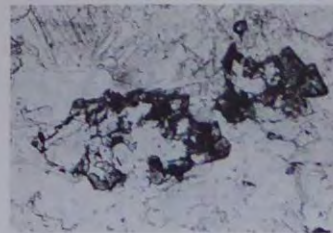
5



6

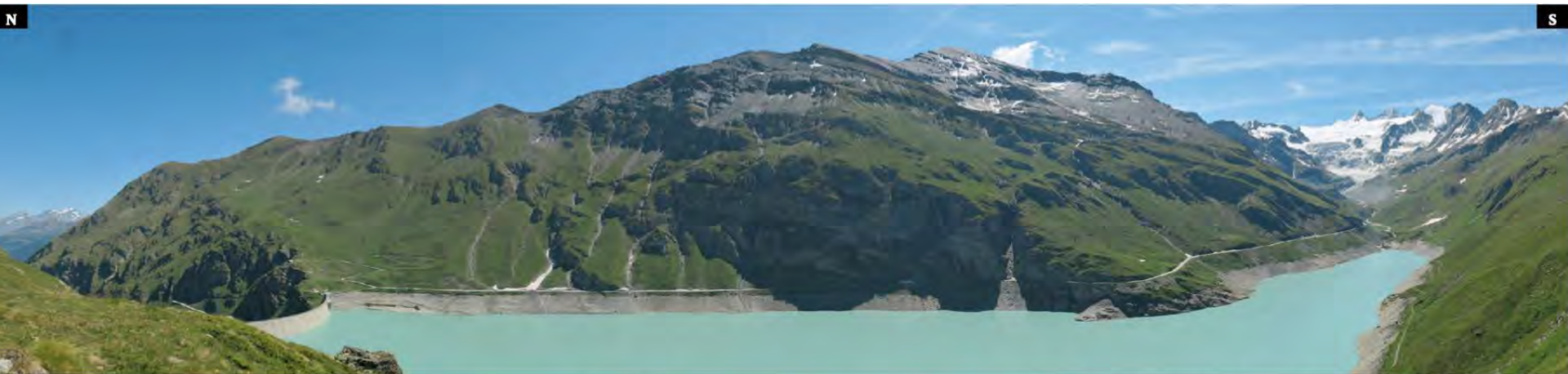


7



8





#### ▲ Panorama vers l'est

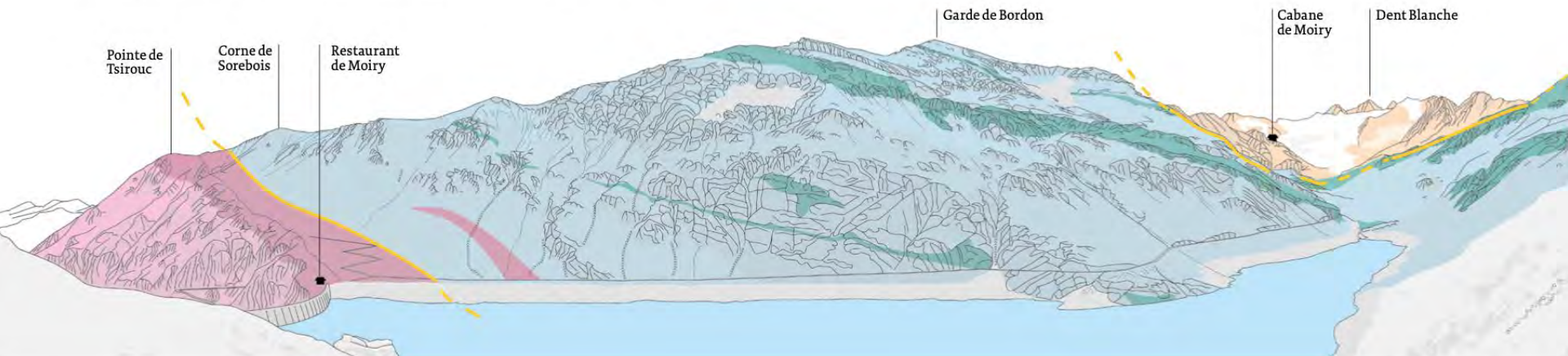
La portion du panorama sur notre gauche (vers le nord) résume la géologie des étapes déjà parcourues. On voit, comme lors de l'étape 1, mais mieux grâce à plus de recul, la grande masse des gneiss qui s'abaisse progressivement vers le sud pour s'enfoncer sous le lac au niveau du barrage. Le restaurant de Moiry, à gauche du parking, est construit sur la limite entre les gneiss et les quartzites, comme lors

du passage des étapes 2 et 3. Les quartzites et les conglomérats forment une bande légèrement plus claire collée sur les gneiss plus sombres. Un peu plus à droite, une route en lacets gravit une combe qui s'élève jusqu'à une échancrure entre la Pointe de Tsirouc et la Corne de Sorebois. Comme observé lors de l'étape 4, cette zone herbeuse nous révèle la présence (en partie cachée par la moraine) des cornieules en sous-sol. Ces dernières

marquent aussi la limite de déplacement entre deux grandes unités géologiques : le continent européen (dessous) et les restes de l'océan Téthys (dessus), qui est la patrie de la majorité des roches que nous avons sous les yeux ; elles dominent le lac, de la Corne de Sorebois à la Garde de Bordon. On voit très bien la structure stratifiée de cette grande masse de sédiments océaniques, avec toujours ce même pendage en direction du sud.

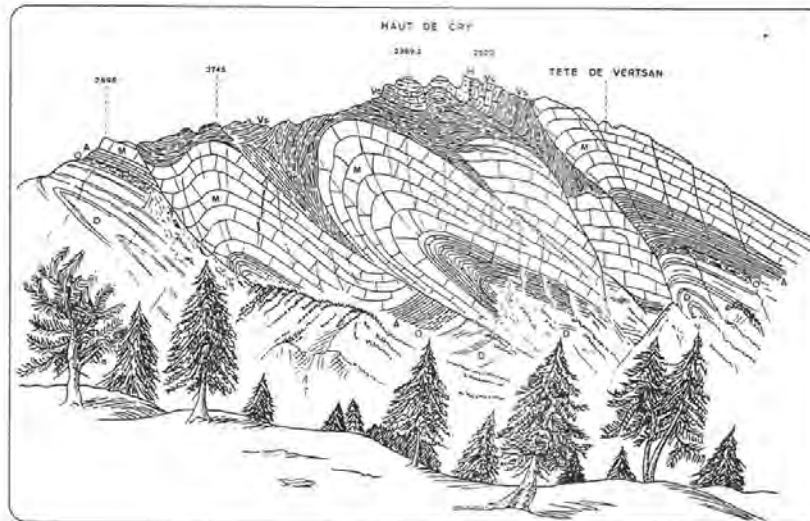
▲ Tout au fond du vallon, les glaciers recouvrent en partie d'autres gneiss très anciens (paléozoïques) d'origine africaine.

À l'envers de la logique du temps (comme c'est le cas au pied du Cervin), ils reposent sur les roches plus jeunes d'origine océanique. Nous éluciderons cette énigme plus loin dans la balade.



ROCHES ET MINERAUX :  
UNE INTRODUCTION  
A LA GEOLOGIE

MARCEL BURRI  
MICHEL MARTHALER





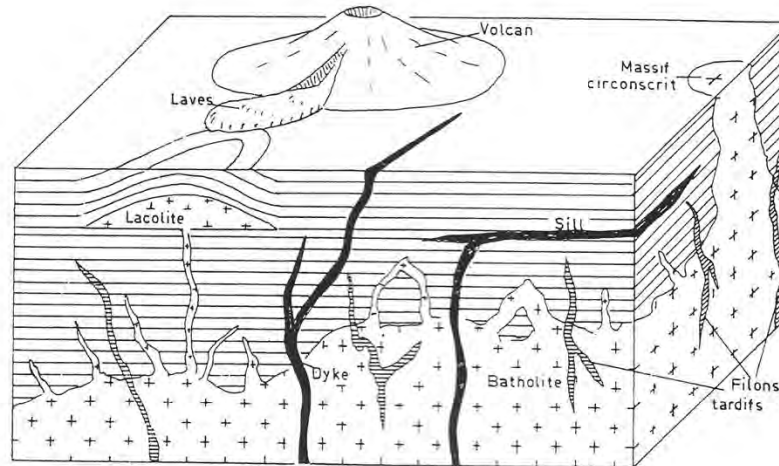


Fig. 28 Schéma des principaux modes de gisement des roches ignées. Les masses qui restent prises dans l'épaisseur de l'écorce terrestre donnent naissance à des batholites de grandes dimensions. Les massifs circonscrits en sont la limite locale. Autre cas particulier, le lacolite, est une sorte de lentille mise en place horizontalement. Ce n'est guère qu'un épaissement local du système filonien, qui comprend les filons (ou dyke) verticaux ou très obliques sur les couches, alors que le sill leur est plus ou moins parallèle. Les filons peuvent alimenter en surface un volcan et ses coulées.

Tout ce qui se passe en profondeur ne sera visible que des millions d'années après la mise en place, quand l'érosion aura enlevé toute la couverture sous laquelle s'est opérée cette mise en place. Cette reconstitution schématique est établie à partir d'une série d'affleurements observés en différents points du globe et supposés représenter des niveaux d'érosion de plus en plus profonds.

## B. CLASSIFICATION DES ROCHES IGNEES

Ces quelques notions sur la genèse des roches ignées expliquent les principes de leur classification: la composition minéralogique et la texture. En réalité, la classification est



appareils: bouclier à la base, puis stratovolcan, puis cône pyroclastique et, finalement, extrusion (fig. 34).

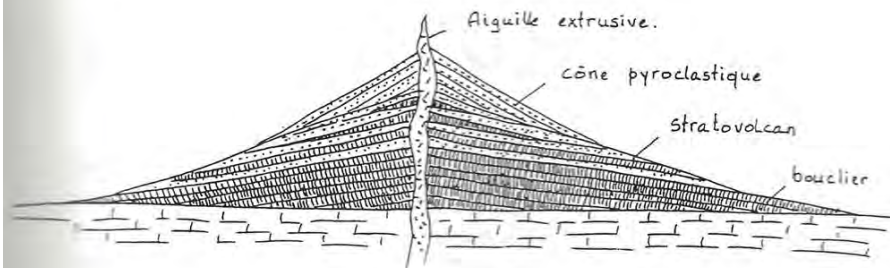


Fig. 34. Coupe théorique à travers les appareils successifs d'un volcan.

Cette évolution est le résultat de la cristallisation dans la chambre magmatique, sous le volcan (fig. 35). Le magma initial, monté des profondeurs, basaltique, perd ses éléments les plus basiques: les premiers cristaux ferromagnésiens, plus dense que le magma, tombent sur le plancher de la chambre. Le bain résiduel est appauvri en base, donc plus acide: c'est la **différentiation par gravité**. Par ailleurs le magma peut assimiler les roches des parois de la chambre; si elles sont granitiques, le magma est acidifié par **contamination**. Cette évolution n'est complète que dans les volcans continentaux où précisément cette contamination est possible (Andes, Japon); elle n'a pas lieu en milieu océanique où manque le granite (Hawaï, Islande).

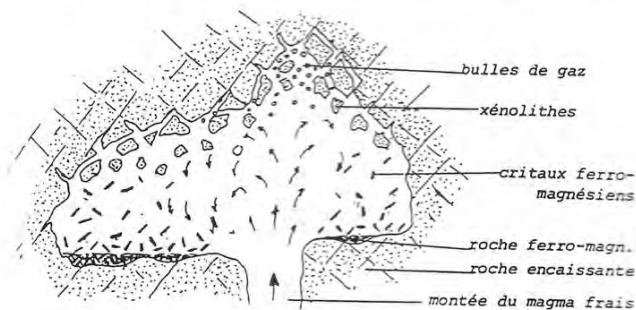


Fig. 35. Schéma de l'évolution d'une chambre magmatique.



- oxygénation optimale.

Si ces conditions sont réunies, il se construit un récif dont la coupe est la suivante:

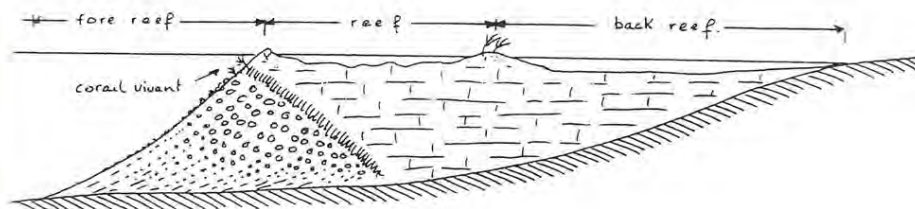


Fig. 44 Coupe d'un récif de corail

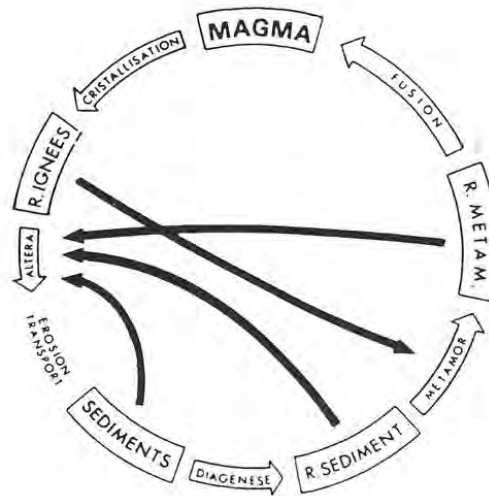
Le récif lui-même (reef) comprend le corail qui vit en dessous de la limite des basses eaux dont peut émerger une petite crête consolidée par des algues encroûtantes. Le récif alimente un éboulis constituant le pré-récif (fore reef) où les gros blocs restent vers le haut, alors que le matériel plus fin gagne de plus grandes profondeurs: on aura là des roches détritiques calcaires. En arrière du corail, sur le plattier vivent des crustacés, des oursins, des lamelliibranches et des gastéropodes, tous grands fixateurs de calcite. Le vent arrache au plattier émergé à marée basse des grains qui constituent une île marquant la limite avec l'arrière-récif (back reef), souvent une lagune sursalée où le vent transporte les particules les plus fines et où les rivières peuvent apporter des argiles et des limons. On voit que dans l'édifice, le corail n'occupe qu'une place très restreinte, le gros du calcaire étant fixé par d'autres organismes.

La coupe de ce récif frangeant montre que la construction s'est amorcée très modestement, alors que le niveau de la mer était plus bas et que le corail s'est développé vers le haut, au fur et à mesure que le niveau montait. La fonte des grands glaciers du Quaternaire est responsable de cette remontée d'une centaine de mètres environ. Si la côte a eu l'occasion de s'enfoncer assez lentement pour que le corail puisse continuer sa croissance, l'épaisseur de la construction peut être beaucoup plus forte. C'est particulièrement le cas pour quelques îles volcaniques du Pacifique, dont le récif frangeant s'est transformé en une construction circulaire entourant un lagon, les **atolls**, où l'épaisseur de calcaire atteint 1'500 m.

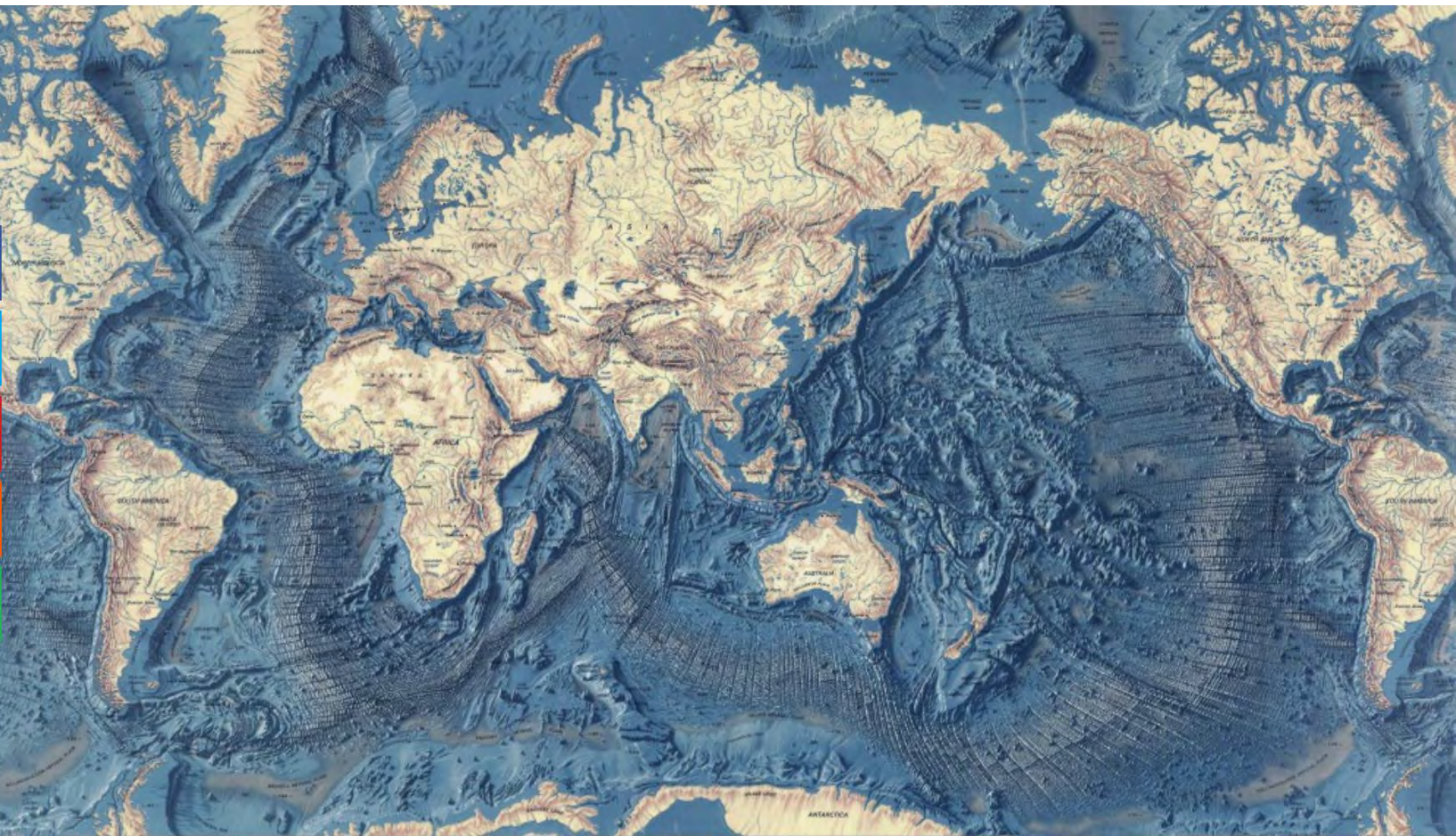


### 3. Le cycle des roches

Comme beaucoup de phénomènes naturels, les roches évoluent en un grand cycle qui peut être résumé dans le tableau suivant



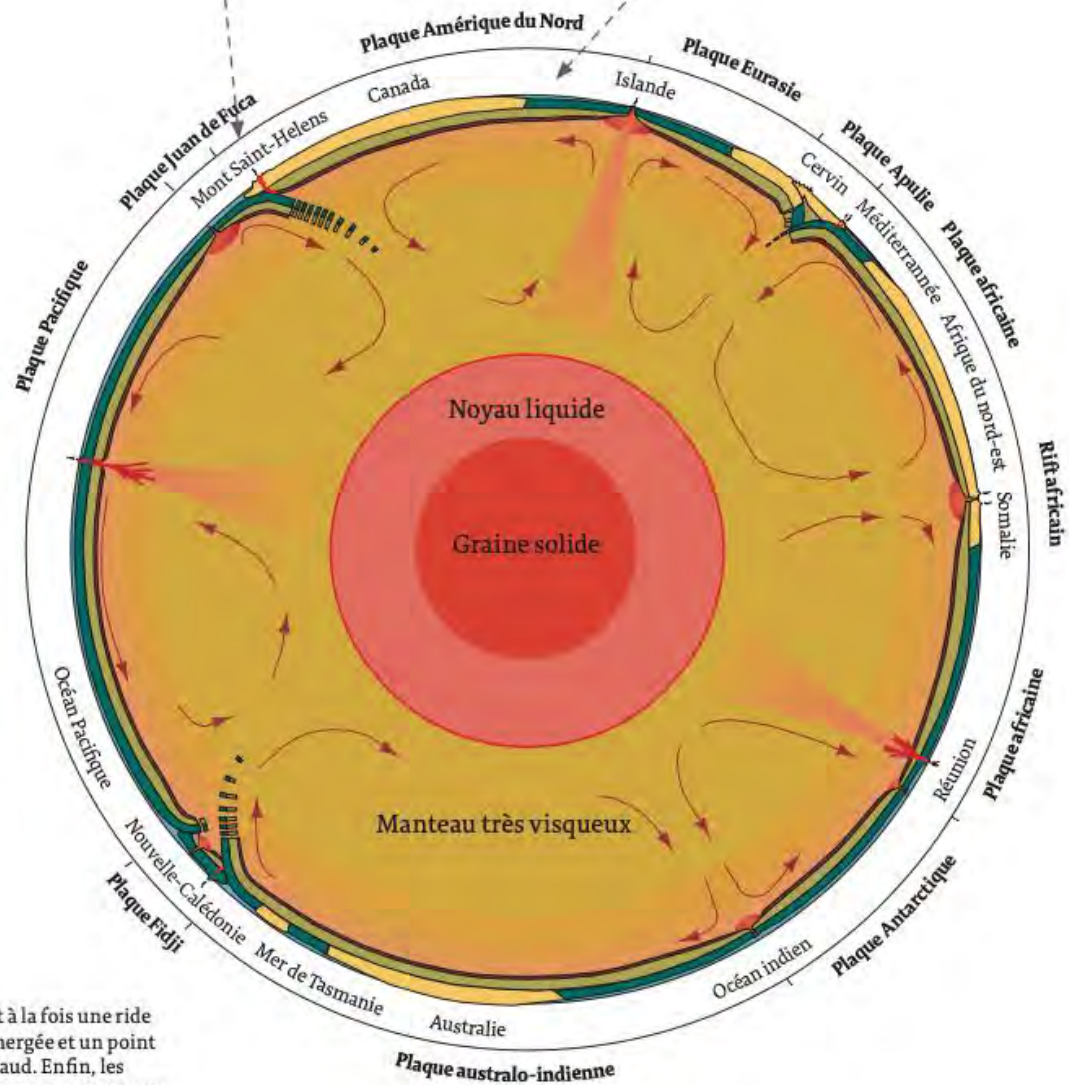
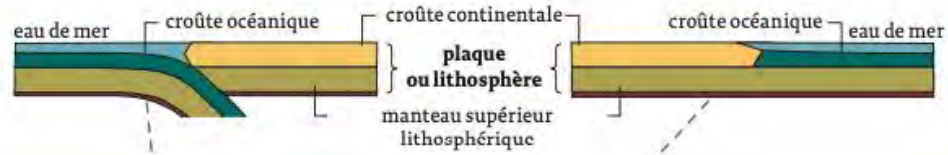
Ainsi, au rythme tranquille du temps géologique, les roches naissent, grandissent, évoluent, vieillissent, meurent... et renaissent. Est-ce si différent de la vie ?





Marge active:

Marge passive:



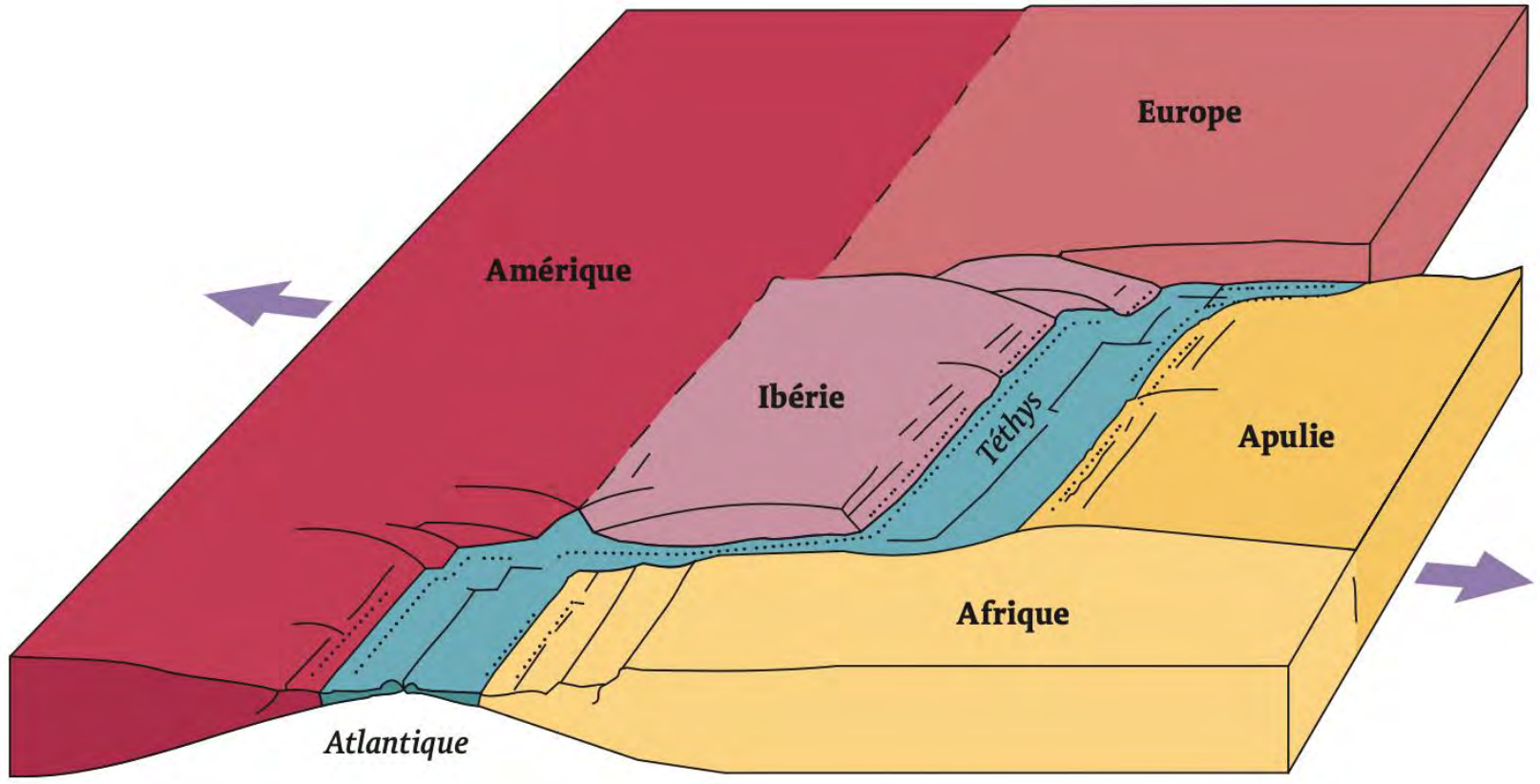
it à la fois une ride  
 nergée et un point  
 aud. Enfin, les  
 aques convergentes



**Le nord de la mer Rouge (golfs de Suez et d'Aqaba) vu de l'espace.**

Cette superbe photographie a été prise en mars 1996 depuis la navette spatiale Atlantis, avec la station Mir au premier plan.

La plaque arabe, à droite, se déplace en direction du nord-est à la vitesse d'environ un centimètre par an. Le rift actif dessine un coude, car c'est le golfe d'Aqaba et non le golfe de Suez qui marque aujourd'hui la limite coulissante des plaques arabiques et africaines. Cette image nous suggère ce que pouvait être le puzzle des continents et des océans naissants lors de l'ouverture de l'Atlantique central : en comparant ce dernier à la branche principale de la mer Rouge, la péninsule du Sinai devient l'Ibérie, voici 190 millions d'années, le golfe de Suez serait l'Atlantique nord et le golfe d'Aqaba, la Téthys.



a donc été enregistré, car on rencontre des brèches dans de nombreuses montagnes des Alpes: le sommet des Becs de Bosson, le Sasseneire, le Mont Dolin; dans les Préalpes aussi: le Mont de Grange, le Roc d'Enfer, la Videmanette. Il y en a beaucoup aussi dans les Alpes autrichiennes, italiennes, françaises, jusqu'en Corse; et toujours d'âge jurassique.

Les brèches témoignent donc de la déchirure et du rifting de la Pangée, qui amorce la séparation entre le mégacontinent sud (le Gondwana) et le continent nord (la Laurasia).

L'eau va occuper ce gigantesque fossé d'effondrement. La mer Téthys va s'élargir pour devenir un océan. Comme aujourd'hui la mer Rouge (en petit) ou l'Atlantique (en grand), les continents divergent grâce à l'ouverture des océans.



De l'étape 5, faisons quelques pas seulement en quittant la route pour nous arrêter vers la table en pierre plate bordée de quelques sièges en caillou. Prenons le temps d'admirer le panorama sur le lac. C'est aussi un joli coin pour le pique-nique.

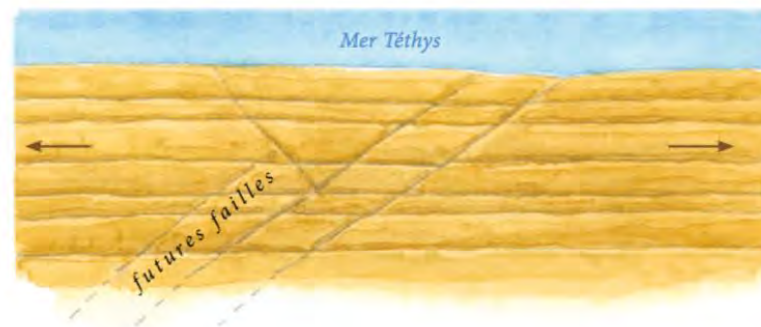
▼ **Les brèches racontent deux histoires successives:**

1. la première, celle de dépôts des dolomies sous forme de strates;
2. la deuxième, 20 Ma plus tard, celle du dépôt des débris de dolomie.



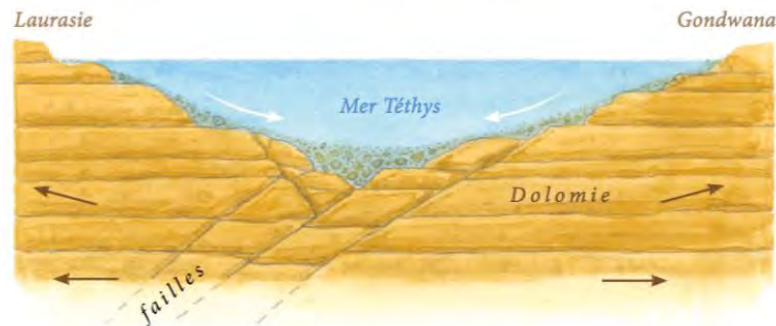
## La formation des brèches lors de la déchirure de la Pangée

### 1. Pendant le Trias

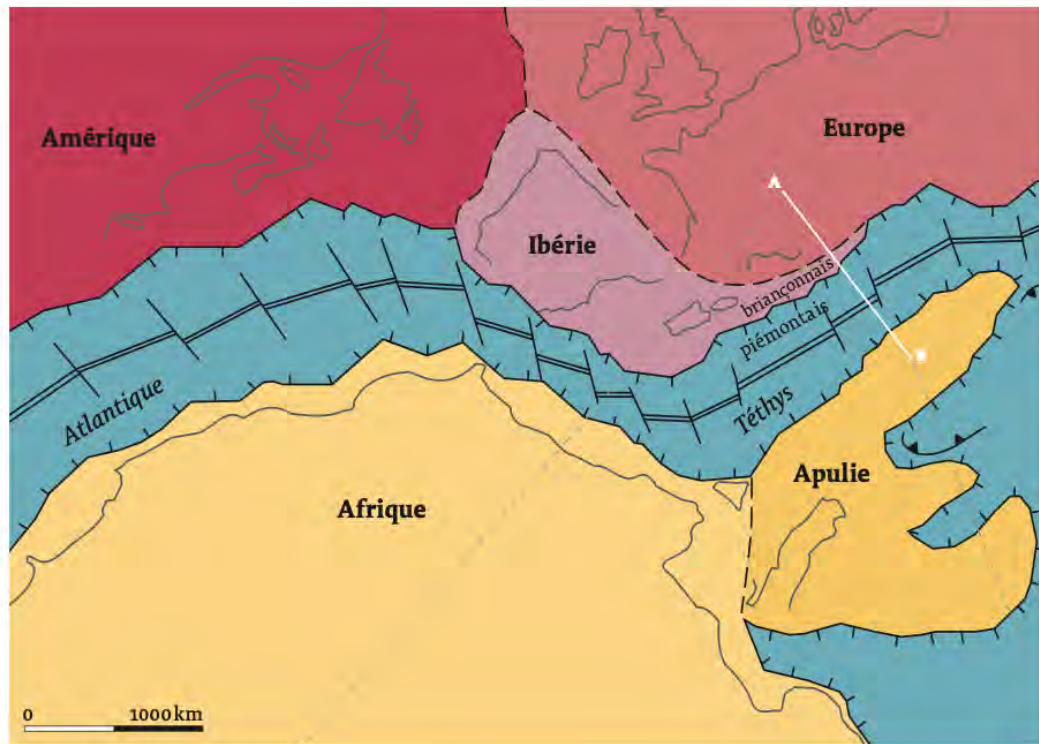


Dépôts des couches de dolomie il y a 220 Ma.

### 2. Pendant le Jurassique



Dépôts des brèches (débris de dolomie cimentée par du calcaire) il y a 200 à 170 Ma.

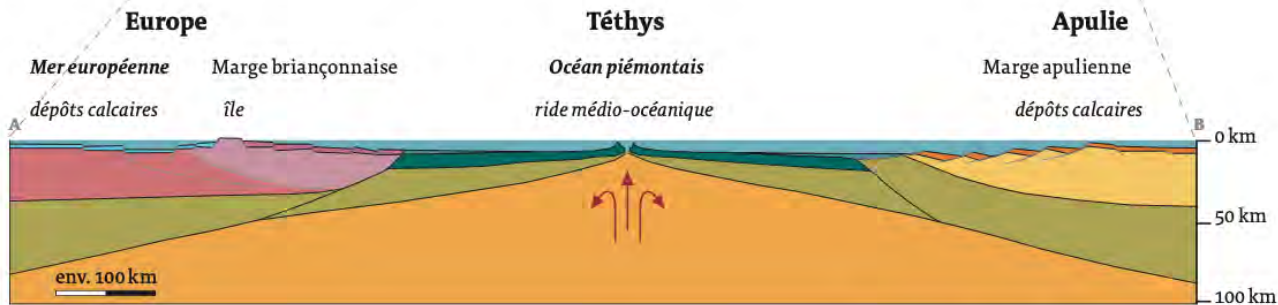


**Ilya 160 à 150 millions d'années, l'Atlantique central et la Téthys s'élargissent ensemble.**

Durant la deuxième moitié du Jurassique, l'Atlantique nord n'est pas encore ouvert, laissant accolées l'Europe du nord, l'Ibérie et l'Amérique. La presqu'île apulienne fait toujours partie de l'Afrique, mais va bientôt s'en détacher. Relevons que la limite continent-océan ne correspond pas à celle du rivage. La Téthys débordait largement sur les plates-formes (ou marges) continentales, comme le montre la coupe ci-dessous. Ainsi, toute l'Europe, l'Apulie et le nord de l'Afrique étaient sous la mer.

*D'après G. Stampfli<sup>24</sup>*

A-B : Situation de la coupe ci-dessous.

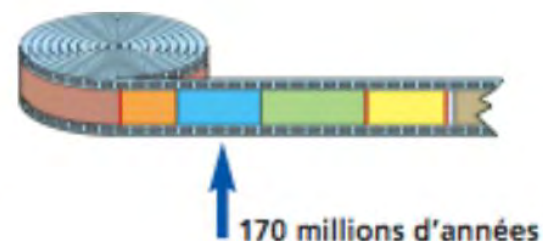


**Coupe à travers l'océan piémontais montrant la mer qui recouvre les deux marges continentales, au**

calcaires et de marnes. Du côté européen, une île émerge de la marge briançonnaise. Cette dernière va se détacher



Dans de nombreux endroits des Alpes occidentales, près d'Arosa dans les Grisons <sup>32</sup>, dans la région de Zermatt <sup>33</sup>, au fond des vals d'Hérens et d'Anniviers <sup>34</sup>, au Montgenèvre près de Briançon <sup>35</sup> et au Mont Viso <sup>36</sup> on a retrouvé des serpentinites, des gabbros et des laves en coussins bien préservées datant de 170 à 160 millions



Deux images de laves en coussins, séparées par 170 millions d'années.

a) Basaltes actuels du fond du Pacifique.

b) Métabasaltés du Montgenèvre (Queyras) d'âge jurassique moyen.

Sur les deux images, on remarque la structure concentrique des tubes de lave due à son refroidissement progressif, de l'extérieur vers le centre des coussins.





N

S

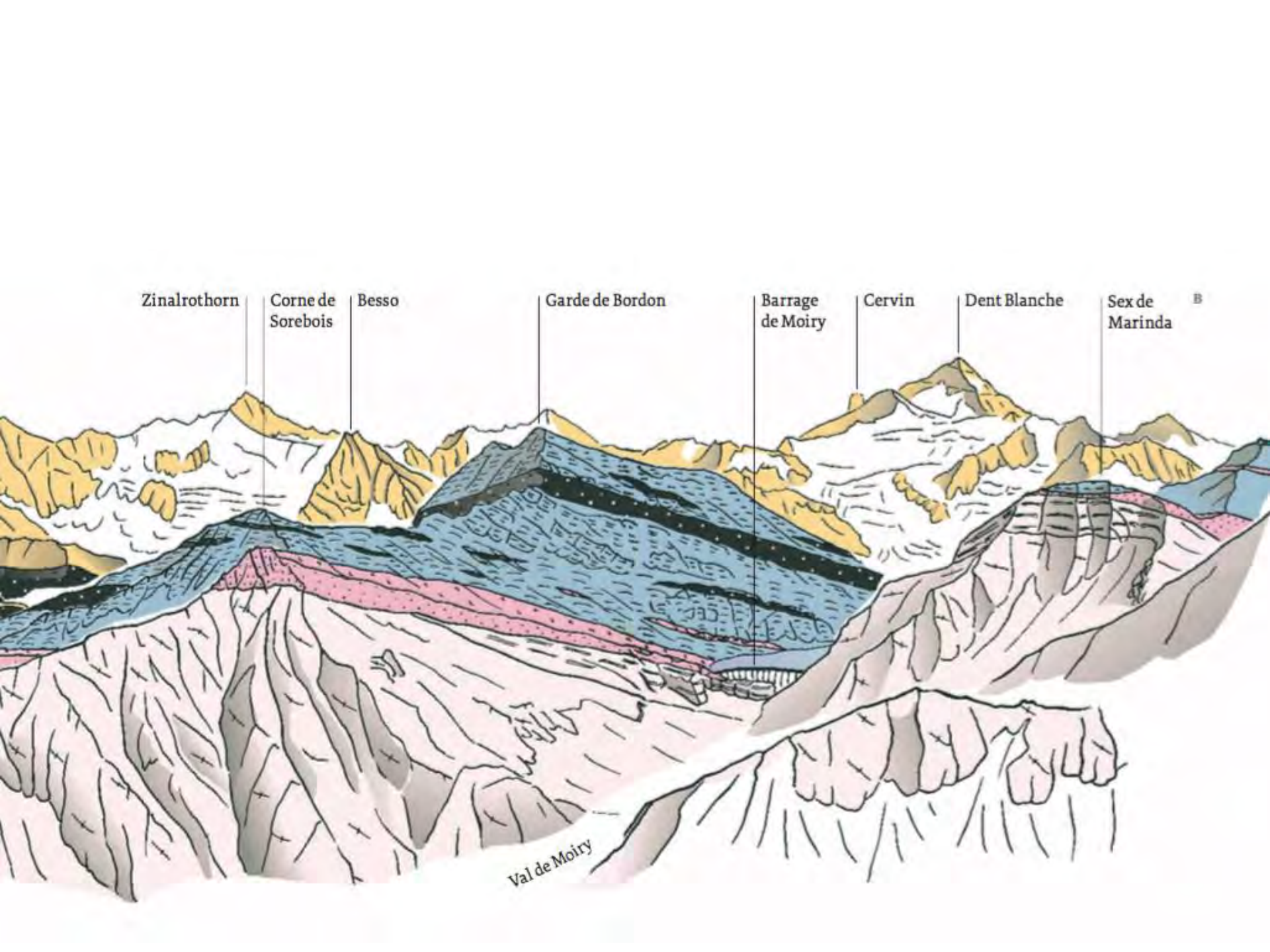




**HISTOIRE 1** Au début du Crétacé, les sédiments sombres se déposent au bord de l'océan, tandis que les basaltes en coussin forment la croûte océanique plus au centre.



**HISTOIRE 2** À la fin du Crétacé, la compression des fonds océaniques, liée à la subduction, fait s'empiler des écailles de croûte océanique sur les sédiments.



Zinalrothorn

Corne de Sorebois

Besso

Garde de Bordon

Barrage de Moiry

Cervin

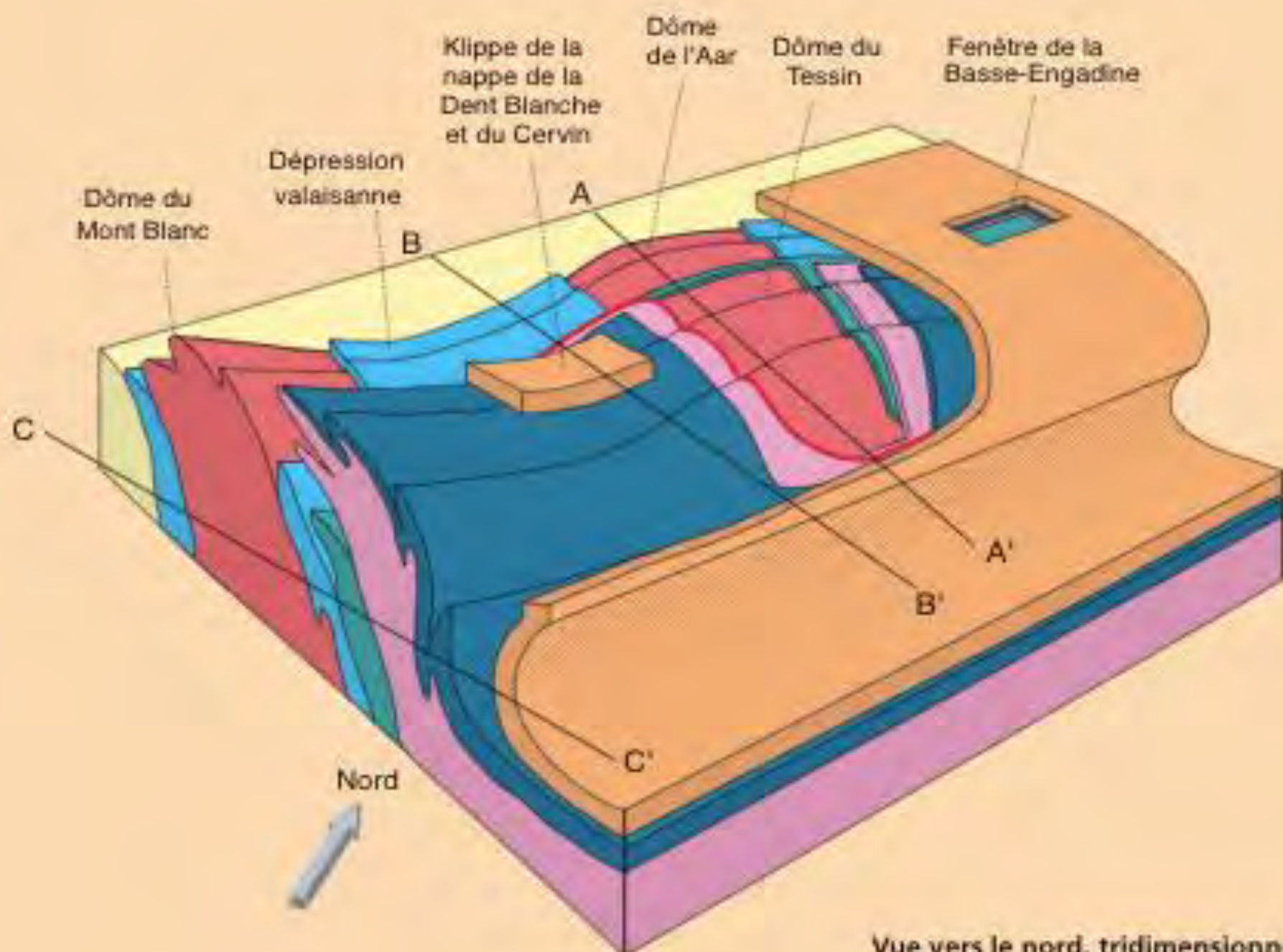
Dent Blanche

Sex de Marinda

B

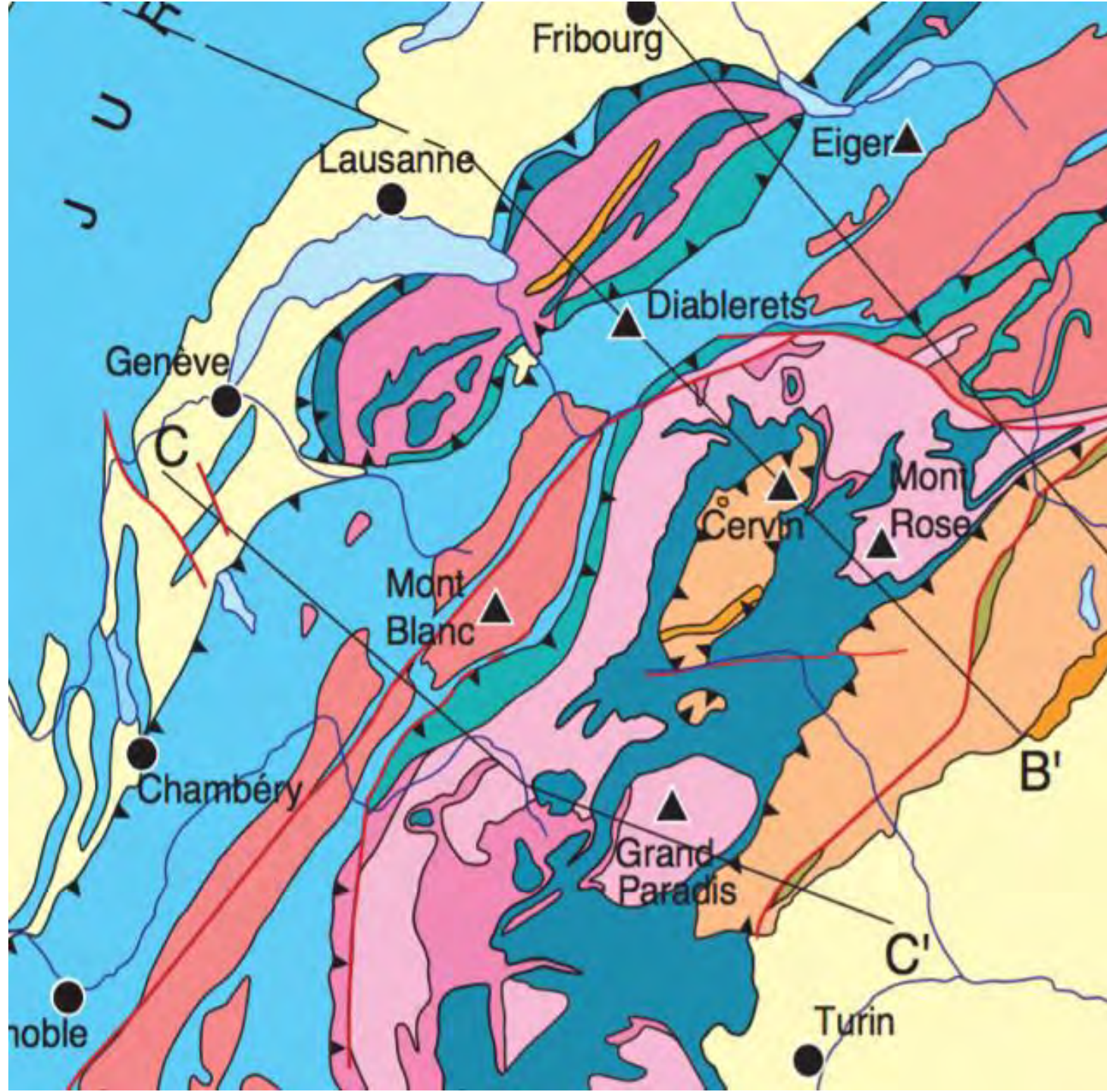
Val de Moiry





Vue vers le nord, tridimensionnelle et schématique du bâti structural alpin.







**Le Mont Viso (en vert sombre), dans les Alpes italiennes, est un témoin du fond de l'ancien océan piémontais.**

Les roches vert sombre (des ophiolites) sont des serpentinites, des gabbros et des basaltes en coussins, roches typiques des volcans sous-marins qui tapisaient le fond de l'océan. Pendant le Jurassique, cette partie profonde de la Téthys élargissait l'espace entre l'Europe et l'Afrique.

Au premier plan, les couches inclinées plus claires de calcaires siliceux ont livré des microfossiles (calpionelles et radiolaires<sup>41</sup>) d'âge jurassique. Ces sédiments se sont déposés sur la croûte océanique, au fond de la Téthys. Ainsi, paradoxalement, ce sont les montagnes d'aujourd'hui qui témoignent de la mer disparue.







**B** Radiolaire (*Palinandromeda praepoldbielensis*) du Bajocien (Dogger, -170 millions d'années). Cette fine coquille siliceuse pro-



**C** Foraminifère planctonique (*Rotalipora montsalvensis*) du Cénomaniens (Crétacé supérieur, -95 millions d'années). Ce microfos-



S

N

Continent briançonnais

Faille

Prisme océanique valaisan

1

2

3

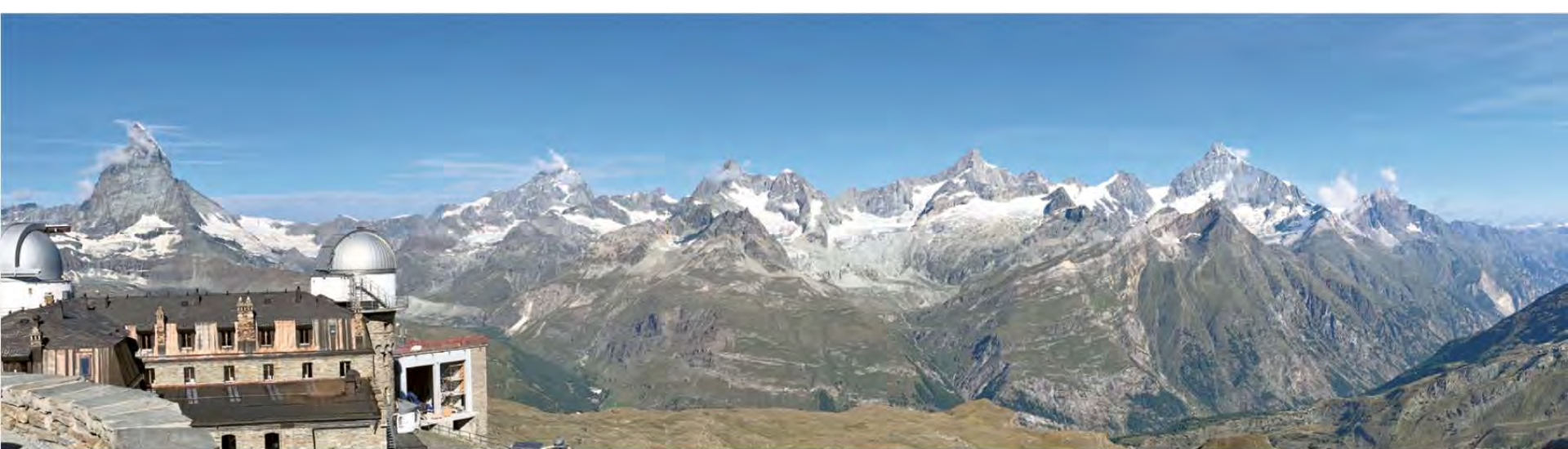
4

2

3







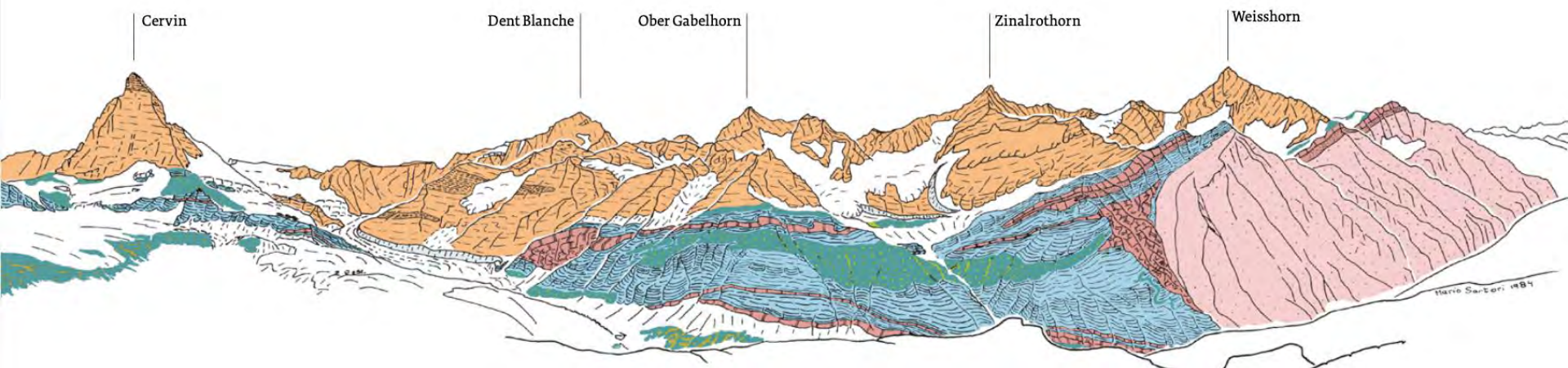
▲ La « Couronne impériale » est le nom donné par les alpinistes à cet ensemble de hauts sommets difficile à gravir, à plus de 4000 m d'altitude. Ils sont faits de gneiss granitique d'origine continentale, mais reposent cette fois sur les couches

sédimentaires océaniques bien visibles au centre de l'image. Il s'agit donc d'un « petit » témoin d'un autre continent supérieur, séparé du continent inférieur européen par les restes d'un océan.

▼ Ce dessin de Mario Sartori montre la continuité des roches continentales, reliant les hauts sommets de la Couronne impériale (appelée aussi « nappe de la Dent Blanche » par les géologues). C'est un radeau continental d'origine africaine flottant sur les restes de la Téthys.

Tout à droite, sous le Weisshorn, on revoit limite plissée entre les gneiss de l'ancienne Europe et les roches océaniques, la même limite que celle qui passe entre Castor et Pollux dans le précédent panorama (pp. 21-22). Les deux continents ne se touchent jamais, toujours séparés par les roches de l'océan Téthys.

**IMG\_0392**











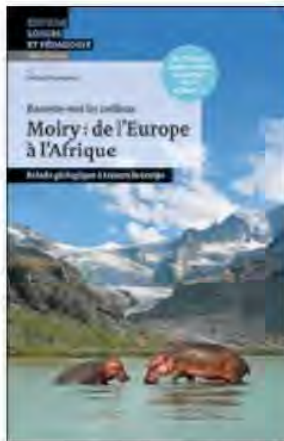
## **Le Cervin est-il africain ?**

Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète

Michel Marthaler

L'histoire géologique de la formation des Alpes est une aventure incroyablement longue, riche et compliquée. Complexe, mais éclairée par une autre épopée fabuleuse : la dynamique, toujours actuelle, de notre bonne vieille Terre. Il fut un temps où elle n'était qu'un seul continent gigantesque, la Pangée, entourée par un immense océan. C'était l'aube de l'apparition des premiers dinosaures, il y a 250 millions d'années et le début de la fabuleuse histoire des Alpes.

19,5 × 25 cm, 112 pages



## **La collection *Raconte-moi les cailloux***

L'histoire de la Terre est inscrite dans ses paysages. C'est ce que souhaite raconter cette collection, destinée à toute personne amatrice de montagne, de nature ou de randonnée. En vulgarisant la géologie, les auteurs traduisent le langage muet des cailloux et donnent des clés d'éveil pour déchiffrer le secret des roches sous nos pieds.

### **Moiry: de l'Europe à l'Afrique**

Balade géologique à travers le temps

Michel Marthaler

13,5 × 21 cm, 96 pages



### **Zermatt: un safari océanique**

Balade géologique Gornergrat à Riffelberg

Michel Marthaler, Micha Schlup

13,5 × 21 cm, 112 pages







# Les Alpes

W

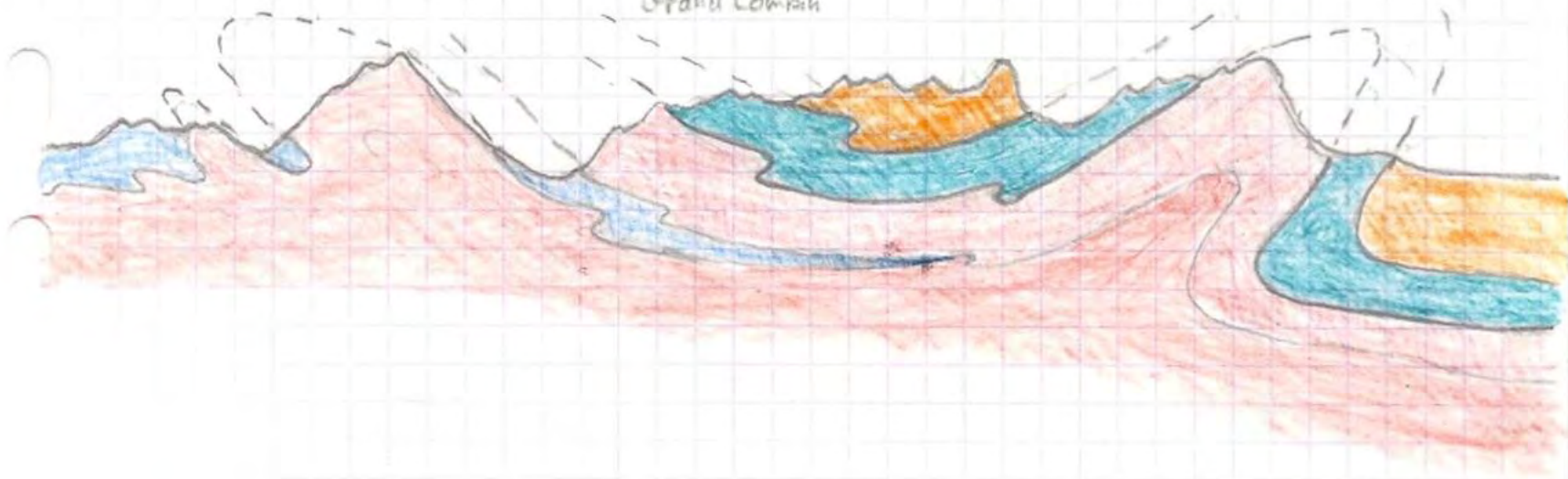
Mont Blanc

Grand Combin

Cervin

Mont Rose

E



Gneiss africain



Roches océaniques, laves en coussin



Gneiss européens



Roches marines, calcaires



Granites européens

M. Marthaler