
PRÉSENTATION D'UN FILM CINÉMATOGRAPHIQUE
EN COULEURS SUR LA FORMATION GÉOLOGIQUE
DES ALPES FRANÇAISES

par **Léon MORET**

On sait que la technique cinématographique, née dans les laboratoires, a été créée par des physiologistes pour décomposer les phénomènes trop rapides de la locomotion. Restant sur son terrain scientifique, malgré une extraordinaire et précoce déviation commerciale, elle n'a pas tardé à élargir le champ de ses investigations, et de nombreuses applications en ont été faites, non seulement aux Sciences naturelles, mais à la Physique, à la Chimie, à la Mécanique et même à l'Astronomie.

C'est un moyen de recherches précieux et son utilité pédagogique est évidente.

Plusieurs méthodes peuvent être employées. Parfois, le film est simplement destiné à enregistrer un phénomène que l'on veut conserver et observer à loisir : c'est la méthode *documentaire*.

D'autres méthodes consistent, grâce à des prises de vues rapides, ou lentes, à rétablir le processus d'un phénomène trop lent ou trop rapide, échappant par là même à notre observation.

Ce sont les méthodes dites d'*analyse* (ex., décomposition d'un mouvement dont les modalités échappent à la vision) et de *synthèse* (ex., déroulement rapide et condensation d'un phénomène lent comme l'éclosion d'une fleur, le développement d'un œuf, etc.).

C'est, bien entendu, la méthode synthétique qui doit intervenir lorsque l'on veut reproduire les grands phénomènes qui ont modifié la face de la terre au cours de l'immense durée des temps géologiques. Mais ici, la prise directe du phénomène étant impossible, c'est à l'artifice des « dessins animés », dessins basés sur l'observation actuelle des faits, que le géologue cinéaste devra se plier.

La première application de la cinématographie à la géologie a été faite par le géologue PAUL LEMOINE et le physico-biologiste FRED VLÈS pour reconstituer les lentes modifications des contours des océans de l'époque primaire, c'est-à-dire pendant une durée que l'on peut évaluer à plusieurs centaines de millions d'années.

Ce film que j'ai eu l'occasion de voir naguère se déroulait en quelques minutes et mettait en évidence, au moyen de cartes paléogéographiques, les phénomènes de régressions et de transgressions marines d'une manière très suggestive, quoique rapide et élémentaire.

Mais il était tentant d'appliquer cette méthode à la genèse des grandes chaînes de montagnes en cherchant à mettre en relation les mouvements des mers avec les phases successives du plissement. C'est ce que j'ai essayé de faire pour les Alpes, grâce à une heureuse initiative des dirigeants de ce « Palais de la Découverte » qui a été, sans conteste, l'innovation la plus réussie de la dernière Exposition internationale de Paris 1.

Comment on a, techniquement, réalisé ce film. — Le but de ce film est donc de montrer au moyen d'une série de coupes géologiques animées et de blocs-diagrammes comment une chaîne de montagnes, aussi compliquée que les Alpes, a pu prendre naissance et évoluer au cours des temps géologiques jusqu'à nos jours. L'exemple choisi a été la région des Alpes françaises située sur la transversale du Pelvoux, dans la haute vallée de la Durance, celle qui est maintenant parmi les mieux connues de la chaîne. Tous les détails des coupes traduisent donc des observations précises et rien n'y est laissé à l'imagination.

En principe, ce film devait être un vrai dessin animé en couleurs du type de ceux auxquels nous ont habitués les grands techniciens américains. Mais, entre les 52 jalons essentiels fournis par l'auteur, il aurait été nécessaire d'intercaler près de 5.000 autres dessins, entreprise trop longue, coûteuse et probablement difficilement réalisable sans une installation parfaitement au point et de nombreux dessinateurs. La difficulté a pu être tournée d'une façon originale en utilisant des maquettes planes de plastiline colorée 2, qui ont été progressivement déformées. A chaque déformation une vue a été prise; 5.185 images ont été ainsi réalisées, constituant un film d'une centaine de mètres environ de longueur. Mais on a dû prendre successivement trois films en couleurs fondamentales (bleu, rouge,

1 Ce film a été réalisé à l'Institut de Cinématographie scientifique que dirige M. JEAN PAINLEVÉ, par M. A.-P. DUFOUR, sous l'égide de la Sous-Section de Géochimie du Palais de la Découverte présidée par M. GEORGES URBAIN de l'Institut et sur l'initiative de M. PIERRE URBAIN, membre de cette Sous-Section. Il a été présenté à l'Académie des Sciences par M. CHARLES JACOB, au cours de la séance du 4 avril 1938.

2 Mélange d'argile fine et de savon; 15 couleurs différentes ont été employées.

jaune); et c'est le montage de ce film de longueur triple qui, par le procédé *Gasparcolor*, a finalement abouti au film définitif ³.

Au cours des prises de vues, une question s'est posée, celle des durées relatives des diverses périodes géologiques. L'auteur a utilisé l'échelle des temps absolus déduite des recherches récentes des géophysiciens sur la radioactivité des diverses roches ⁴.

Sur le film, une sorte de compteur marque donc les temps en millions d'années à partir du Carbonifère (0), jusqu'à l'époque actuelle, soit pendant une durée de plus de 300 millions d'années. Cette façon trop absolue de proportionner la durée des phénomènes se déroulant sur le film aux durées géologiques réelles a présenté un inconvénient qui s'est révélé à la projection, c'est que le début du film qui a trait à la formation des schistes cristallins et de la chaîne hercynienne, et qui en est la partie la moins intéressante, dure trop longtemps si on le compare à l'histoire vraiment alpine de la chaîne et surtout à l'explosion de l'orogénèse tertiaire.

Ce que montre le film. — On peut dire que ce film synthétise plus d'un siècle de recherches géologiques sur le terrain, recherches auxquelles sont associés les noms de CH. LORY, E. HAUG, P. TERMIER, W. KILIAN, pour ne citer que les plus illustres d'entre les disparus.

Pour comprendre ce qu'il exprime, quelques explications préliminaires sont indispensables.

Rappelons donc qu'une chaîne de montagne est une région singulière où l'écorce terrestre, sous l'action de forces d'origine encore mal connues, a été lentement mais violemment comprimée latéralement; ainsi, les couches successives dont cette écorce est formée se sont plissées comme un empilement de pièces d'étoffes, puis déversées en longues vagues qui ont déferlé les unes sur les autres. Nos Alpes françaises sont ainsi formées par une série de vagues solides déversées vers l'Ouest. L'érosion y a mis à nu, sur des épaisseurs considérables, les matériaux ou roches qui les constituent, et, actuellement, ces matériaux s'ordonnent suivant de grandes zones parallèles à la direction générale de la chaîne, chacune de ces zones étant caractérisée par la nature, le faciès et l'arrange-

³ Etant donné la brièveté de ce film, la projection ne devra jamais atteindre la vitesse industrielle des salles publiques, soit 20 images au moins à la seconde; elle ne devra pas dépasser la vitesse de 16 images à la seconde; une bonne moyenne est celle de 10-12 images. La projection du film dure ainsi 5 minutes environ, et pendant ce temps se déroulent des phénomènes géologiques qui ont, en réalité, exigé plus de 700 millions d'années !

⁴ L. MORET, L'évaluation de la durée des temps géologiques d'après les données de la radioactivité (*Bull. Soc. Scientifique du Dauphiné*, t. 53, 1933, p. 471).

ment des roches qui s'y rencontrent. La succession de ces diverses zones y est la suivante, d'Ouest en Est : zone des chaînes subalpines (ex. Bauges, Chartreuse, Vercors, Dévoluy); zone des massifs centraux cristallins (Mont-Blanc, Belledonne, Pelvoux, Mercantour); zone du Briançonnais; zone des schistes lustrés ou du Piémont ⁵.

Si l'on met à part les vieilles roches cristallines telles que les gneiss, micaschistes et granites, qui forment les massifs centraux, presque tous les matériaux qui entrent dans la constitution de notre région sont des roches sédimentaires.

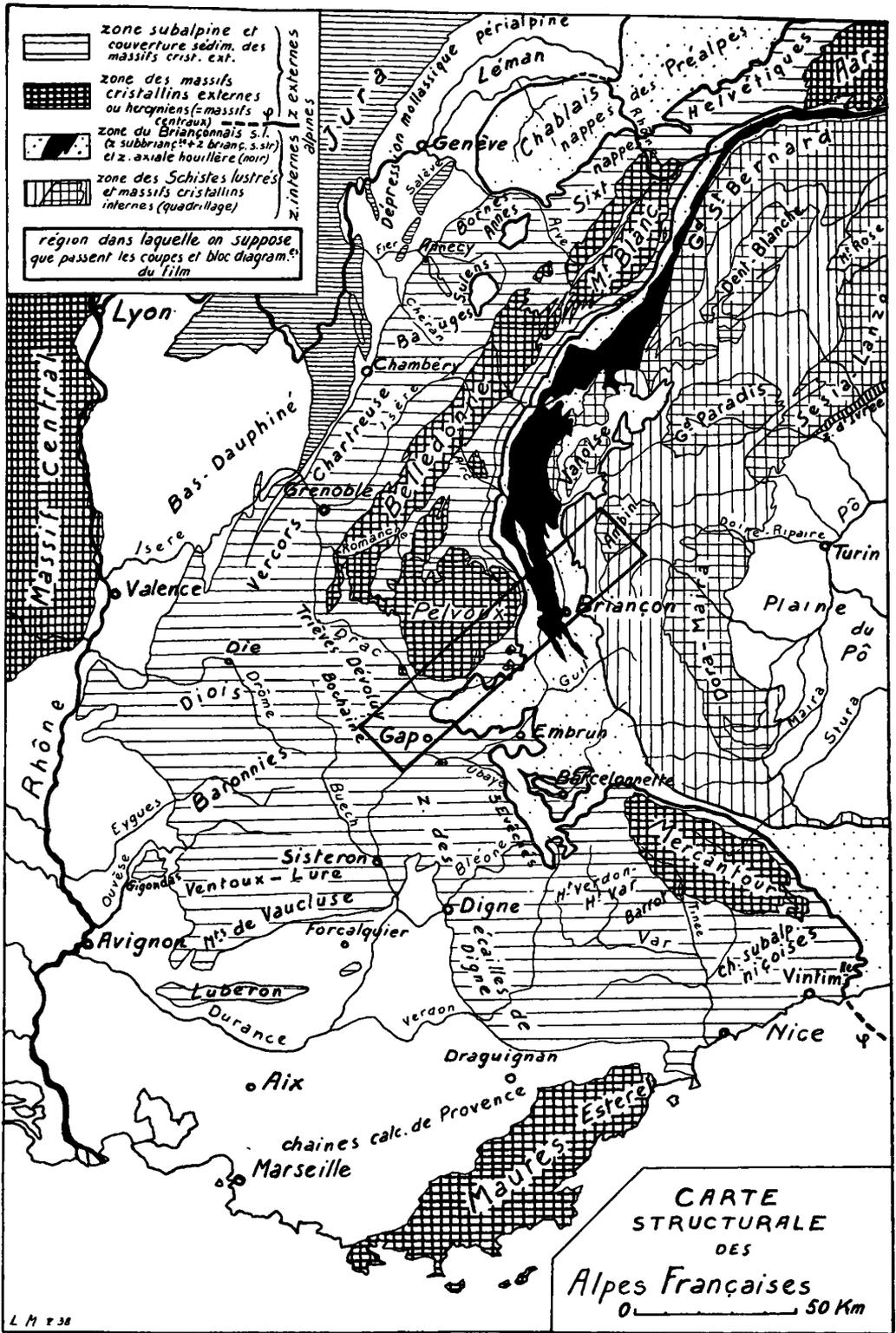
Ce sont d'anciens sédiments, maintenant consolidés, qui, au cours des âges, se sont déposés dans une immense fosse marine, ou géosynclinal, qui occupait l'emplacement des Alpes actuelles.

Au fur et à mesure de cette accumulation, le fond de cette fosse s'abaissait sous le poids des sédiments, si bien que, dans ses parties médianes, ce fond est descendu tellement bas, que la chaleur interne a amené une refusion partielle et une recristallisation des sédiments par métamorphisme : les terrains sont donc, dans cette zone, des schistes contenant des cristaux brillants, d'où leur nom de schistes lustrés, et dans lesquels on voit même des injections de « roches vertes » éruptives venant du noyau central en fusion.

Mais, c'est par suite d'une compression latérale des bords de la fosse, accompagnée de grands mouvements verticaux, que celle-ci s'est progressivement rétrécie, que le contenu en a été plissé et qu'il a finalement surgi pour donner, d'abord de grandes vagues de terrains dont les crêtes émergeaient de temps en temps au-dessus de la mer sous forme de chaînons étroits et allongés, comparés par les géologues à des « cordillères », puis le système compliqué des montagnes alpines avec leurs plis-couchés, leurs écaillés, leurs nappes de charriage.

Les géologues ont pu reconstituer, en dépit de l'érosion qui l'a dégradée, la structure complexe originelle résultant de ces phénomènes tectoniques. Pour l'exprimer graphiquement, ils se servent de *coupes géologiques* tracées perpendiculairement à la direction des plis, donc à l'ensemble des zones alpines.

⁵ Des considérations stratigraphiques et tectoniques ont amené les géologues à opposer, dans les Alpes, les zones dites *externes* (zone subalpine et zone cristalline) aux zones dites *internes* (zone du Briançonnais et zone des schistes lustrés). Cette opposition apparaît maintenant avec moins de netteté aux géologues alpins français qui ont montré que des termes de passage (zone ultra-dauphinoise et zone sub-briançonnaise) existaient entre ces deux grands ensembles. Voir à ce sujet : M. GIGNOUX et L. MORET, Les grandes subdivisions géologiques des Alpes françaises (*Annales de Géographie*, 1934, p. 337, avec fig. et cartes).



Dans le film, la reconstitution de l'histoire des Alpes françaises est faite à l'aide d'une telle coupe supposée tracée dans la région du Pelvoux dès l'aurore des temps géologiques et c'est cette coupe que l'on voit se modifier progressivement et se compliquer sous l'action des trois grands facteurs de toute orogénèse, la sédimentation, le plissement, l'érosion ⁶.

Les transformations qui s'opèrent sous les yeux du spectateur en quelques minutes ont exigé dans la réalité plusieurs millions d'années : 300 environ, depuis le Carbonifère, époque à partir de laquelle l'histoire de notre région commence à sortir de l'ombre.

Cette histoire comporte donc deux phases très distinctes : une phase anté-Houillère, une phase post-Houillère.

La phase anté-Houillère aboutit à la formation et à la mise en place des roches primaires du vieux socle cristallin du Pelvoux, sous l'action d'un métamorphisme et de plissements très anciens dits hercyniens. La structure de ces roches est identique à celle du Massif Central français; comme ce dernier, elles représentent les restes de l'antique chaîne des montagnes hercyniennes qui était déjà arasée avant le Houiller et dont l'histoire, incomplètement connue, est grossièrement reconstituée au début du film. Ainsi, vers la fin du Primaire, la chaîne alpine n'était pas individualisée : la région n'était alors qu'un continent assez plat, avec des lagunes houillères prolongeant celles du Massif Central et s'étendant jusqu'en Italie. A la période lacustre du Houiller fait suite la longue période désertique et volcanique du Permien; puis une reprise des mouvements hercyniens rajeunit la région qui va devenir le Pelvoux et y redresse les sédiments permo-houillers; enfin, une importante phase érosive termine les temps primaires. Dans les zones externes (Pelvoux), quelques coins synclinaux permo-houillers demeurent pincés dans le Cristallin; dans les zones internes (Briançonnais), ces terrains, à peine plissés, subsistent dans leur presque totalité : ils y formeront plus tard la grande zone houillère axiale briançonnaise.

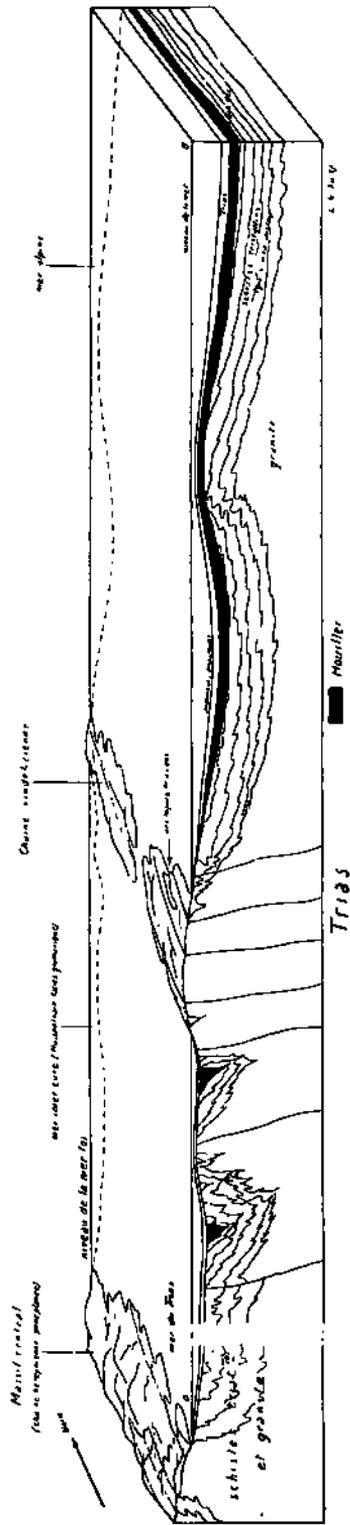
Au début du Secondaire, le pays s'abaisse et, dès le Trias, la mer fait irruption dans la région ⁷. L'histoire proprement alpine de la chaîne, autrement dit l'évolution du géosynclinal alpin, va commencer. Ainsi, pendant tout le Secondaire et le Tertiaire (Trias, Jurassique, Crétacé, Nummulitique), à la place de la future chaîne

⁶ Et l'on pourrait ajouter : le métamorphisme.

⁷ C'est le niveau de la mer qui a servi de surface de référence fixe. A partir du Tertiaire, la mer disparaissant progressivement de la région, au fur et à mesure du soulèvement, une autre ligne, de position arbitraire, a dû être choisie.

Cinq blocs-diagrammes, avec coupes géologiques sur les faces latérales, représentant schématiquement l'aspect des Alpes françaises au Sud du Pelvoux, au cours des temps géologiques.

Réduction, au quart, des dessins au trait ayant servi à établir les maquettes en couleurs reproduites dans le film.



alpine, existait au contraire une fosse marine profonde (notre géosynclinal), dans le fond de laquelle s'accumulaient des vases devenues depuis des schistes et des calcaires. Dans les zones externes qui vont devenir le Pelvoux, ces sédiments sont discordants sur le socle primaire ancien; dans les zones plus internes du Briançonnais, ils apparaissent comme concordants sur ce socle, tout au moins avec le Permien et le Houiller.

Sauf pour la zone des schistes lustrés où, comme nous l'avons vu, les terrains ont été cuits par un métamorphisme récent, nos terrains alpins sont assez reconnaissables et renferment des organismes fossiles qui permettent de les identifier et de les intégrer dans la chronologie géologique générale. Par là, l'histoire des Alpes françaises rejoint celle des autres régions.

Grâce au film, nous pouvons suivre les vicissitudes du bord occidental du géosynclinal alpin, celui aux dépens duquel se sont surtout édifiées nos Alpes ⁸.

Au Jurassique inférieur ou Lias, les plissements y font surgir l'immense pli de la « cordillère briançonnaise », véritable géanticlinal qui va être un des traits les plus caractéristiques de toute l'histoire géologique ultérieure de la région.

Cette cordillère sépare en effet la « grande fosse marine alpine », celle où vont se former les schistes lustrés, d'une « avant-fosse », dans laquelle vont se déposer des terrains de faciès plus profonds que ceux des zones subalpines et dauphinoises et, qui, à cause de cela, sont appelés ultradauphinois et sub-briançonnais. Sur les bords de la cordillère, au contraire, vont prendre naissance des sédiments briançonnais côtiers (poudingues, brèches), ou même des récifs de Polypiers, tandis que sur l'axe même de la cordillère, non recouvert par la mer du Lias, commencent à se former des sédiments continentaux de décalcification (Sidérolithiques).

Ce régime va se prolonger, avec des vicissitudes diverses, pendant le Jurassique moyen et supérieur (immersion de la cordillère) et même pendant le Crétacé inférieur (émersion de la cordillère), se compliquant localement par la surrection d'une autre petite cordillère plus externe, la cordillère sub-briançonnaise que le film met en évidence.

⁸ Les parties axiales de la grande fosse alpine, celles où vont prendre naissance, dès la fin du Primaire et pendant le Secondaire, les gneiss permo-houillers et les schistes lustrés, ont été systématiquement laissées de côté. Ce domaine est, en effet, encore trop mal connu et, d'autre part, une question d'échelle et de visibilité empêchait d'augmenter la longueur des objets à projeter. Toutefois, les complexes des schistes lustrés feront leur apparition à la fin du film, au moment des mouvements tertiaires, sous forme de grands plis couchés qui viendront recouvrir, plisser et laminer le Briançonnais.

Vers la fin du Crétacé inférieur et avant le Crétacé supérieur (Sénonien) des mouvements locaux, appelés anté-sénoniens par les géologues et très nets en Dévoluy, font émerger une partie de l'avant-pays. Mais ce dernier, ainsi que la cordillère briançonnaise, est bientôt recouvert par les sédiments de la grande transgression marine du Crétacé supérieur ou Sénonien.

Puis, vers la fin du Crétacé, tout l'avant-pays est annexé au continent (plissements dits anté-éocènes), ce qui rétrécit d'autant le domaine de l'avant-fosse alpine. La sédimentation abondante, nourrie par ces nouvelles terres, s'y accumule pendant tout l'Eocène, tandis que progresse vers l'W. une nouvelle transgression marine (transgression nummulitique) qui, localement, déposera ses couches directement sur le Cristallin du Pelvoux mis à nu par l'érosion.

Au large, dans les fosses, s'accumulent d'épais sédiments schisto-gréseux et conglomératiques appelés « Flysch » qui ne tarderont pas à combler le géosynclinal alpin. On peut dire que, dès l'aurore de l'Oligocène, ce remplissage est un fait accompli.

A ce moment, le grand coup d'épaule des mouvements alpins se déclenche et va durer presque jusqu'à la fin du Tertiaire avec quelques phases paroxysmales. Les Alpes se dressent définitivement et la mer est rejetée vers l'extérieur de la jeune chaîne, dans une sorte de sillon oligocène puis miocène périalpin.

Les énormes plis de schistes lustrés, issus des zones alpines centrales, glissent sur le Briançonnais qui se retrouse à leur contact (éventail briançonnais), puis se déverse à son tour vers l'W. en plis couchés, nappes de charriages et écailles (écailles subbriançonnaises), tandis que sur le bord externe de l'immense bourrelet ainsi formé la plus grande partie du Flysch de l'enveloppe qui l'empâtait se met à couler sur l'avant-pays sous l'action de son propre poids, en entraînant des copeaux de roches du substratum (ce sont les nappes classiques de l'Embrunais-Ubaye).

Une période de rémission des efforts orogéniques est bientôt suivie de l'effondrement de la moitié orientale de la chaîne qui prend ainsi une allure dissymétrique (effondrements dits *insubriens*).

A partir du Pliocène, et sous les coups répétés de l'érosion, la chaîne alpine s'achemine peu à peu vers son aspect actuel.

En effet, les facteurs de construction (sédimentation, plissements) étant désormais à peu près stabilisés, c'est l'érosion, grand facteur de destruction, qui prend le dessus et qui, burinant à l'aide de ses glaces et de ses eaux sauvages et torrentielles notre énorme bourrelet, nous en décèle progressivement la structure tout en lui communiquant sa morphologie actuelle si caractéristique.

Pourtant, sous cette jeunesse trompeuse, les Alpes se révèlent, à qui veut y regarder de près, comme de véritables ruines.

L'érosion sournoise et incessante a le temps pour elle; elle ne

tardera pas à accomplir son œuvre qui est le nivellement total. Nous connaissons d'antiques chaînes (l'Hercynienne par exemple) qui furent en leur temps aussi fières que les Alpes et qui, maintenant, se cachent sous des plaines. Nos Alpes n'auront pas un sort différent tant il est vrai, comme le disait déjà RAMOND des cimes pyrénéennes, que « périr est leur unique affaire ». Il serait donc bien facile, à l'aide du film, d'anticiper sur l'avenir !

Au terme de cette histoire géologique des Alpes françaises dont les géologues n'avaient envisagé jusqu'ici, en coupes isolées, que les phases essentielles, mais dont le film rétablit la continuité (tentative jamais réalisée jusqu'à présent), une question se pose : Quel moteur a pu déterminer d'aussi gigantesques phénomènes ?

Pendant longtemps, on a pensé que le refroidissement progressif du globe suffisait à expliquer les plissements et les adaptations diverses de l'écorce terrestre sur un noyau central en voie de contraction. Mais, cette théorie simpliste n'est plus en accord avec les faits.

Actuellement, une théorie en faveur fait intervenir les déplacements relatifs des socles continentaux que l'on compare à de gigantesques flotteurs embourbés dans les masses profondes magmatiques plus ou moins visqueuses. Le géosynclinal alpin aurait été comprimé progressivement entre le bloc Europe-Asie, à peu près stable, et le bloc africain en dérive vers le Nord-Ouest, et son contenu se serait déversé en se plissant pour donner la chaîne alpine (théorie de WEGENER).

Certains estiment enfin que les courants et mouvements divers, qui doivent se produire dans les masses visqueuses profondes, seraient à eux seuls suffisants pour déterminer, par leur ascension et leurs remous, les tuméfactions superficielles de l'écorce terrestre que sont les montagnes (AMPFERER).

Quoi qu'il en soit, il apparaît que les roches de notre terre, apparemment rigides et stables, sont, dans certains cas, susceptibles de couler comme du goudron. C'est que l'échelle des grands phénomènes géologiques évoqués par le film dépasse infiniment celle de l'histoire humaine, d'abord par l'immensité des forces mises en jeu, capables de tordre les roches les plus dures et de transporter des masses montagneuses entières, mais aussi par l'immensité des temps géologiques pour lesquels il ne faut pas oublier que l'unité devient le million d'années !

Ainsi, tout comme l'Astronomie, la Physique et la Chimie, sciences qui nous ont dévoilé l'effarante complication de l'infiniment grand et de l'infiniment petit, la Géologie, elle aussi, élargit notre conception de l'Univers en nous apprenant à nous évader hors des limites restreintes de la chronologie humaine et hors du cadre énergétique mesquin que nos faibles forces sont incapables de dépasser.