

LES FACIES GÉOLOGIQUES

PAR

M. E. BENEVIER, prof.

Lu à la Société helvétique des Sciences naturelles dans son Assemblée générale
du 18 septembre 1884,

Le terme de *facies*¹, qui signifie proprement la *face*, la *figure*, et par extension l'*aspect*, la *physionomie particulière* d'un corps, a pris en géologie un sens spécial qui acquiert depuis quelques années une importance de plus en plus grande, par suite des études toujours plus minutieuses, pour ainsi dire, de la dissection des divers terrains sédimentaires, tant au point de vue stratigraphique, qu'à celui de la paléontologie.

Ce terme de facies désigne les différences, quelles qu'elles soient, qui peuvent exister entre des terrains de même âge ; aussi bien les différences de composition pétrographique, résultant de la nature des substances déposées, que les différences paléontologiques, résultant des conditions d'existence des animaux et des plantes fossiles.

¹ Le dictionnaire écrit sans accent, mais il me semble qu'en francisant ce mot on devrait l'écrire *faciès*; pour en faire ressortir la prononciation, qui serait naturellement tout autre sans cet accent.

Les *facies* sont donc en définitive les différentes sortes de *formations*, sédimentaires ou autres, qui peuvent s'être produites simultanément, à un moment quelconque des temps géologiques, comme cela se passe encore au temps actuel. On dit donc les divers *facies* d'un terrain, comme on dirait les diverses *formations* des temps modernes.

Si l'on n'avait pas étrangement abusé du terme de formation, en disant la *formation jurassique* (Jura-formation), la *formation crétacée* (Kreide-formation), etc., pour désigner des groupes stratigraphiques d'un certain âge, c'est-à-dire des périodes de l'histoire du globe, le terme de *facies* eût été inutile, et la science géologique aurait pu s'en passer absolument, car les différences de *facies* ne sont que des différences de *formation*.

Le Congrès géologique de Bologne, il est vrai, a condamné cet abus du mot *formation*, et désiré le ramener autant que possible à son sens primitif, celui de *mode de formation*. Mais son emploi fautif est si général dans le langage scientifique populaire, surtout en allemand et en anglais, qu'il faudra sans doute plus d'une génération pour détruire cette erreur. C'est ainsi que le terme de *facies* reste pour longtemps encore indispensable, dans la langue géologique. Il est même d'un certain avantage d'avoir deux termes différents, consacrés aux diversités du mode de formation : celui de *formation* qui s'applique tout naturellement aux différences essentielles (formations sédimentaires, marines, terrestres, d'eau douce, volcaniques, etc.), et celui de *facies* pour désigner les différences de détail (facies crayeux, vaseux, sableux; lacustre, fluviale, d'embouchure, etc.). C'est dans ce dernier sens en effet que le mot de *facies* est le plus habituellement employé.

L'étude des différents modes de formation des terrains, jointe à celle de la distribution géographique des êtres aux diverses époques géologiques, étude qui a pris dans ces dernières années une telle extension, est née dans notre patrie suisse, aussi bien que l'étude des glaciers et du terrain erratique !

C'est *Gressly*, le sauvage Gressly comme dit la chanson, cet homme de génie sous une rude et grossière écorce, qui le premier, dans son *Jura soleurois*, a mis en relief cette notion de la diversité des formations de même âge, et créé pour cela le terme de *facies*. Les courtes citations suivantes montreront la netteté de ses conceptions à cet égard :

p. 10. « Dans les régions que j'ai étudiées, peut-être plus que partout ailleurs, des modifications très variées, soit pétrographiques, soit paléontologiques, interrompent, à chaque pas, l'uniformité universelle que l'on a prêtée jusqu'ici aux différents terrains, dans les différents pays. Elles reparaissent même successivement dans plusieurs terrains, et frappent d'étonnement le géologue qui veut étudier la nature de nos chaînes jurassiques. »

Et plus bas, p. 10 et 11. « J'ai poursuivi chaque terrain dans son étendue horizontale, aussi loin que possible, afin d'en étudier toutes les modifications. Je suis parvenu de cette manière à reconnaître, dans la dimension horizontale de chaque terrain, des modifications diverses, bien déterminées, qui offrent des particularités constantes, dans leur constitution pétrographique, aussi bien que dans les caractères paléontologiques de l'ensemble de leurs fossiles, et qui sont assujetties à des lois propres et peu variables. »

Encore p. 11. « Il est deux faits principaux, qui ca-

ractérisent partout les ensembles de modifications que j'appelle *facies*, ou *aspects de terrains*. L'un consiste en ce que tel ou tel *aspect pétrographique* d'un terrain quelconque suppose nécessairement, partout où il se rencontre, *le même ensemble paléontologique* ; l'autre en ce que tel ou tel ensemble paléontologique exclut rigoureusement des genres et des espèces de fossiles fréquents dans d'autres *facies*. »

La notion, qu'inaugurait si génialement notre Gressly en 1838, a mis bien longtemps à percer, mais enfin elle a fait son chemin, et n'est plus guère repoussée maintenant que par un petit nombre de géologues trop attachés à la routine ancienne. Néanmoins, elle est loin d'avoir produit tous ses fruits, et surtout d'avoir été systématisée de manière à présenter à l'esprit autre chose que des idées encore un peu vagues. Voici ce que disait à ce sujet en 1882 M. Th. Fuchs dans un mémoire très important, qui avait pour but spécial de déterminer ce que l'on doit considérer comme *formations de mer profonde*. (Tiefseebildungen. Neues Jahrb. für Min. etc. II. Beilageband 1882).

Je traduis librement :

« On doit avouer, malgré tout, qu'il n'y a guère de chapitre de la géologie stratigraphique qui soit aussi négligé, que précisément cette science des *facies*. Car, sans parler des petites différences secondaires, on n'a pas encore pu se mettre d'accord sur ce que l'on doit considérer comme des formations littorales et des formations de mer profonde ; et l'on peut voir chaque jour qu'un géologue considère comme littoral un dépôt que d'autres estiment être un type bien caractérisé de formation profonde. »

Qu'il doive y avoir longtemps encore des divergences

de cette espèce, c'est ce dont je ne puis pas douter, car la *chorologie* actuelle, c'est-à-dire la répartition géographique des organismes, présente encore beaucoup de mystères ; et d'autre part le mode de formation de certaines roches restera longtemps encore un sujet de contestation. Néanmoins ce n'est pas une raison pour renoncer à travailler dans ce sens. M. Th. Fuchs a été bien inspiré, en profitant des immenses progrès que les dragages à grande profondeur ont fait faire depuis quelques années à la zoologie marine, pour en faire l'application à la géologie, et chercher à déterminer quels facies doivent être attribués à des dépôts de mer profonde. Son ouvrage demeurera classique en la matière.

Avant d'avoir eu connaissance du travail de M. Fuchs, je m'étais préoccupé de la question, à un point de vue un peu plus général, et diverses circonstances m'ont poussé, en dernier lieu, dans cette voie. Si j'essaie de mon côté de traiter des facies, sur un plan un peu différent du sien, mon but est absolument le même : Je ne prétends point résoudre dès maintenant toutes les questions qui se présentent, mais chercher à systématiser le sujet, et former pour ainsi dire un cadre théorique, dans lequel on puisse petit à petit faire rentrer tous les facies des divers terrains.

Conditions déterminantes des facies.

Voyons en premier lieu quelles sont les conditions diverses, soit physiques, soit organiques, qui peuvent être la cause des différences de facies.

1° *Conditions de milieu.* — Milieu aérien ou aqueux,

marin ou d'eau douce, d'eau calme ou d'eau courante, etc., dans lequel les dépôts se sont formés. Tout le monde sait que ces différents milieux sont l'*habitat* de différents groupes d'êtres, et peuvent influencer aussi plus ou moins sur la nature physique du dépôt.

2^o *Conditions géographiques.* — La proximité plus ou moins grande des côtes exerce aussi une grande influence sur l'*habitat* des êtres aquatiques, marins ou lacustres. La distinction, de plus en plus accentuée, entre *faunes littorales* et *faunes pélagiques* découle essentiellement de ce facteur. M. F.-A. Forel et d'autres en ont fait l'application à nos lacs suisses. — La forme des côtes, unies ou découpées, plates ou en saillie, abritées ou exposées aux vents et aux vagues, produit aussi de grandes diversités dans les faunes littorales.

Mais c'est surtout la nature et l'abondance relative des dépôts qui résultent directement de ces circonstances côtières. Les sédiments mécaniques passent pour ainsi dire au crible en s'éloignant de la côte. Les plus grossiers se déposent sur la grève ; les sables de plus en plus fins sont entraînés au delà ; les particules plus ténues, restant longtemps en suspension dans l'eau, se déposent habituellement le plus loin des côtes. L'agitation plus ou moins grande des eaux fait varier la largeur de ces zones de sédimentation, mais sauf quelques cas exceptionnels, déterminés par les courants, l'ordre des dépôts est toujours le même. On estime en général à 300 kilomètres en mer la largeur moyenne de cette zone littorale de sédimentation clastique. Au delà sur l'immense étendue du fond des océans il n'existe presque plus de sédiments entraînés mécaniquement par les eaux. Il est d'ailleurs évident

que cette largeur s'accroît beaucoup devant l'embouchure des grands fleuves charriant une masse de matériaux, et que les courants marins peuvent être aussi la cause d'inégalités accidentelles. Les opérations de dragage en ont fourni de nombreux exemples.

3° *Conditions pétrogéniques.* — Mais il est encore une autre condition essentielle de l'abondance et de la nature des sédiments; c'est la composition minérale des terrains, qui constituent soit les côtes, soit les bassins d'alimentation des fleuves. Il est évident que les roches dures et compactes, résistant mieux aux actions érosives, fournissent moins de matériaux à la sédimentation que les terrains meubles ou argileux.

D'autre part la composition chimique des dépôts varie avec la composition minéralogique des roches désagrégées, et devient ainsi plus ou moins *calcaire, argileuse, siliceuse, ferrugineuse*, etc. — Or, les animaux côtiers ne sont point indifférents à ces variations chimiques de sédimentation. Les uns vivent plus volontiers sur la *vase calcaire*, d'autres sur la *vase argileuse*, d'autres préfèrent au contraire les fonds sableux ou siliceux; tout comme nos plantes terrestres affectionnent habituellement des sols de telle ou telle composition.

4° *Conditions chorologiques.* — Il s'agit encore ici de géographie, mais de géographie zoologique ou botanique. Hæckel a créé le terme de *chorologie* (de $\chi\acute{o}\rho\alpha$, contrée) pour désigner la science qui s'occupe de la distribution des êtres à la surface du globe. On admet généralement que cette distribution résulte des *migrations*, plus ou moins lointaines, des animaux et des plantes, soit spontanées et instinctives pour les animaux libres, soit accidentelles

pour les germes et les graines. Dans le premier cas, ces migrations peuvent être déterminées par des modifications climatologiques ou autres. Dans le second cas, qui doit avoir la plus grande part à la distribution des êtres, le transport des germes divers (graines, spores, œufs, larves, etc.) peut être dû aux courants, aux vents, ou enfin à l'action inconsciente d'autres animaux. Il est clair qu'une multitude de ces germes périssent, mais ceux qui rencontrent des conditions physiques favorables à leur développement propagent ainsi les espèces tout autour de leur *centre d'origine*. C'est ce qu'on nomme parfois le *rayonnement des espèces*.

Certaines causes physiques ou géographiques peuvent mettre obstacle à ce rayonnement, dans telle ou telle direction; c'est ce que Buffon avait appelé les *barrières naturelles* des êtres, par exemple : une chaîne de montagnes pour les plantes terrestres; un continent pour les animaux pélagiques, l'océan pour les animaux côtiers, etc. — De tout cela résulte naturellement une très grande diversité dans la propagation horizontale des êtres par migration. M. le D^r C. Keller nous en a donné de très curieux exemples dans sa belle étude des faunes du canal de Suez. Les espèces, ayant différents centres d'origine, se rencontrent et se mélangent par leurs migrations successives, et donnent ainsi lieu à l'infinie diversité des faunes et des flores locales ou régionales, et à ce qu'on a appelé les *provinces zoologiques* ou *phytologiques*.

Or, cette cause de diversité des faunes et des flores existait, à des degrés divers à toutes les époques géologiques, et devient dès lors une des conditions organiques essentielles des facies géologiques. C'est ainsi que, depuis le milieu de la Période jurassique jusque vers le milieu

de la Période crétacée, nous pouvons distinguer un *facies alpin ou méditerranéen*, et un *facies jurassien ou septentrional*, sans qu'on puisse attribuer leur différence faunale aux conditions physiques des dépôts. La distribution géographique de ces facies prouve d'ailleurs qu'ils appartiennent à des *provinces zoologiques* différentes. M. Mojsisovics a fait connaître des cas semblables de différences *chorologiques* dans les terrains triasiques des Alpes orientales. C'est là un champ d'étude rarement exploré, mais qui s'impose de plus en plus à la paléontologie.

5° *Conditions climatologiques*. — Je m'arrêterai moins sur ce sujet qui est bien plus généralement connu. Il n'y a pas longtemps encore qu'on attribuait uniquement aux différences de climat la diversité des faunes et des flores. L'influence des latitudes, modifiée par celle des altitudes, de l'exposition, et par beaucoup d'autres circonstances secondaires, détermine les *lignes isothermes* du globe, et divise sa surface en zones climatologiques. Quoique cet élément ne soit certainement pas la seule condition des différences biologiques dans les milieux de même nature, il n'en est pas moins un facteur important de la diversité des faunes et des flores. C'est ainsi que dans les faunes de mollusques, comme dans celles de mammifères, on distingue les espèces arctiques, les espèces équatoriales, etc.

Les conditions climatologiques exercent aussi une influence indirecte sur la nature des formations. Ainsi les *dépôts tourbeux* sont caractéristiques des climats froids ou tempérés ; tandis que les *formations coralligènes* exigent une température d'au moins $+ 20^{\circ}$ C., laquelle ne se rencontre actuellement que dans les mers intertropicales.

6° *Conditions hypsométriques.* — On sait l'importance majeure des *zones d'altitudes* sur la végétation terrestre. Ce genre de conditions devrait donc entrer en ligne de compte pour les formations subaériennes contenant des plantes fossiles, telles que les tourbes et les tufs; mais vu la rareté de ces dépôts, les conditions hypsométriques ont beaucoup moins d'application que les autres.

7° *Conditions bathymétriques.* — Les zones marines de profondeur forment au contraire l'un des facteurs les plus importants des facies géologiques. Ce n'est que par l'étude de ces zones bathymétriques, étude relativement récente, que nous avons pu acquérir des notions un peu rationnelles sur les formations marines. Les diverses expéditions de dragage en mer profonde, qui se sont multipliées depuis quelques années, ont prouvé que la vie organique existe à toutes les profondeurs, mais qu'elle est en somme d'autant plus intense et surtout plus variée que la profondeur est moindre. On avait reconnu plus anciennement déjà que la plupart des êtres marins ne pouvaient vivre que dans certaines limites de profondeur. Il y a encore énormément à faire dans cette direction d'études, mais néanmoins les données acquises par la zoologie marine sont déjà précieuses pour la stratigraphie.

D'où viennent ces différences de vie organique suivant la profondeur? — On peut invoquer ici des causes multiples, qui agissent sans doute concurremment sur les animaux et les plantes.

a) Les différences de sédimentation.

b) La température des eaux, qui s'abaisse graduellement à mesure que la profondeur augmente.

c) La pression, d'autant plus considérable que la masse d'eau superposée est plus forte.

d) La lumière qui s'atténue en proportion de l'épaisseur de la nappe, de sorte que dans les grands fonds l'obscurité doit être complète.

e) L'agitation des eaux, qui est dans le même cas, et qui devient nulle à une certaine distance de la surface, suivant l'étendue de la nappe et diverses autres causes extérieures.

f) L'oxygène dissout dans l'eau, qui doit nécessairement diminuer à mesure qu'augmente la pression et l'immobilité de l'eau.

Voilà les causes principales de cette distribution bathymétrique des espèces. On en découvrira sans doute d'autres encore ; mais celles-ci suffisent amplement pour expliquer la différenciation verticale des faunes et flores marines.

Les zoologistes paraissent maintenant assez d'accord pour distinguer cinq zones bathymétriques principales, qui sont mentionnées dans la plupart des traités modernes. Ces zones sont très inégales en dimension verticale, et sont d'autant plus épaisses qu'elles sont plus profondes. La cinquième en particulier est immensément plus considérable dans le sens vertical et horizontal que toutes les autres réunies ; et comme cette zone est en même temps la moins connue, il est probable qu'elle devra plus tard être subdivisée.

Voici ces zones bathymétriques d'après le Manuel de conchyliologie de Fischer et le Traité de paléontologie de Zittel :

I. *Zone littorale*, dite aussi *intercoticale*. Elle est com-

prise dans l'intervalle du balancement des marées, et s'étend ainsi du rivage jusqu'à 12 mètres environ de profondeur. Mais il est à remarquer que les marées n'ont pas partout la même intensité, et sont même plus ou moins nulles dans les mers intérieures. De plus cette zone est organiquement intimement liée à la suivante, de sorte que plusieurs auteurs ne les séparent pas et font descendre beaucoup plus bas ce qu'ils nomment zone littorale. — Fischer cite comme habituels à cette zone restreinte une trentaine de genres de mollusques parmi lesquelles *Littorina* et *Mytilus* sont les plus caractéristiques.

II. *Zone des laminaires*, caractérisée par l'abondance des algues marines. Le genre *Laminaria* croit spécialement sur les côtes rocheuses; tandis que les varechs du genre *Zostera* le remplacent sur les côtes sablonneuses ou argileuses. Sur beaucoup de côtes, comme par exemple sur celles de la Méditerranée les algues sont absolument littorales, ce qui confirmerait la fusion des zones I et II en une seule. Sa limite inférieure est indiquée à 28 mètres de profondeur ou même plus bas encore suivant les auteurs. Une trentaine de genres de mollusques sont habituels à cette zone. Les bancs d'huîtres en font partie, ainsi que les récifs madréporiques.

III. *Zone des nullipores et corallines*, caractérisée surtout par ces algues calcaires. Les *nullipores* ou *lithothamnies* forment des incrustations calcaires qui se propagent à la manière des lichens, à l'extérieur des récifs, du côté des brisants, et dans les circonstances analogues d'autres régions. Les *corallines* végètent sur le fond de la mer, et secrètent aussi du carbonate de calcium, mais en moindre proportion. M. Fischer cite dans cette zone une cinquan-

taine de genres de mollusques, gastéropodes et pélécy-podes, avec trois seulement de brachiopodes. C'est là que vivent les gros gastéropodes carnassiers. L'amplitude est déjà un peu plus forte que pour les zones précédentes, soit d'une cinquantaine de mètres au moins. Sa limite inférieure est pour les uns à 72 mètres de profondeur, pour d'autres à 90 mètres, et même au delà.

IV. *Zone des brachiopodes et des coraux profonds*, c'est-à-dire des polypes non constructeurs de récifs : genres *Occulina*, *Dendrophyllia*, avec les alcyonaires, bryozoaires, etc. C'est là que les brachiopodes sont surtout abondants ; M. Fischer en cite 7 genres. Mais il y a aussi des gastéropodes (19 genres) et des pélécy-podes (22 genres). Les auteurs ont beaucoup varié d'opinion quant à la limite inférieure de cette zone ; les uns la placent à 200 mètres, d'autres à 300 mètres ; Zittel la prolonge jusqu'à 500 mètres de profondeur.

V. *Zone abyssale*. Cette dernière zone enfin, incomparablement plus étendue que toutes les autres réunies, comprend tout ce qui dépasse les limites ci-dessus. Jusqu'à 2000 mètres de profondeur on trouve encore passablement de mollusques. Au delà ils deviennent très rares ; les coquilles sont petites, minces, translucides et incolores, les animaux sont en général aveugles. Parmi les mollusques ce sont les scaphopodes (Dentales) qui vivent le plus habituellement dans la mer profonde. Mais on y trouve aussi passablement de *coquilles vides* de mollusques pélagiques, spécialement de ptéropodes.

Les êtres les plus habituels aux grands fonds, presque les seuls qui puissent vivre au delà de 3000 mètres, sont des foraminifères (*G. Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*, etc.), des radiolaires (*Polycistines* et *Acanthomètres*), et des

algues calcaires, que l'on rencontre aux plus grandes profondeurs jusqu'à 8000 mètres. Mais dans ces grands fonds les tests calcaires sont souvent dissous, et les dépôts, très peu abondants, se résument en ce que l'on a nommé l'*argile rouge* des hauts fonds.

Les facies géologiques sont évidemment des résultantes de toutes ces conditions physiques et organiques, des sept principales que je viens d'énumérer, et probablement d'autres encore, qui nous seront révélées par la suite.

Mais il n'est pas toujours facile de conclure de la nature d'un terrain aux conditions dans lesquelles il s'est formé. La difficulté résulte souvent de lacunes dans nos connaissances paléontologiques ou autres, et peut, dans l'état actuel de la science, être parfois insoluble. Toutefois, dans la plupart des cas, on arrivera à la résoudre par une analyse judicieuse des divers éléments de la question.

Je donnerai pour exemple le facies du Flysch, que j'envisage tout autrement que M. Fuchs, et au sujet duquel j'ai à signaler des observations qui me paraissent tout à fait probantes.

Facies du Flysch.

Ce nom de *Flysch*, emprunté en 1827, par notre doyen M. B. Studer, aux montagnards des Alpes bernoises, et appliqué par lui dès 1840 à tous les schistes argilo-calcaires des Alpes, d'âge indéterminé, a été limité par Escher de la Linth, et après lui par la plupart des géologues

suisses, aux terrains schisteux et arénacés de l'éocène alpin (*Acta. Soc. helv. Sc. Nat.*, 1848, p. 34).

Le flysch suisse repose en général sur le nummulitique, mais parfois aussi il renferme des lentilles, plus ou moins stratiformes, de calcaire à Nummulites. Ce serait donc un facies de l'éocène alpin. Les fossiles du flysch proprement dit sont très peu nombreux et peu caractéristiques. Quelques rares dents ou écailles de poissons dans les grès ; dans les schistes, surtout, des empreintes, dites ordinairement *Fucoïdes* et *Helminthoïdes*, que l'on a généralement attribuées à des algues marines. Mais ces *Fucoïdes* se retrouvent presque identiques dans les terrains schisteux d'âge divers. On en cite fréquemment du lias. J'en connais dans le dogger, dans le malm, et dans les schistes néocomiens. On leur donne des noms spécifiques différents suivant l'âge, mais c'est presque une pétition de principes, car souvent il serait impossible de les distinguer, autrement que par l'âge de leur gisement.

L'an passé les commissions géologiques internationales, réunies à Zurich, ont reconnu que le nom de flysch ne devait pas figurer sur la carte géologique d'Europe, attendu qu'il y a des flysch d'âge divers, et que ce nom représente un facies bien plutôt qu'une subdivision stratigraphique. Les géologues autrichiens ont déclaré avoir dans leur pays du flysch crétacé, du flysch jurassique, du flysch liasique, aussi bien que du flysch éocène et du flysch oligocène. Suivant M. Capellini on constate de plus en plus des fossiles crétacés dans le flysch des Apennins. Le *grès de Celles* dans les Pyrénées, avec ses empreintes végétales, n'est rien autre qu'un flysch turo-nien, etc., etc.

Le Flysch est donc avant tout un facies. En Suisse

c'est essentiellement un facies de l'éocène ! — Mais quel est ce facies ? — Est-ce un *facies littoral*, ou un *facies de mer profonde* ? — M. Th. Fuchs, dans l'important travail déjà mentionné, se prononce pour la seconde alternative. Voici ce qu'il en dit à la page 509 de son mémoire. Je traduis librement, et en abrégéant un peu :

« On connaissait depuis longtemps dans diverses couches des formes ramifiées, ayant l'apparence d'algues marines, mais se distinguant par cette circonstance qu'elles ne se trouvent pas, comme les autres empreintes de plantes, sur les délits des couches, et sont au contraire disposées transversalement, comme si elles avaient cru au travers des couches. En outre ces formes analogues aux algues se trouvent en général dans des terrains qui, par leurs autres caractères, doivent être considérés comme des formations de *mer profonde*, tandis que les algues réelles ont un tout autre habitat. Les *fucoïdes du flysch*, comme aussi *Chondrites ehingensis* du jurassique supérieur et *Chondrites bollensis* du lias, en sont les exemples les mieux connus. »

« *Nathorst* a récemment prouvé d'une manière irréfutable que ces soi-disant *fucoïdes* ne sont nullement des algues, ni même des plantes, mais que ce sont des *pistes de vers*, ramifiées à l'instar des plantes, comme certains annélides en produisent encore actuellement. La conservation de semblables tubes de vers, ramifiés en forme d'algues, exige une eau parfaitement tranquille, telle qu'on ne la trouve que dans les grandes profondeurs, de sorte que la présence de ces *pseudo-fucoïdes* serait un indice de formation de mer profonde. »

« En compagnie de ces traces ramifiées, ou aussi sans elles, on trouve parfois les délits des couches couverts de

figures contournées en méandres labyrinthiformes qui, suivant les recherches de Nathorst ne sont rien autre également que des pistes de vers ou autres animaux marins (*Helminthoides* du flysch, *Nereites* du paléozoïque). Ces traces de même ne peuvent s'être conservées qu'à de grandes profondeurs et indiquent donc aussi des formations de mer profonde. »

Le point de vue de M. Nathorst, publié en 1882 dans les *Mémoires de l'Académie de Stockholm*, est en effet que la plupart des empreintes décrites comme des algues et comprises par Schimper, dans le *Traité de paléontologie de Zittel*, parmi les *Algæ incertæ sedis*, ne sont point des empreintes végétales, mais doivent être attribuées à des pistes de vers ou d'autres animaux. Cette idée a été vigoureusement combattue par MM. de Saporta et Gaudry (voir *Bull. Soc. géol. de France*, 3^{me} série, vol. IX, p. 156, 159 et 452). Il résulte de cette intéressante discussion qu'il y a des algues fossiles authentiques dans les terrains tertiaires et crétacés, et même, de l'aveu de M. Nathorst, jusque dans les terrains paléozoïques. Ce qui est contesté ce sont surtout les empreintes énigmatiques des terrains anciens, nommées *Eophyton*, *Bilobites*, etc., ainsi que les types tertiaires et jurassiques, dits : *Taonurus*, *Zoophycos*, *Cancellophycus*.

Quant aux fucoides ordinaires du flysch, je ne sais ce qu'en pense M. Nathorst. Il se pourrait bien que M. Th. Fuchs, en les englobant avec les précédents, ait exagéré le point de vue de l'auteur suédois. En tout cas je ne puis admettre que ce soient des simples traces de reptation, pas plus que nos *Cancellophycus* du dogger. Je suis en mesure de donner une preuve irréfutable que les uns et les autres sont bien des empreintes de corps orga-

niques enfouis et fossilisés, très probablement des empreintes de végétaux.

Dans quelques gisements nos fucoides du flysch se détachent en noir sur une roche plus claire, et sont ainsi facilement visibles. Mais dans beaucoup d'autres ils sont assez indistincts, et ne se voient guère que sous un certain jour. Il suffit en général dans ce cas de les tremper un instant dans un acide très dilué pour les rendre beaucoup plus apparents, et leur donner la couleur noire des autres. N'est-il pas évident qu'il y a là une substance carbonisée, qui tantôt est visible sur le feuillet de schiste, tantôt est recouverte d'une mince pellicule argilo-calcaire. L'acide dissout la pellicule, sans attaquer le carbone, et rend ainsi l'empreinte plus visible.

J'ai pu faire une observation du même genre sur des échantillons de *Cancellophycus scoparius* du dogger alpin, Ceux-ci ne sont pas de simples empreintes, mais présentent parfois une certaine épaisseur. J'en ai, au Musée de Lausanne, un échantillon dans lequel, sur une *Ammonites Humphriesianus*, se trouve très nettement un *Cancellophycus* de 5 millimètres d'épaisseur, se distinguant de la roche par une couleur plus noire. Impossible que ce corps soit une simple empreinte physiologique.

Il me paraît d'ailleurs bien difficile que des animaux, en marchant ou rampant, puissent produire des branchements aussi réguliers que ceux de nos *Chondrites* du flysch, ou des formes en panache étalé, parfois même avec barbules, comme celles de nos *Taonurus* du flysch, ou de nos *Cancellophycus* du dogger. C'est d'ailleurs l'impression qu'ont produite ces empreintes sur tous les botanistes qui les ont étudiées; Osw. Heer et Fischer-Oster, qui en ont décrit beaucoup, n'ont jamais douté de leur nature végétale.

M. Fuchs tire un autre argument du fait que les fucoides du flysch seraient disposés transversalement aux délités, comme s'ils avaient cru au travers des couches. J'ai trois objections importantes à lui présenter :

1° Cette disposition se rencontre parfois, mais elle est bien loin d'être constante. Au contraire la grande majorité de nos empreintes du flysch se présentent presque entières sur la surface des feuillets, lorsqu'on refend le schiste.

2° Les feuillets du schiste ne sont d'ailleurs pas toujours parallèles à la stratification, mais résultent parfois, comme on le constate souvent dans les Alpes, d'un clivage ou d'une lamination plus ou moins oblique par rapport aux couches, et attribuable à la pression.

3° Enfin mon collègue le professeur Schnetzler, botaniste bien compétent, m'assure que certaines algues des mers actuelles sont enracinées à de grandes profondeurs et continuent à croître dans l'eau, alors même que leur partie inférieure est graduellement enfouie dans la vase.

Les arguments qu'avance M. Fuchs, pour faire du flysch un facies de mer profonde, tombent donc les uns après les autres. On pourrait en revanche invoquer en faveur de sa manière de voir la rareté des fossiles animaux et le fait que ceux-ci se réduisent, jusqu'ici, à quelques dents et écailles de poissons. Mais ce n'est point là un argument absolu, et l'on trouverait sans doute dans les mers peu profondes des conditions analogues.

D'autre part la nature pétrographique du flysch et la grande épaisseur de ses couches parlent en faveur d'un facies littoral. Les grès et poudingues si abondants dans le flysch sont des matériaux sédimentaires grossiers, qui

ne se rencontrent que très exceptionnellement à de grandes distances des côtes. Nous y connaissons même des conglomérats à gros éléments, et de véritables brèches, comme à Aigremont, qui ne peuvent s'être déposées que sur le rivage. Les schistes eux-mêmes furent originairement des limons deutérogènes, qui ne sont point à comparer avec l'argile rouge, non plus qu'avec les limons organiques, des hauts fonds. D'ailleurs la grande épaisseur de ces couches indique une sédimentation détritique abondante, tandis que dans les grandes profondeurs la sédimentation est très lente, et d'origine essentiellement organique ou hydro-chimique.

Toutes ces raisons, jointes à la présence, à la fréquence même, des fucoïdes, dans lesquelles je ne puis voir que des algues marines, me font considérer le flysch, sans hésitation aucune, comme un *facies littoral*.

Je puis d'ailleurs facilement concevoir, dans la région qu'occupent actuellement nos Alpes, une mer du flysch, très étendue, mais peu profonde, parsemée de bas fonds, de *klippes* et d'ilots, formant l'intermédiaire entre la haute mer du Nummulitique et l'émersion considérable du commencement de la période miocénique. Il me paraîtrait infiniment moins naturel d'admettre qu'immédiatement avant cette époque, et comme prélude à l'exhaussement final, le fond de la mer eût subi une dépression encore plus forte pour émerger ensuite presque sans transition. Le dernier terrain sédimentaire de nos Alpes suisses ne peut pas être un dépôt formé dans la zone abyssale.

Classification des facies.

M. Th. Fuchs, dans son travail précité, s'est attaché tout spécialement à définir les facies de mer profonde (*Tiefseebildungen*), dont il énumère un grand nombre, appartenant à toutes les époques géologiques. Beaucoup d'autres auteurs, dans ces dernières années surtout, ont décrit les facies les plus divers. Mais ce que l'on a pas encore tenté, du moins à ma connaissance, c'est de grouper systématiquement tous les facies, de manière à mettre bien en saillie leur mode de formation, et à faciliter au géologue, décrivant une contrée, la détermination des facies successifs qu'il y rencontre. C'est une première ébauche de cette classification que je voudrais essayer maintenant.

L'eau est le principal agent de la sédimentation, mais suivant sa masse et sa composition l'eau donne lieu à des formations bien différentes par les organismes qu'elles renferment. Il y a d'ailleurs aussi des formations sub-aériennes, auxquelles l'eau n'a nullement concouru. Il y a là matière à une distinction primordiale entre les *formations marines*, de beaucoup les plus étendues et les plus importantes, et les *formations terrestres*, plus locales, mais très variées.

A. FORMATIONS MARINES.

M. Fuchs groupe les formations marines de diverses profondeurs en deux catégories seulement : facies littoraux et facies de mer profonde. Les premiers correspondraient aux zones bathymétriques I et II et à la moitié

supérieure de la zone III. Les autres aux zones III (part. inf.), IV et V.

La zone III à Corallines paraît en effet susceptible de subdivision, Forbes y avait distingué deux faunes. La supérieure, caractérisée par *Fusus antiquus*, *Pullastra virginica* et *Pecten maximus*, présente un cachet plutôt littoral. L'inférieure caractérisée par *Pleurotoma teres* et *Turbinolia Milletiana* se rattache plutôt aux faunes profondes.

Plusieurs auteurs (Jeffreys, Stuxberg) ont reconnu là une ligne importante de démarcation. Au point de vue paléontologique cette limite est d'autant plus essentielle qu'elle correspond à la limite de pénétration des rayons lumineux dans l'eau de la mer (Secchi, Pourtalès), limite qui a dû rester à peu près constante à toutes les époques géologiques. Il me paraît donc très naturel de considérer la profondeur de 50 mètres comme limite approximative des formations littorales. Celles-ci comprendraient ainsi l'ensemble des facies fucoïdéens, ostréens, à gros bivalves, à gros gastéropodes carnassiers, coralligènes, etc.

En revanche, le groupement de tous les facies plus profonds en une seule catégorie, dite *Tiefseebildungen*, me paraît une idée peu naturelle et peu heureuse. L'examen des zones bathymétriques profondes montre qu'il y a là deux groupes de dépôts bien distincts, soit par leurs faunes, soit par la nature des sédiments.

Le groupe supérieur correspondant aux zones III (part. inf.) et IV, comprend encore habituellement des sédiments détritiques vaseux, ainsi que des faunes de mollusques de bonne taille, de polypes, etc. C'est le gisement ordinaire des brachiopodes, bryozoaires, crinoïdes, alcyonnaires et autres coraux non constructeurs de récifs, des spongiaires, etc. Ces dépôts se forment essentiellement de

50 à 500 mètres de profondeur, peut-être même encore plus bas. Ce sont ceux que Gressly, et après lui la plupart des géologues, ont appelé *facies pélagique*, mais ce nom doit être abandonné comme prêtant à confusion. Les zoologistes, en effet, emploient le terme de *pélagique* pour désigner les animaux qui nagent à la surface loin des côtes, et dont les dépouilles flottées peuvent se rencontrer à toute profondeur, aussi bien dans les formations littorales que dans les autres.

A défaut d'un terme plus caractéristique, j'emploierai pour désigner ces facies l'expression de *formations sub-littorales*, parce qu'ils succèdent aux dépôts littoraux, et s'y rattachent encore par beaucoup de caractères. Peut-être vaudrait-il mieux créer un terme nouveau et dire par exemple *formations bathyales*.

Le groupe inférieur, comprenant tous les dépôts de grande profondeur, et correspondant à la zone V actuelle, mérite à juste titre le nom de *formations abyssales*. Ici, sauf les exceptions dues aux courants marins et aux vents, nous ne trouvons plus de sédimentation détritique mais seulement des dépôts lents d'organismes microscopiques et des précipitations hydro-chimiques. Quant à la faune, grande rareté de fossiles macrozoïques, et ceux-ci appartenant pour la plupart aux dépouilles flottées d'animaux pélagiques.

Je reprends, en sens inverse, ces 3 groupes de formations marines, pour en déterminer les divers facies.

a. *Formations abyssales.*

Au delà de 5000 mètres de profondeur, la drague ne rencontre plus guère qu'un dépôt d'argile rouge, assez

uniforme, que plusieurs considèrent comme un précipité chimique. D'autres paraissent y avoir reconnu au microscope des moules de foraminifères, dont les tests calcaires auraient été dissous par la mer. Dans ces mêmes argiles, qui occupent de grandes étendues sur les hauts fonds, l'expédition du Challenger a constaté de l'oxyde de manganèse, soit incrustant des débris organiques, soit à l'état de nodules ou concrétions diverses. MM. J. Murray et Renard y ont découvert également, par l'analyse microscopique, des poussières cosmiques, et des particules volcaniques très ténues, tout à fait analogues aux cendres de l'éruption du Krakatau.

Au-dessus de 5000 mètres, jusqu'à la limite supérieure de la zone abyssale, la drague rencontre habituellement des limons organiques, tantôt calcaires, tantôt siliceux, dits *boue à Globigérines* et *boue à Radiolaires*. Les premiers sont les plus abondants, mais ils manquent dans les eaux polaires et les mers fermées. Ils sont essentiellement constitués par des débris de foraminifères (*G. Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*) dont les espèces pullulent à la surface des océans, là où l'eau est assez chaude, et dont les carapaces calcaires se déposent lentement au fond. Avec ces microzoaires se trouvent des granules calcaires (*Coccolites*, *Rhabdolites*) attribués à des algues. Ces limons très semblables à la craie, nous expliquent sa formation.

Les boues à *Radiolaires*, que l'on a pu constater jusqu'à 8000 mètres de profondeur, sont de même des limons siliceux composés de *Polycistines* et *Acanthomètres*, de diatomées, spicules de spongiaires, etc.

On rencontre parfois aussi dans ces hauts fonds des sables glauconieux que l'on a également attribués à des

diatomées. Il est clair qu'entre ces divers dépôts abyssaux il existe de nombreux mélanges, qui constituent des types intermédiaires.

Les caractères essentiels des formations abyssales seraient ainsi : sédiments non détritiques, principalement organiques, d'origine microzoïque ou microphytique. Fossiles macrozoïques très rares, consistant en dépouilles d'animaux pélagiques, ou en coquilles minces et types de petite taille. Les rognons ferrugineux et manganeux, ainsi que les silex, chailles, etc., paraissent aussi essentiellement originaires des grandes profondeurs.

Procédant par analogie avec les mers actuelles, je distinguerai parmi les formations abyssales les facies suivants :

1. *Facies rubigineux*. Argiles ou schistes rouges, ferrugineux, parfois manganésifères, à fossiles très rares. Surtout des foraminifères ou radiolaires. Beaucoup plus rarement des fossiles macrozoïques, comme dents de squales, écailles de poissons, ou autres dépouilles de types pélagiques. Nos couches rouges du crétacé supérieur alpin me paraissent appartenir à ce facies. Peut-être aussi le *Old red* et le *New red* d'Angleterre, les *Sernfschiefer* de Glaris, etc.

2. *Facies siliceux* ou *argilo-siliceux* à diatomées, radiolaires, spongiaires, etc.; comme les tripolis et les farines fossiles (*Bergmehl*) des terrains tertiaires; les *Kieselschiefer* du Silurien de Saxe, etc.; certains jaspes à radiolaires d'Italie, etc.

3. *Facies à chailles*. Calcaires ou argiles entremêlés de bancs, lentilles, ou rognons siliceux (chailles); du moins ceux où les fossiles sont rares ou de petite taille. Ce facies

est fréquent dans le Jura et dans les Alpes, où sa pauvreté en fossiles est remarquable.

4. *Facies crayeux*, ou à *Globigérines*. Les craies avec ou sans silex, les craies marneuses, etc.; et dans les régions montagneuses beaucoup de calcaires plus ou moins compacts, riches en foraminifères, comme le *Seewerkalk* de la Suisse septentrionale.

5. *Facies glauconieux*, comme la glauconie sénonienne de New-Jersey. Si l'opinion se confirme que ces grains verts sont dus à des diatomées, on devra considérer ce facies comme abyssal. La fréquence des craies glauconieuses et des calcaires glauconieux est un argument en faveur de cette attribution. Il y aurait dans ce cas mélange des facies 4 et 5.

b. *Formations sub-littorales (ou bathyales)*.

Dépôts sur les fonds de moyenne profondeur, jusqu'à une cinquantaine de mètres de la surface. Lumière encore nulle ou très diffuse. Sédimentation en partie détritique, surtout formée de limons consolidés, mais exceptionnellement aussi matériaux arénacés ou plus grossiers. L'expédition du *Travailleur* a rencontré sur les côtes d'Espagne et de Portugal, jusqu'à 900^m de profondeur, des dépôts graveleux associés à une faune profonde. Dans la partie inférieure surtout, ces sédiments peuvent se trouver mélangés de dépôts microzoïques, mais ce sont surtout les grandes espèces de foraminifères qui vivent dans les mers moins profondes.

Les fossiles sont ici beaucoup plus nombreux et variés que dans les formations abyssales. Ils le sont d'autant plus que le rivage est moins éloigné; ce n'est pas tant le

peu de profondeur, que la proximité du rivage qui détermine l'abondance de la vie sous-marine. Dépouilles nombreuses d'animaux pélagiques : ossements épars de poissons, d'énalisosauriens, etc. ; coquilles flottées de céphalopodes, ptéropodes ; *Aptychus*, *Belemnites*, etc. Tout cela plus ou moins mélangé aux mollusques et autres invertébrés vivant sur les fonds moyens : gastéropodes et pélécy-podes de taille moyenne ou petite ; brachiopodes, bryozoaires, crinoïdes ; zoantaires vivant isolés, et ne construisant pas de récifs (Tiefseecorallen) ; spongiaires (*Lithistides*, *Hexactinellides*).

Les facies sont si variés que je ne puis songer à en faire une énumération complète. Les principaux sont :

1. *Facies calcaire à céphalopodes*, formé probablement dans les plus hauts fonds sub-littoraux, avec le concours des microzoaires et microphytes. Ex. : Néocomien alpin ; calcaires compacts du malm à *Aptychus* et à *Ammonites Claus-schichten*, *Calcarea ammonitico rosso*, etc.

2. *Facies argilo-pyriteux*, comme le Gault de l'Aube, l'Aptien de Gargas, les argiles de Dives, l'oxfordien pyriteux du Jura, les schistes divésiens du Mœveran, etc.

3. *Facies argilo-marneux à ptéropodes*, contenant souvent aussi des dentales, brachiopodes, crinoïdes, polypiers isolés, etc. Ex. : Valangien à ptéropodes des Pré-Alpes ; certaines stations d'argiles subalpennes à dentales et ptéropodes ; marnes à Pleurotomes du Tortonien, etc.

4. *Facies à brachiopodes*, si fréquents dans les terrains mésozoïques, et surtout paléozoïques.

5. *Facies à scyphies*, comme le spongien, caractérisés par l'abondance des spongiaires siliceux (*Lithistides*).

6. *Facies de charriage*, à coquilles brisées et dépareil-

lées; résultat des courants marins, qui charrient au loin des matériaux côtiers. Ils peuvent se rencontrer à toutes les profondeurs.

c. *Formations littorales.*

Ces formations sont encore plus variées que les précédentes, par suite des conditions de lumière, de température, d'agitation des eaux, d'oxygénation, de sédimentation, etc., qui déterminent à proximité des côtes une vie organique généralement riche et variée. Les sédiments sont essentiellement deutero-gènes, soit détritiques : limons calcaires ou argileux, sables plus ou moins fins, graviers, et leurs dérivés par consolidation.

Le mélange d'animaux pélagiques peut aussi exister, mais naturellement il est beaucoup moins habituel et prédominant. En revanche il y a beaucoup plus souvent mélange de plantes ou d'animaux terrestres, de coquilles d'eau douce, etc. Là où les conditions ont été favorables à leur conservation, les algues marines sont abondantes. Le gros de la faune se compose, suivant les cas, des coquilles de grande taille et bien ornées de gastéropodes et pélicypodes, ou bien d'oursins, de polypiers rameux (*Riffcorallen*), etc.

Les principaux facies à distinguer sont les suivants :

1. *Facies coralligène.* Récifs madréporiques et tous leurs accessoires. Roche calcaire presque exclusivement d'origine organique. A l'intérieur du récif, polypiers entiers, dont les interstices sont remplis d'un limon calcaire, provenant de polypiers décomposés, d'algues calcaires, etc. A l'extérieur, la roche consiste essentiellement en polypiers brisés, souvent plus ou moins triturés, et cimen-

tés par l'incrustation calcaire d'origine hydro-chimique, ou aussi organique, comme celle produite par les bryozoaires encroûtants, etc. Outre les coraux constructeurs, nombre de gros mollusques à coquilles épaisses contribuent à la formation des récifs : *Nérinea*, *Ostrea Cardium*., *Megalodon*, etc. Dans la période crétacée les *Rudistes* étaient évidemment aussi constructeurs de récifs.

Les calcaires oolitiques, qui accompagnent toujours les calcaires coralliens, ne sont, comme l'a constaté L. Agassiz, en Floride, que des sables calcaires, résultant de la trituration de tous ces débris testacés et se déposant en avant des récifs. Leurs petits grains arrondis sont souvent enveloppés d'une incrustation calcaire, due à ce que l'eau de la mer qui environne les récifs tient toujours en dissolution beaucoup de carbonate de calcium.

On peut attribuer au facies coralligène un grand nombre de calcaires de tout âge. Les plus connus sont ceux des divers niveaux du jurassique supérieur, qui les premiers ont provoqué l'étude des facies. Les géologues belges ont reconnu que beaucoup de leurs calcaires dévonien n'ont pas d'autre origine. Les calcaires à rudistes du crétacé appartiennent évidemment au même facies. Enfin il est très probable que beaucoup des dolomies triasiques des Alpes méridionales sont dues au même phénomène. On voit se former actuellement au Récif Matea (Fidji), un calcaire dolomitique compact qui contient 38 % de carbonate de magnésium.

2. *Facies marneux à gros bivalves*, parfois plus calcaires, parfois plus argileux, souvent en dépôts alternatifs, caractérisé par de gros mollusques gastéropodes, et surtout pélécy-podes. Ex. : Ptérocérien et Pholadomyen du Jura, calcaire à *Mytilus* des Alpes (reconnu d'âge Bathonien).

3. *Facies vaseux à Fucoïdes*, qui rappelle bien par ses caractères la *Zone à Laminaires* des mers actuelles. En restreignant le nom de flysch aux couches schisteuses, on pourrait s'en servir pour désigner ce facies. Je me suis déjà expliqué un peu plus haut sur l'existence de schistes à fucoïdes semblables, ailleurs que dans l'éocène.

4. *Facies sableux*. Les sables et leurs dérivés, les grès, indiquent la proximité du rivage, sauf dans certains cas de charriage par les courants. Leur faune est aussi en général tout à fait littorale : Mollusques très variés et très ornés, spécialement de nombreux gastéropodes. Souvent aussi huîtres de grande taille. Ex. : Sables pliocènes d'Asti, faluns de l'Aquitaine et de la Touraine, molasse marine, éocène parisien, grès du gault, grès d'Hetange, etc.

5. *Facies caillouteux*, formé sur les côtes agitées. Gravier plus ou moins grossiers et leurs dérivés, les poudingues. L'agitation des eaux, et la mobilité du fond exclut les êtres délicats et de petite taille, aussi ne trouve-t-on que peu de fossiles dans les poudingues mêmes. Ce sont surtout de gros bivalves, et spécialement de grandes huîtres à test très épais. Parfois aussi des débris terrestres entraînés. Ex. : Poudingues de la molasse marine; poudingue carbonifère, etc.

B. FORMATIONS TERRESTRES.

Les dépôts formés sur terre ferme sont excessivement variés, mais, sauf de rares exceptions, ne présentent guère une grande étendue. Ce sont plutôt des formations locales, qui, dès lors, ont bien moins d'importance pour la stratigraphie. Elles sont d'ailleurs d'une définition géné-

ralement plus aisée, et leur origine est par là mieux connue. Toutefois il me paraît utile de les énumérer rapidement à la suite des facies marins.

Ces dépôts peuvent avoir été formés dans les lacs extra-salés, dans les eaux saumâtres, dans les eaux douces, et enfin sans le concours des eaux. Cela nous donne quatre groupes de formations terrestres que nous allons passer en revue.

a. Formations caspiques ou de lacs salés.

Les dépôts formés dans les eaux de salure exceptionnelle, sont aussi d'une nature exceptionnelle. La vie organique y fait presque entièrement défaut, comme dans la Mer morte ; de là des dépôts la plupart du temps sans fossiles. La sédimentation est essentiellement hydro-chimique, avec quelques mélanges détritiques, dont la proportion augmente avec l'importance des affluents, et la diminution de la salure. Les eaux précipitent naturellement les sels qu'elles tiennent en dissolution, et cela dans l'ordre inverse de leur solubilité, de sorte que le sel gemme, par exemple, n'a pu être déposé que par des eaux très concentrées. Ces roches halogènes, telles que anhydrite, gypse, sel gemme, etc. sont donc les caractères distinctifs des formations caspiques. Avec elles on rencontre habituellement des dolomies, dont l'origine est moins évidente. Ces dolomies sont-elles dues elles aussi à une précipitation chimique, ou à la sédimentation mécanique ? cela ne me paraît pas bien clair.

Il y aurait lieu sans doute à distinguer plusieurs facies parmi les formations caspiques, mais la sédimentation actuelle de ces nappes extra-salées est encore trop peu

étudiée pour donner des termes de comparaison précis. Là aussi il faudrait de nombreux dragages à toutes les profondeurs, pour arriver à de bons résultats. Les plus connus de ces facies sont ceux qu'on nomme *formations salifères*. Outre celles d'âge triasique, qui sont les plus répandues, on en connaît dans le carbonifère des États-Unis, dans le *zechstein* de Thuringe, dans le crétacé d'Espagne, dans le tertiaire de Roumanie, de Pologne, etc.

b. *Formations saumâtres.*

A l'inverse des précédentes, ces formations sont dues à des eaux en partie désalées par le mélange des eaux douces. La vie organique y est donc possible, et même parfois abondante. La sédimentation y est tout à fait normale, et à peu près toujours détritique, à part certains dépôts de diatomées, comme à l'embouchure de l'Elbe. On ne pourra donc guère distinguer les formations saumâtres par la nature des sédiments, mais on le peut en général par les fossiles qu'elles renferment, dont les genres ou sous-genres sont connus pour hanter de préférence ces eaux désalées (*Potamides, Cyrena, Neritina*, etc.). Souvent aussi on y trouve des genres marins, qui se sont petit à petit accoutumés à une eau moins salée, mais leurs formes sont rabougries, comme chez les huîtres de la Baltique.

On peut distinguer deux facies différents dans ces formations saumâtres :

1. *Facies estuarien*, qui se forme dans certaines mers intérieures, comme la Baltique, ainsi que dans les estuaires, lagunes, etc., de plus petite dimension.

2. *Facies d'embouchure*, qui offre un caractère mixte, et

présente souvent des alternances de dépôts marins et fluviatiles.

C'est surtout dans les terrains tertiaires qu'on connaît des exemples de ces facies ; mais on en a aussi constaté dans le purbeck, et même dans le terrain houiller.

c. *Formations limniques*

(Aussi nymphéennes ou d'eau douce).

Ces formations, qui se produisent sous nos yeux, dans nos lacs, nos rivières, nos marais, sont bien connues par leurs types actuels, mais leurs représentants géologiques ne sont guère fréquents que dans la période tertiaire. Cependant, plus on étudie la géologie de nouvelles contrées, plus on retrouve des équivalents d'eau douce, d'âge secondaire ou même primaire. Ces formations sont bien caractérisées par leurs faunes et flores aquatiques, exclusivement nymphéennes ; mais il s'y joint habituellement des débris d'organismes terrestres entraînés. Les plantes terrestres, en particulier, sont fréquentes dans les dépôts d'eau douce, comme parfois aussi dans les formations marines littorales. Les coquilles d'*Helix*, de *Cyclostomes*, etc., se rencontrent habituellement associées aux coquilles d'eau douce proprement dites. J'en pourrais dire autant des insectes, etc. Les êtres terrestres aériens sont donc presque aussi abondants que les êtres nymphéens dans les formations d'eau douce ; mais ils en sont moins caractéristiques, et donnent moins de renseignements sur le mode de formation.

Les quatre facies suivants sont surtout à citer :

1. *Facies lacustre*. Dépôts limniques plus ou moins étendus, parmi lesquels il y aurait encore à distinguer un

facies littoral et un facies profond. Dans la pratique, ils sont difficiles à séparer du facies suivant, avec lequel ils sont souvent confondus en un seul. L'extension du dépôt est presque le seul critère de distinction.

2. *Facies fluviale*. Dépôts des eaux courantes : fleuves, rivières, torrents, etc. Matériaux plus ou moins grossiers suivant la rapidité du courant. Certains types de mollusques affectent de préférence les eaux courantes. Se baser sur l'analogie avec les animaux actuels.

3. *Facies palustre, marécageux ou tourbeux*. Les dépôts formés dans les marécages sont, de même, caractérisés par certains genres de vertébrés, de mollusques ou de plantes, qui constituent les faunes et flores palustres. En outre les formations végétales carbonées, les tourbes et leurs dérivés, lignites, houilles et anthracites, ainsi que leurs compagnons habituels, les schistes et calcaires bitumineux, en sont l'apanage presque exclusif.

4. *Facies tufacé*. Les dépôts de tuf, formés par l'incrustation des mousses et autres débris végétaux, constituent encore un facies particulier des formations limniques. Les mollusques d'eau douce habituels, et surtout les plantes terrestres en sont les fossiles ordinaires. Mais la roche, vacuolaire, tantôt exclusivement calcaire, tantôt consistant en calcaire siliceux, est suffisamment caractéristique. On ne connaît guère de tufs proprement dits que dans la seconde moitié de l'ère tertiaire. Des calcaires d'eau douce plus compacts les remplacent dans les époques plus anciennes.

d. *Formations subaériennes.*

Les tufs forment déjà une transition aux formations subaériennes, mais ils présentent encore généralement

un caractère de stratification aqueuse, qui fait ordinairement défaut dans les facies dont j'ai encore à parler. Ceux-ci ne forment pas proprement des dépôts, mais plutôt des accumulations très irrégulières, qui ne contiennent que rarement des fossiles. Lorsque ceux-ci se rencontrent ce ne sont pas des êtres aquatiques, mais seulement des organismes terrestres, et tout particulièrement des ossements de mammifères.

Les principaux de ces facies sont :

1. *Facies geysérien* ou de sources minérales (mieux *facies crénogène*). Amas irréguliers de substances très diverses, siliceuses, ferrugineuses, etc. ; remplissant souvent des crevasses ou des poches. Quelques-uns offrent des gisements ossifères intéressants, comme les crevasses sidérolitiques du Maumont, les phosphorites de Quercy, etc.

2. *Facies ossifère*. Accumulation d'ossements et de matériaux détritiques divers, parfois conglomérés par les incrustations calcaires. Les brèches osseuses et les dépôts ossifères des cavernes en sont les exemples les plus connus.

3. *Facies erratique* ou *glaciaire*. Accumulations irrégulières de matériaux anguleux de toute taille, charriés par les glaciers, et de boues argileuses (*boulder-clay*) produites par leur trituration. Ces matériaux sont souvent plus ou moins remaniés par les eaux torrentielles, et peuvent affecter dans ce cas une stratification irrégulière. Quant aux fossiles, ils font presque toujours défaut.

4. *Facies des dunes*. Sables plus ou moins fins, accumulés par les vents, et présentant parfois une sorte de stratification oblique, comme dans le facies précédent. Ces

conditions sont très défavorables à l'enfouissement et à la conservation des débris organiques. Les sables mouvants du Sahara, ainsi que ceux des bords du Rhône, dans le Valais, appartiennent à cette catégorie.

On pourrait encore rattacher aux formations subaériennes les accumulations volcaniques terrestres, soit les laves formées par coulées, soit surtout les agrégats volcaniques, meubles ou agglomérés (pouzzolane, trass, pépérino, etc.) qui peuvent se rencontrer, comme les autres facies subaériens, interstratifiés parmi les terrains sédimentaires.

Je viens d'énumérer une trentaine de facies différents, dont plus de la moitié appartenant aux formations marines. J'aurais pu en augmenter passablement le nombre en tenant compte de toutes les circonstances de détail, mais j'ai cherché plutôt à condenser, pour établir des types bien caractérisés et bien évidents, en me basant autant que possible sur les facies déjà reconnus. Il est à prévoir que la suite des études dans cette direction nous forcera à admettre un plus grand nombre de facies bien définis, mais cela doit découler des monographies locales, et venir au fur et à mesure des besoins.

Il est incontestable que chacun des modes de formation actuellement en cours a pu et a dû se produire aux différents âges géologiques, avec les modifications qu'entraînaient les circonstances générales du globe à ces divers moments. La tâche du géologue sera donc de rechercher tous les facies, sous lesquels peut se présenter, dans divers pays, un terrain d'âge déterminé. Parfois l'on trouvera dans un même étage des facies différents superposés, qui donneront lieu à une subdivision locale de

l'étage; d'autres fois un même facies pourra s'être continué, plus longtemps sur un point, et englobera ainsi plusieurs étages, dont la distinction, dans cette région, deviendra difficile, sinon tout à fait impossible. La classification des terrains doit être assez souple pour s'appliquer à tous ces cas. Il faut se garder en particulier de considérer chaque facies comme représentant un étage particulier, et d'admettre des lacunes partout où manquent certains facies.

Les divisions géologiques ont nécessairement des valeurs extensives différentes. Celles de 1^{er} ordre (Eres) ont une valeur universelle. Celles de 2^{me} ordre (Périodes = Systèmes) ont une valeur encore très générale. Les divisions de 3^{me} ordre (Époques) se retrouvent presque partout en Europe; mais on ne peut pas s'attendre à rencontrer un groupement identique en Amérique, aux Indes, etc. Les divisions de 4^{me} ordre (Age = Étage) n'ont plus qu'une valeur régionale. Enfin celles de 5^{me} ordre (Assises) sont tout à fait locales.

L'étude des formations et des facies, envisagée à ce point de vue, me paraît destinée à donner une nouvelle impulsion aux sciences géologiques.

Lausanne, le 10 septembre 1884.
