

ANNALES
DU CENTRE D'ÉTUDES ET DE
DOCUMENTATION PALÉONTOLOGIQUES

TAPHONOMIE
ET
ANNALES GÉOLOGIQUES

(première partie)

par

I. A. EFREMOV

Traduction S. KETCHIAN et J. ROGER

Publié par les soins du Syndicat de Documentation géologique et
paléontologique. 61 rue de Buffon, PARIS-V^e.

Prix: 1.500 Fr.

Numéro 4 ----- 4^e trimestre 1953

EFREMOV I.A. - 1950. Taphonomie et annales géologiques. 1^{ère} partie.
Trav. Inst. Paléontol. Acad. Sci. URSS, T. 24,
177 p., 4 fig., 4 pl.

Traduction par S.KETCHIAN et J.ROGER.

En dehors du Bulletin trimestriel d'Information, fournissant rapidement aux usagers des renseignements, de tous ordres, concernant les Sciences de la Terre et, plus spécialement, des indications sur les progrès réalisés dans la documentation du Centre d'Etudes et de Documentation Paléontologiques, nous avons entrepris la publication d'Annales pour lesquelles nous adopterons à partir de 1954 une périodicité trimestrielle.

La traduction de la première partie d'une étude récente d'Efremov I.A. sur la taphonomie, présentée ici, a été effectuée par Mlle S.Ketchian et une seconde rédaction en a été faite par J.Roger.

Afin de demeurer aussi près du texte que possible nous n'avons pas cherché à obtenir un texte d'un français irréprochable. Toutefois, nous espérons que les erreurs d'interprétation sont réduites autant que possible. Les figurations ont été groupées en planches réunies à la fin du texte.

PREFACE

Cet ouvrage est la suite du développement de la science s'occupant de l'enfouissement et de la formation des gisements d'animaux et végétaux fossiles, que j'ai définie (Efremov, 1940), comme une section indépendante de la paléontologie - la taphonomie (des mots grecs: enterrer et loi). La formation des gisements, c'est-à-dire le passage des restes organiques de la biosphère à la lithosphère, s'effectue grâce à des processus qui ont lieu d'une part dans la biosphère et de l'autre dans la lithosphère. Pour cette raison l'étude des lois d'enfouissement^a une position-limite, pourrait-on dire, intermédiaire entre la géologie et la biologie.

La dynamique des populations, la formation de concentrations de groupes d'êtres vivants ou de leurs cadavres, la répartition et la destruction des restes dans les limites de la biosphère, toutes ces questions restent en général en dehors du champ d'observation du paléontologiste. De même, la genèse des sédiments, avec les restes qui s'y trouvent inclus, la répartition hydromécanique des restes, les processus de lithification, liés à la fossilisation et l'histoire ultérieure des formations sédimentaires accumulées, sont des questions intéressant la géologie, n'ayant que peu de rapport avec la paléontologie et tout à fait ignorées de la biologie. En fin de compte, on arrive à une rupture entre les différentes disciplines non reliées par des méthodes d'étude communes. La taphonomie, utilisant les méthodes de la géologie historique et de la biologie, doit les réunir sur les bases de ses propres données et, ainsi, éliminer la rupture qui existe dans l'étude des gisements, apportant des éclaircissements, de tous les côtés, aux nombreux processus de la formation de ces documents paléontologiques. La définition d'une section spéciale de la paléontologie est maintenant dictée par une nécessité ayant atteint son point de maturité.

Le matériel que les annales géologiques fournissent à la paléontologie est forcément incomplet. Il l'est d'abord par le fait que les rostes eux-mêmes ne contiennent en général que les parties solides des squelettes. En outre, les éléments du monde organique qui parviennent jusqu'à nous, enfouis dans les sédiments des époques géologiques passées, ne représentent qu'une petite portion des faunes et flores ayant existé dans le passé. Ce caractère incomplet des annales géologiques, exactement défini par Darwin, confère aux gisements eux-mêmes une signification considérable, en tant que documents paléontologiques présentant un intérêt non moins grand que les restes fossiles eux-mêmes. Chaque gisement de fossiles est une sorte de fenêtre permettant, après une étude détaillée, de regarder sur le passé, fenêtre qui permet de saisir, à travers la lithosphère, les nuances de la biosphère des époques révolues. Cette voie nouvelle

et unique, opposée pourrait-on dire à l'étude morphologique directe, n'est utilisée par les paléontologistes que depuis très peu de temps. La naissance de la tendance taphonomique, précisément dans notre pays, n'est pas un fait du hasard. Ayant reconnu l'influence du milieu extérieur comme facteur d'importance déterminante dans l'évolution du monde organique, nos savants ont été entraînés par la nécessité d'une étude générale de toutes les conditions du milieu externe au cours des époques géologiques anciennes.

Cependant dans les travaux paléontologiques d'orientation biologique, nous nous heurtons souvent à une rupture complète entre la "faune" étudiée et son milieu d'habitat, qui représente lui-même la documentation directe que nous fournissent les dépôts encaissants étudiés par les méthodes géologiques. D'un autre côté, les travaux paléontologiques à tendance géologique, possédant une documentation géologique suffisante sont parfaitement incapables d'interpréter les données biologiques pour définir les conditions du milieu externe d'après la structure fonctionnelle des organismes fossiles. En conséquence, le développement de l'analyse détaillée des conditions du milieu extérieur en paléontologie, a rendu nécessaire la soudure des deux disciplines différentes, ayant le même objet d'étude. Les erreurs faites au cours d'essais d'analyse complète des conditions extérieures de vie des organismes du passé, aussi bien à l'aide de l'analyse fonctionnelle des adaptations biologiques, qu'à l'aide de la biostratigraphie élémentaire, ont poussé les savants à la recherche de voies nouvelles, ne se limitant pas à une étude morphologique détaillée des organismes, ou aux changements des groupes faunistiques dans les différentes couches. Cette voie nouvelle consiste à étudier les gisements des animaux et végétaux fossiles. Elle constitue l'objet de la taphonomie.

Ce n'est pas par hasard, non plus, que l'étude taphonomique des gisements s'est développée parmi les paléontologistes s'occupant des plus anciennes faunes et flores terrestres renfermées dans des dépôts continentaux. Le dépôt des restes dans des roches ne reproduisant pas en général les conditions de vie des organismes terrestres, la rareté des trouvailles, l'influence considérable des processus de destruction au cours de longues périodes de temps sur ces dépôts, toutes ces raisons devaient inévitablement conduire à la recherche des lois de conservation de ces documents paléontologiques dans les annales géologiques. Cette section nouvelle de la paléontologie - la taphonomie, consistant à étudier les questions de paléontologie grâce à la connaissance des gisements (seconde partie de la documentation fournie par les annales géologiques), fut, pour ses débuts, consacrée à la détermination des lois d'enfouissement dans les dépôts continentaux, principalement des Vertébrés les plus anciens. Il est évident que la taphonomie s'applique exactement de la même façon aux sédiments et aux faunes marines. Cependant, les processus intervenant dans la formation de dépôts de faunes marines dans les sédiments marins, ont, comme nous le verrons plus loin, un caractère différent de ceux intervenant dans la formation des niveaux continentaux. L'application de la taphonomie à l'analyse des annales géologiques des dépôts marins constitue un degré de développement ultérieur de cette branche nouvelle de la paléontologie et de la géologie historique.

L'abondance des données sur les annales géologiques concernant les continents du passé nous a conduit à les diviser en deux volumes. Dans le premier (celui-ci) nous étudions quelques questions générales de la taphonomie, nous définissons une branche nouvelle de la géologie historique, parallèle à la taphonomie, la litholeimonomie, nous donnons

le bilan des principaux gisements de Vertébrés terrestres du Paléozoïque et l'analyse comparée des gisements mésozoïques et cénozoïques, avec les conclusions générales qui en découlent, en ce qui concerne les lois d'enfouissement, les types de gisements, les processus de leur découverte, la reconstitution des conditions de vie et des topographies du passé, ainsi que quelques remarques sur l'incidence du point de vue taphonomique sur les questions générales d'évolution et d'extension géographique des Vertébrés terrestres. En conclusion nous caractérisons brièvement les voies et les méthodes des recherches taphonomiques.

Le second volume sera consacré aux gisements mésozoïques et cénozoïques et aux questions des modes d'enfouissement typiquement continentaux, à la reconstitution des topographies et à des corrections taphonomiques relatives aux questions d'évolution des faunes de Vertébrés terrestres du Mésozoïque et du Cénozoïque. Nous nous arrêterons aussi sur des questions de taphonomie des Vertébrés et des Invertébrés marins et de la lithoéléimonie des sédiments marins.

Ce livre fut écrit en 1943. Le retard apporté à sa publication est d'une part une conséquence des conditions anormales de la période de guerre et, d'autre part, l'impossibilité de la part de l'auteur de corriger son manuscrit en raison d'autres occupations.

Sous sa forme primitive le manuscrit a été lu par un certain nombre de spécialistes, qui m'ont donné des conseils extrêmement précieux. Je considère de mon devoir d'exprimer ma reconnaissance à: R.F.Hekker, V.I.Gromov, L.Ch.Davitachvili, D.V.Nalivkine, L.V.Poustovalov, N.M.Strakhov, A.V.Khabakov et N.S.Chatskii, qui ont lu attentivement cet ouvrage et m'en ont fait la critique.

Il faut signaler, une fois de plus, que ce travail n'a pas la prétention d'épuiser toutes les questions auxquelles s'applique la méthode taphonomique. La taphonomie, particulièrement importante pour la faune et les dépôts continentaux, fut appliquée par l'auteur, avant tout à l'étude des données se rapportant aux gisements paléozoïques et, naturellement, c'est précisément dans ce domaine que les observations les plus nombreuses se sont accumulées.

Le premier volume se fixe comme tâche d'amorcer un développement ultérieur des méthodes taphonomiques, suivant un ordre fixé au départ par un plan des questions posées et, en même temps, de donner une extension aux idées conçues. Il n'est pas encore temps de faire une étude complète de toutes ces questions, ne serait-ce qu'en raison du fait que l'étude des gisements représente une branche de la paléontologie n'ayant qu'à peine commencé à se développer, principalement chez nous. Pour cette raison, les gisements ayant donné lieu à des études quelque peu détaillées se comptent sur les doigts de la main;

Ces mêmes considérations justifient l'impossibilité de s'occuper de tous les gisements paléozoïques, car les données se rapportant à ces derniers sont de valeur très inégale et une étude comparative ne peut être effectuée. Je ne donne pas une description complète des gisements car la reproduction de toutes les données se rapportant aux gisements du Primaire, pour être satisfaisante, exigerait un texte représentant plusieurs fois le volume de ce mémoire. Un tel texte serait d'ailleurs très mal commode, aussi bien pour la publication que pour la lecture. Pour cette raison, au risque de porter préjudice à la solidité de la base scientifique de mon travail, je suis obligé de le limiter à une étude tout à fait générale, limitée aux gisements les plus importants.

J'ai évité l'usage abusif d'une terminologie tectonique et géomorphologique pour les raisons suivantes:

1) L'ouvrage s'intéresse principalement à des processus de destruction géologique, dont, en général on ne tient pas beaucoup compte dans les définitions des termes de tectonique et de géomorphologie, qui eux se rapportent essentiellement à l'aspect constructif des processus géologiques.

2) La taphonomie et ses méthodes demandent des travaux beaucoup plus détaillés que les recherches géotectoniques et géomorphologiques habituelles. Pour cette raison, les constructions géotectoniques et leur terminologie spéciale, sont beaucoup trop générales pour pouvoir s'appliquer directement à la taphonomie.

Une terminologie appropriée sera probablement élaborée au cours des recherches futures. Pour éviter des confusions dans l'avenir j'ai intentionnellement rejeté une identification des idées nouvelles, encore "brutes" de la taphonomie avec des termes déjà bien consolidés dans les recherches d'autres méthodes et d'autres tendances.

Chapitre I

ORIGINES de la TAPHONOMIE

Depuis Darwin, qui a clairement défini les insuffisances des annales géologiques et a trouvé les causes fondamentales de ces insuffisances, on trouve, dans certains travaux de géologie, de paléontologie et de biologie, des indications isolées sur les caractéristiques de l'enfouissement des restes organiques dans les couches de l'écorce terrestre. Il convient de signaler que Darwin avait déjà défini la différence entre les processus d'enfouissement dans des sédiments continentaux et dans des dépôts marins en disant "qu'il serait plus difficile de trouver dans les districts continentaux élevés, des formes de transition".

Les géologues furent les premiers à admettre la possibilité de lacunes considérables dans nos connaissances des anciennes époques géologiques; en raison de l'absence de toute une série de faciès constatée dans les annales géologiques.

Neumayer (1903) déclare: "Il est très peu probable que dans une formation carbonifère le dépôt de charbon ait été réellement beaucoup plus intense qu'au cours des autres périodes. Nous avons constaté plus d'une fois que, pour des causes inconnues, certaines formations se rencontrent plus spécialement à certaines époques. Mais nous pouvons affirmer, dès maintenant, que les formations les plus diverses ont toujours existé en proportions sensiblement égales". D'après Neumayer, les différences apparentes sont en liaison avec l'élévation des continents et les variations dans la répartition des terres et des mers; par conséquent, c'est par hasard que les dépôts houillers du Carbonifère se trouvent en abondance sur les continents actuels, tandis que ceux correspondant à d'autres époques se trouvent au-dessous de la mer actuelle, ou bien ont été détruits par la dénudation. En conclusion, Neumayer déclare: "Personne ne doutera du caractère hypothétique d'une telle explication et ne la regardera comme absolue. Cette hypo-

thèse est simplement opposée, avec autant de vraisemblance, à l'hypothèse de la formation des houilles au cours du Carbonifère avec une intensité exceptionnellement grande. C'est une possibilité, opposée à une autre possibilité; la quelle des deux correspond à la réalité. Il est encore impossible de le dire".

La discussion entre les partisans de la tendance actualiste en géologie et les tenants du principe de l'irréversibilité des phénomènes géologiques, fut très fructueuse pour la taphonomie, car elle a attiré l'attention de grands savants sur les causes de l'absence de certains faciès dans les niveaux sédimentaires anciens. En se basant sur les recherches de pétrographie sédimentaire beaucoup de géologues ont modifié leurs conceptions sur l'origine des sédiments continentaux du passé, en montrant, par exemple, que des dépôts antérieurement rapportés à un milieu sub-aérien désertique, sont en fait des dépôts deltaïques (Poustovalov, 1937; Litchkov 1931, 1932; Koenen; Brinkmann 1926; Wepfer 1922, 1923; Twenhofel 1932). Les tectoniciens ont montré que les annales géologiques ne conservent pas toutes les formations, mais seulement celles résultant des plus puissants processus de sédimentation.

Récemment les paléogéographes ont constaté que les sédiments paléozoïques contiennent des lacunes considérables, sans parler des sédiments de périodes plus anciennes.

Dans certains travaux de paléontologie et de géologie nous trouvons des hypothèses sur les processus d'alopécie (dans le sens de disparitions locales) de formes isolées ou d'associations entières au cours de l'enfouissement. Les pétrographes s'occupant des roches sédimentaires ont également beaucoup travaillé dans ce sens. Par suite du caractère très fragmentaire des trouvailles de flores fossiles, les botanistes et les paléobotanistes furent les premiers à admettre la possibilité de découvertes inattendues dans des dépôts continentaux plus anciens. Kornor-Marilaun écrivait, dès 1902: "On n'a pas encore trouvé dans les dépôts houillers d'Angiospermes. Il serait stupide de supposer que cela est une preuve que ces plantes n'existaient pas à ces époques. Ce qui a pu subsister jusqu'à nous représente naturellement une petite partie du monde végétal de cette époque et se limite probablement à la flore des marécages, qui était aussi homogène que de nos jours".

Unger voulait inclure dans les recherches non seulement l'étude des empreintes végétales bien conservées, mais aussi de tous les restes qui fournissent un gisement. Ce savant, lui aussi, pensait que nos connaissances sur les espèces des flores du passé comportent des lacunes considérables. Salomon-Calvi déclare que, malgré l'avis de la majorité des chercheurs, la présence de Scorpions et de Myriapodes dans le Silurien est un indice d'une flore terrestre permanente. Des restes de flore terrestre du Silurien furent trouvés par Soward et Dawson (1871) dans le Silurien supérieur d'Angleterre et du Canada. Harrassovitz (1925), d'après l'étude d'une latérite d'érosion, a montré qu'au cours du Carbonifère il a dû exister une flore terrestre tout à fait typique, très différente de celle de marécages que l'on connaît.

Dès les années 60 du siècle dernier, V.O. Kovalovskii a montré, en se basant sur l'analyse paléobiologique (présence d'une grande quantité de Mammifères ruminants de grande taille), que la couverture végétale tertiaire devait comprendre de vastes espaces stoppiques, avec une flore correspondante, qui, en général, n'est pas conservée à l'état fossile. Cette flore a dû exister déjà au Crétacé, cependant on ne connaît de cette époque qu'une flore de climat relative-

ment humide. Kerner-Marilaun (1934) attire l'attention sur le fait que le nombre de plantes fossiles à feuilles ayant un épiderme épais est sensiblement supérieur à celui des plantes dont les feuilles ont un épiderme mince. Ceci est en relation directe avec les conditions d'enfouissement des restes végétaux. Les plantes enfouies dans le sable ne se conservent que si elles se trouvent dans des conditions particulièrement favorables, et, pour celles qui se développent sur des versants ou sur des couches de galets aucun reste fossile n'en est connu. Thiessen (Thiessen et White, 1913) a fait une étude détaillée du caractère sélectif de l'enfouissement des restes végétaux dans les charbons. L'étude des gisements houillers a fourni un matériel très abondant et très important pour la taphonomie. Très intéressants sont, en particulier, les travaux récents des géologues pétroliers soviétiques Iou.A. Jemtchoujnikov (1948 a, b, c) et d'autres, consacrés à l'analyse des conditions de formation de certains gisements houillers d'URSS. Malheureusement, ces travaux n'ont pas encore été publiés en totalité. Sur les conditions générales de l'enfouissement des restes végétaux signalons les travaux de White (1933), de Potonié (1954) et de Duparque (1933). Dans l'étude des conditions d'enfouissement des restes végétaux et animaux, la question d'enfouissement des sols anciens dans les dépôts continentaux, est extrêmement importante. Depuis quelque temps les pédologues soviétiques attachent à ces questions une importance particulière et ils ont accumulé des faits très intéressants. Signalons le travail, non encore publié, de Kovda, entièrement consacré aux sols fossiles enfouis dans les sédiments continentaux.

La destruction des restes animaux au cours du processus d'enfouissement fut également étudiée par beaucoup de savants. Walther estime que, de tous les restes animaux, quelques-uns seulement ont une capacité de conservation qui ne dépasse guère celle des Coraux récifaux, qui, eux-mêmes, sont détruits par l'action du ressac, aussi bien que par les processus ultérieurs de fossilisation. Wepfer (1916) formule de façon précise la relation existant entre le degré de conservation des parties calcaires du squelette des animaux marins et la vitesse de leur enfouissement. Parfois, les processus de dépôt sur le fond marin étaient tellement lents que les restes de squelettes étaient entièrement décomposés. Pour cette raison, dans certains cas, la succession de couches riches en restes fossiles à des couches azoïques ou pauvres en fossiles, peut signifier simplement l'activation de la sédimentation et non pas l'immigration d'une nouvelle faune. D'après Andree (1924) ce fait est particulièrement important pour les régions d'eaux profondes, où la faible vitesse de sédimentation conduit à une décomposition inévitable des restes solides. Pour cette raison, dans les régions eupélagiques, du nécton ne se conservent que des dents de Poissons. Malgré sa grande extension le nécronecton ne se conserve que dans les sédiments littoraux. Doccke (1923) signale que beaucoup d'animaux possédant une coquille avec une seule ouverture, comme les Gastropodes ou les Oursins, après leur mort peuvent remonter à la surface de l'eau, en raison des gaz provenant de la putréfaction de leurs parties molles. Ainsi, emportés au loin, ils peuvent se trouver éliminés de la composition de la faune enfouie. Après décomposition du corps de l'animal, les coquilles de Nautiloïdés et d'Ammonoïdés, remplies de gaz, surnagent et sont emportées à des distances considérables et forment des accumulations en dehors du milieu d'habitat.

On peut citer un nombre considérable d'exemples de ce genre. Tous, d'une manière ou d'une autre, éclairent les conditions d'enfouissement des restes organiques au cours des processus de sédimentation.

Weigelt (1927a) a défini une section spéciale de la paléontologie -de la stratigraphie- la biostratonomie; s'occupant de l'analyse des lois de la répartition des restes organiques dans les roches.

La tendance paléocécologique en paléontologie est d'une grande importance pour la connaissance des conditions d'enfouissement dans les sédiments marins; c'est principalement Hecker (1941, 1948a, 1948b, 1948c) qui, en URSS, orienta, avec succès, la paléontologie dans cette voie. Les travaux de Hecker et de ses collaborateurs, consacrés à l'étude détaillée de la répartition des faunes d'Invertébrés marins du Dévonien de la plate-forme russe et du Paléogène de la dépression du Fergana suivant les faciès et les horizons stratigraphiques, fournissent une base réelle, très importante pour l'analyse des lois d'enfouissement dans les sédiments marins. L'étude du lac jurassique de Kara-Taou concerne déjà directement les sédiments continentaux.

Au cours des 20 dernières années ont paru des travaux de recherche plus importants, spécialement consacrés à des questions d'enfouissement des animaux fossiles. Parmi ces travaux on peut citer: la "Fossilisation" de Deceke (1923), représentant un résumé de toutes les données connues sur la fossilisation des restes organiques. Malgré une large utilisation des faits publiés, les questions fondamentales de la fossilisation sont encore très loin d'être résolues dans l'ouvrage de Deceke. Il ne donne pas même une méthode permettant des recherches ultérieures. Wepfer (1923) a publié une monographie consacrée à l'enfouissement des gros Stégocéphales-Mastodonsaurus dans les niveaux bariolés d'Allemagne. Cet ouvrage renferme beaucoup d'éléments d'étude taphonomique. Wepfer y démontre l'accumulation des restes de Mastodonsaurus à la suite de destructions massives périodiques, dans des régions de sédimentation de deltas et de lagunes, loin de leur région d'habitat normal. Dans son ouvrage Wepfer utilise les méthodes de la pétrographie sédimentaire, des constructions paléogéographiques et de la paléoclimatologie. L'analyse comparée des faits observés au cours de l'étude des gisements, ne peut se faire sans tenir compte des observations faites sur des exemples d'enfouissement actuel. De telles observations ont été rapportées, dans des articles peu importants, par des biologistes ou des paléontologistes et relatives à des cas isolés de destruction ou d'enfouissement d'animaux actuels. Abel (1935) ayant réuni toutes les observations effectuées ou publiées antérieurement a écrit un important ouvrage sur les "traces fossiles de vie", qu'il a découvertes dans une étude détaillée des strates. Weigelt (1927a) a consacré tout un ouvrage à la question des découvertes de cadavres de Vertébrés actuels, aux causes de destructions massives et à la signification paléontologique des observations ainsi effectuées, mais malheureusement l'auteur n'a pas su tirer des lois quelque peu générales. Richter (1928) a défini une discipline scientifique indépendante -l'actuopaléontologie, séparant l'étude de l'enfouissement actuel des animaux de la paléobiologie. Il établit ainsi une coupure entre l'enfouissement actuel et l'enfouissement au cours des périodes géologiques, ce qui fait que l'actuopaléontologie apparaît comme une section détachée de toute base historique, c'est-à-dire de la paléontologie proprement dite. Englobant un grand nombre de questions de la biologie des formes actuelles, l'actuopaléontologie a le défaut de ne pas s'occuper de l'analyse comparée des processus d'enfouissement actuels et passés.

L'étude des gisements au cours des fouilles de Vertébrés disparus, commencé en Russie par Amalitzkii, fut continuée avec succès

par les savants soviétiques.

Après avoir écrit un certain nombre d'articles sur les processus d'enfouissement des plus anciens Vertébrés terrestres (1933, 1935, 1936, 1939), Efremov (1940) a fait une étude critique de l'actuopaléontologie et créa une nouvelle branche de la paléontologie - la taphonomie.

Le bilan des apports conjugués des géologues et des paléontologistes à la connaissance des processus d'enfouissement serait incomplet si on ne signalait pas les travaux des biologistes qui s'occupent d'une branche de l'écologie d'un intérêt considérable pour la taphonomie - la dynamique des faunes actuelles (Elton, 1927, 1931; Nicholson, 1933). Il est vrai que dans la majorité des cas ces travaux se limitent à enregistrer des observations souvent contradictoires, de caractère épisodique; d'autre part, comme on ne possède pas encore une méthode d'étude comparée, ces observations ne peuvent pas servir directement à la taphonomie. Cependant, l'étude de la faune, de la densité de peuplement de divers biotopes, la connaissance du caractère des destructions et du nombre d'individus disparus (travaux effectués par d'importants centres d'étude), tous ces sujets conduisent incontestablement à l'accumulation de données extrêmement utiles à la connaissance des lois d'enfouissement. Au titre de premier ^{essai} de généralisation et de systématisation de ces données citons l'ouvrage de S.A. Severtzov (1941), où la dynamique des peuplements est analysée du point de vue de la biologie évolutive. Il ne reste plus qu'un pas à faire pour passer à l'application directe des observations actuelles à la taphonomie.

Dans l'étude des processus d'enfouissement, la définition des lois fondamentales des processus d'enfouissement actuel offre les plus grandes difficultés. Pour cela il faudrait regrouper des observations faites sur la dynamique des populations, sur les destructions individuelles et massives, sur la dispersion des restes d'animaux et des observations faites sur les processus actuels de sédimentation, on un même lieu donné. Dans ce sens il n'y a encore presque rien de fait. La taphonomie est beaucoup plus avancée en ce qui concerne l'enfouissement au cours des époques géologiques. On possède en effet sur ce phénomène déjà une importante quantité de données. Pour l'enfouissement actuel, au contraire, on doit se contenter de faits isolés, souvent contradictoires. Le développement de la tendance biologique dans les recherches taphonomiques est la condition essentielles d'un progrès futur de la taphonomie.

Chapitre II

REVUE DES PRINCIPAUX GISEMENTS DE VERTEBRES TERRESTRES ET DES TYPES DE DECOUVERTES DE FLORES DU PALEOZOIQUE

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, le niveau de nos connaissances des gisements est très bas en raison de la négligence étonnante manifestée vis-à-vis de ces importants documents que fournissent les annales géologiques. On ne possède pas, ou presque pas, d'observations, par exemple, sur la répartition et le degré de conservation des restes dans les roches encaissantes de la majorité des plus importants gisements.

L'étude géologique et lithologique des niveaux ossifères est faite indépendamment de l'étude des gisements eux-mêmes. Pour cette raison, les données résultant des recherches géologiques souvent ne peuvent pas être rattachées aux gisements. Il est encore plus difficile d'associer les données lithologiques connues aux roches directement ossifères, car, par un curieux phénomène, ce sont précisément ces dernières qui n'ont jamais été étudiées du point de vue lithologique. Les géologues ont sans doute estimé que les couches ossifères sont suffisamment bien définies par les restes organiques qu'elles renferment et ils se sont plus particulièrement occupés des couches "azoïques".

La situation est un peu meilleure en ce qui concerne les gisements de végétaux fossiles, en raison d'accumulations industrielles de houilles. Pour le Quaternaire la situation est aussi un peu plus favorable, car, en raison des difficultés de la stratigraphie de cette époque, les savants ont été obligés de faire une étude très détaillée de ses gisements.

Pour l'ensemble de ces causes, les données accumulées sur les gisements de faciès continentaux sont fragmentaires, de valeur inégale et on ne peut pas en faire une étude comparative. Pour cette raison, encore actuellement, il est impossible de donner un bilan complet de l'analyse de tous les gisements principaux de flores et de faunes terrestres, bilan qui serait cependant nécessaire à la taphonomie.

Dans ce chapitre nous nous contenterons de donner les caractères fondamentaux des gisements les plus importants du Paléozoïque, ce qui nous permettra de définir certaines lois de la conservation des restes organiques dans les niveaux continentaux, sous une forme préliminaire, basée sur des données encore insuffisantes.

- 1- **SILURIEN.** Les plus anciens gisements de Vertébrés, connus jusqu'à présent, sont ceux de restes de Poissons cuirassés du Silurien inférieur (Ordovicien), dont il existe un petit nombre dans les régions les mieux étudiées d'Europe et d'Amérique du Nord. Sur les autres continents on ne connaît pas encore de gisements du Silurien inférieur, ce qui n'exclut pas la possibilité d'en découvrir à l'avenir. Cependant, il est certain que la répartition des gisements de Poissons du Silurien inférieur dans les séries sédimentaires des continents actuels, est insignifiante.

En Europe, des gisements du Silurien inférieur n'ont été trouvés que dans les limites de l'URSS. Ce sont les sables à glauconie de la région prébalte, où on rencontre rarement des restes à aspect de dents d'une cuirasse cutanée appartenant probablement (d'après l'avis de D.V. Obrouchtchev) à des Poissons du type des *Thelodontidés*.

Ces sables à glauconie sont considérés actuellement comme des dépôts de faciès pré-littoral d'une mer en voie de transgression.

En Amérique du Nord, on connaît des gisements plus riches. Dans les grès de Harding (Colorado) et dans les couches leur correspondant du point de vue stratigraphique et du faciès, de Big Horn, de Monks et d'Ohio City (Colorado), on rencontre des boucliers et des écailles isolées du squelette externe de très anciens poissons cuirassés: *Astraspis*, *Eryptochius* et des écailles dentiformes. Ces couches sont discordantes sur le Précambrien et sont recouvertes par des calcaires renfermant une faune d'Invertébrés marins typiques du Silurien inférieur.

A côté des restes de Poissons, la couche ossifère contient une

grande quantité d'Invertébrés marins. La couche inférieure de grès ossifères représente un dépôt littoral de la mer en voie de transgression. Au-dessus, vient une couche plus compacte de grès fortement calcaire, contenant des restes d'Invertébrés marins, des écailles de Poissons et une multitude de pistes de Vers. Encore plus haut on trouve des sables grossiers, renfermant des fragments de Poissons plus gros également cuirassés. D'une façon générale ces dépôts représentent des formations marines littorales. De l'avis de la majorité des chercheurs les restes de Poissons y furent apportés par des cours d'eau douce ou chassés hors des estuaires par des courants très puissants, ainsi que le prouvent les sables supérieurs de Harding.

Dans les horizons du Silurien surmontant l'Ordovicien on a trouvé beaucoup plus de gisements d'un caractère un peu différent.

Des accumulations assez importantes de restes de Poissons cuirassés ont été trouvés en URSS dans la région de la Baltique (lac Saaremaa), en Sibérie sur l'Ienisseï (Koureika) et, dernièrement, dans le bassin de la Kolyma. Des gisements importants sont connus en Angleterre (Ludlow, Pentland), en Norvège, au Spitzberg, en Amérique du Nord (Otisville dans la série de Niagara en Pennsylvanie; Nerepis Hill dans le New-Brunswick, etc ...)

Les couches ossifères sont assez variées et sont représentées par des schistes argileux, des calcaires, plus rarement des dolomites et même par des conglomérats. Le type des gisements anglais de Ludlow, où les restes de cuirasses de Poissons sont déposés en strates de fragments isolés, formant des "brèches" ossifères, ou des "bone-beds", est répandu. Dans les horizons plus élevés du type de Saaremaa, ou de Downton (Pentland), on rencontre des squelettes entiers et des empreintes en parfait état de conservation, prouvant l'absence de déplacement des restes après la mort des animaux et la formation des gisements directement à l'endroit même de la destruction des Poissons.

Dans presque tous les gisements, les restes de Poissons sont accompagnés d'Euryptéridés gigantesques, souvent en quantités très importantes; on y trouve aussi des pistes de Vers. A Ludlow on a trouvé des restes d'Invertébrés terrestres (des Scorpions: Palaeophonus et un Myriapode: Archidesmus). Cependant, il est intéressant de signaler qu'à de très rares exceptions près, les couches ossifères de tous ces gisements, ne contiennent pas de restes d'Invertébrés marins, bien qu'ils se trouvent en alternance avec des calcaires marins littéralement pétris de coquilles d'Invertébrés.

Dans l'île de Saaremaa, la couche ossifère est déposée entre deux couches de calcaire contenant une abondante faune marine, mais elle-même n'en renferme pas.

Les Poissons cuirassés appartiennent à des groupes différents: Géphalaspides, Ptéraspides et Anaspides, dont les restes des représentants sont souvent mélangés dans une même couche ossifère.

Les séries des couches dans lesquelles sont déposées les couches ossifères intercalaires sont des dépôts marins, très probablement assez profonds. Ainsi, le groupe des gisements anglais et norvégiens se trouve dans le domaine du géosynclinal des Grampians, tandis que les autres gisements se sont formés dans le domaine des mers épicontinentales (de plate-formes). Malgré la grande diversité de caractères des niveaux sédimentaires renfermant les gisements du Silurien supérieur, tous possèdent des caractères communs. Les faciès ossifères sont étroitement liés à des sédiments typiquement marins, mais, en même temps, par leur origine ils se rattachent aux produits apportés de loin par les mers épicontinentales. Ces sédiments pénètrent en biseau dans les

formations des régions géosynclinales, aussi bien que dans celles des régions des petites étendues marines de plates-formes. Ce fait est, en général, une preuve que les Poissons auraient leur origine en eaux douces, mais il est possible, comme nous le montrerons plus loin, de lui donner une autre interprétation.

Si nous considérons les gisements de flore du Silurien, nous voyons aussi qu'à cette époque on ne trouve pas de vrais faciès continentaux. Des restes d'une flore, très certainement terrestre et assez hautement organisée, se trouvent dans des conditions analogues à celles des gisements de restes de Poissons cuirassés, accompagnés de restes d'êtres marins; tel est, par exemple le cas du gisement de l'île de Gothland, en Suède, qui renferme *Psilophyton hedei*.

Le riche gisement de la province Victoria en Australie contient des restes de formes terrestres hautement organisées: *Barrangwanatia*, *Jarravia* et une forme du type de *Hostimolla*. Les restes de plantes sont déposés dans des schistes argileux et sablo-argileux associés à de nombreux *Graptolites* à l'intérieur du niveau marin. Le gisement s'est probablement formé dans une zone de mer assez éloignée du continent, avec apport des restes de Végétaux.

2- DEVONIEN. Dans les niveaux dévoniens nous rencontrons pour la première fois des gisements de Vertébrés terrestres. Si au cours de l'étude des gisements siluriens nous ne pouvions parler que de gisements de Poissons et de la proximité plus ou moins grande des faciès ossifères de la zone littoral-continentale, au cours du Dévonien le caractère des gisements de Vertébrés change considérablement et, en même temps, le nombre des gisements s'accroît fortement.

L'extension des dépôts ossifères renfermant des restes de Poissons devient si importante au cours du Dévonien que ces formes acquièrent une grande importance stratigraphique et, avec raison, on désigne le système dévonien comme ère des Poissons. Souvent la quantité des restes de Poissons enfouis dans les gisements dévoniens atteint une grandeur étonnante. Ainsi, dans certains horizons du Dévonien moyen et supérieur de la Plate-forme russe, de la région de Léninograd, de Pskov, de Novgorod et dans la région de la Baltique, on trouve des couches passablement puissantes, remplies de restes de boucliers de Poissons cuirassés, entassés par centaines de milliers.

Au cours du Dévonien se répandent, pour la première fois, des faciès ossifères particuliers, représentés par des grès micacés rouges et gris, des schistes sablo-argileux et, plus rarement, par des conglomérats, constituant de puissantes séries, largement étendues géographiquement, de type continental - des ourylithèmes (puissantes séries, variées dans le détail des faciès, mais déposées dans une même région géostructurale, au cours d'une même période de sédimentation). A ce type appartiennent les séries connues sous le nom de Old-Red, ou Vieux-Grès-Rouge. Ces dépôts considérés autrefois comme terrestres et même désertiques, se révèlent, d'après les toutes dernières données, comme des sédiments de lagunes, de faciès prôlittoral-marins, se situant dans le voisinage immédiat des édifices montagneux calédoniens, dans les zones en voie continue d'affaissement. Les conditions de dépôt de ces sédiments sont comparables à celles des dépressions prémontagneuses, avec cette propriété fondamentale que la région des dépressions se situe dans les limites des bassins marins, représentant une chaîne de petites lagunes, ouvertes à l'atterrissage de grosses masses de sédiments apportés à partir des continents.

si quo par des Arthrodiros (Coccostous, Dinichthys, Milostoma, etc ..); les restes d'Actinoptérygiens dits "ganofides" des genres Rhadinichthys et Actinophorus, sont rares; parfois on rencontre des restes de Crossoptérygiens et d'Heterostraci.

Les restes de Poissons sont relativement mal conservés en raison d'une sédimentation relativement plus lente et l'accumulation de grandes épaisseurs de sédiments.

On ne connaît pas d'autres accumulations importantes identiques à celles des gisements du type de l'Old-Red. Les restes se trouvent soit séparés et dispersés dans le plan de stratification des schistes, soit sous forme d'empreintes de cadavres entiers, à contours des parties molles nettement dessinés, mais où les os sont mal conservés. Dans les gisements de l'Old-Red on général les contours des parties molles ne s'observent pas.

Comme exemple on peut citer les gisements du Coblonien de la vallée du Rhin, où, à côté de restes dépareillés de Cladodontidés, de Ptéraspidés et d'Arthrodiros primitifs, on a trouvé des exemplaires parfaitement conservés de Gomundina - forme particulière d'Arthrodiro, dont d'autres représentants apparentés existent dans les couches d'Onondaga en Amérique du Nord.

Les couches fournissant les restes osseux sont souvent remplies d'Invertébrés marins, mais aussi elles contiennent fréquemment des quantités importantes de restes de plantes terrestres. Des coupes typiques montrent que les horizons ossifères sont certainement en relation avec des faciès terrigènes et qu'on peut les considérer comme formés dans la zone de bordure d'influence des eaux douces, dans la zone littorale. Ces deux types de gisements principaux, ne sont évidemment pas les seules variétés connues. Cependant, tous les autres gisements découverts, sans exception, ont un caractère intermédiaire entre les deux types fondamentaux.

Ceci se voit clairement dans la classification des gisements dévonien donnée par Romer (1935). Il distingue 4 types:

1) Gisements ou localités indiquant avec certitude une origine d'eau douce,

2) Gisements dont les caractères indiquent une origine deltaïque, ou d'estuaire et, d'une façon générale, d'eau saumâtre. Ce sont les gisements contenant de petites quantités d'Invertébrés saumâtres ou marins et, bien que la faune de Poissons se compose surtout de formes rencontrées dans des sédiments apportés par les eaux de rivières, la présence de formes marines n'apparaît pas comme impossible.

3) Gisements ayant un caractère marin évident, avec cependant quelques indices de conditions littorales. Dans ce cas la principale partie de la faune est constituée de formes marines, avec mélange insignifiant de formes d'eau douce et de formes euryhalines.

4) Gisements typiquement marins, où ont atterri de rares cadavres de formes d'eau douce.

Bien qu'erronée (nous le montrerons plus loin lors de l'étude des lois générales de l'enfouissement), cette classification montre bien l'existence de types intermédiaires. Pour l'instant signalons simplement l'erreur commise dans l'analyse des gisements de Vertébrés, et consistant à croire que le milieu de mort et le milieu d'enfouissement des animaux sont les mêmes que le milieu d'habitat.

Une autre erreur de Romer est l'introduction du premier type de gisement: dulcaquicole ou fluvial. Dans tous les cas de gisements dévonien il n'est pas un seul exemple indiquant, sans contestation possible une origine fluviale.

Des gisements de Poissons du Dévonien d'Afrique du Sud, présentant un gros intérêt, appartiennent au second type de gisements. La puissante série de Vaterberg, constituée de grès à stratification oblique, avec des traces de ressac et des conglomérats et représentant, dans une certaine mesure, un dépôt de lagunes comparables à celles du Old-Red, situées à proximité de montagnes, on bordure du géosynclinal de Sam-frau, ne fournit de restes de Poissons que dans les couches intercalaires calcaireuses, pénétrant on biseau en direction orientale, c'est-à-dire vers le géosynclinal. Les faciès sableux de cette série au contraire sont totalement dépourvus de fossiles.

Les Vertébrés terrestres apparaissent pour la première fois au cours du Dévonien supérieur. Jusqu'à présent on ne connaît que le seul gisement du Mont Celsius (Groenland oriental), si on ne tient pas compte d'un Quadrupède: Elpistostegus, trouvé au Canada, mais dont la signification est douteuse. Des restes de Vertébrés terrestres du groupe des Stégocéphales - les Ichthyostegidae, se trouvent au Groenland associés à des Poissons cuirassés dans un niveau typique des Vieux-Grès-Rouges. Il est curieux que des Quadrupèdes si anciens soient représentés par de grosses formes, comme si elles étaient apparues brusquement déjà parfaitement développées.

Les dépôts ossifères constituent une série de grès gris et rouges, avec schistes sableux subordonnés et à grains fins; cette série est pauvre en restes d'Invertébrés marins. Les os des Poissons et des Stégocéphales du Dévonien y sont dispersés dans les niveaux de grès arkosiques à grain fin et moyen (les études effectuées sur la biostratonomie de cet important gisement ne sont pas publiées).

En général les Stégocéphales sont accompagnés de formes habituelles aux gisements du type des Vieux-Grès-Rouges: Phyllolepis du groupe des Arthroires, Bothriolepis et Romigolepis du groupe des Antiarchi. Les gros Crossoptérygiens - Holoptychius etc ..., ainsi que les formes évoluées des Arthroires, sont plus rares. Les couches supérieures du niveau, appartenant peut-être déjà au Carbonifère, sont formées par des grès grossiers et, en partie, par des conglomérats. Dans les grès on rencontre, rarement, des troncs d'arbres roulés.

Ainsi, le gisement de Vertébrés terrestres dévoniens du Groenland est caractérisé par une augmentation progressive de l'importance des apports de sédiments continentaux, par, en quelque sorte, un déplacement des faciès continentaux dans une lagune typique du Old-Red. Il est probable que la présence de formes terrestres, ne se trouvant pas dans les autres gisements connus du Old-Red, est due à ces propriétés particulières.

Au cours du Dévonien, les gisements de flores terrestres acquièrent déjà une extension assez considérable et, souvent, ils se trouvent dans les niveaux mêmes qui renferment les Poissons.

Parmi les plus intéressants de ces gisements se trouve celui de Rhynie, situé dans les couches moyennes de l'Old-Red d'Ecosse. On a trouvé là un grand nombre de troncs d'arbres silicifiés, conservés jusque dans les plus petits détails de leur structure. Certains de ces troncs ont été découverts dans leur position naturelle, ce qui fait supposer que le gisement représente une partie conservée d'un marécage situé sur le bord d'une lagune dévonienne. L'existence de nombreux "troncs" entiers, d'une Algue probable - Nematophyton, ne paraît pas certaine. Les formes principales de ce gisement sont: Rhynia, Hornea et Asteroxylon.

Les autres gisements renfermant une roche flore terrestre se trouvent également dans le Old-Red, mais appartiennent au Dévonien supérieur.

Telles sont les importantes accumulations d'empreintes et de troncs contenus dans les schistes sablo-argileux de la Torre d'Ellesmere et de l'île de l'Ours.

En URSS il existe quelques gisements de plantes terrestres du Dévonien. Cependant, dans la majorité des cas ce sont des accumulations insignifiantes de restes Végétaux séparés, le plus souvent des empreintes. Telles sont les trouvailles isolées de flore dévonienne dans l'Oural, dans la région de Voronej, du Kazakhstan, et de la vallée de Minoussine. Les plantes qu'on y trouve appartiennent aux genres: *Asteroxylon*, *Psilophyton*, *Leptophloeum* et *Duisbergia*. Ils sont principalement dans des schistes argileux intercalés dans des niveaux terrigènes de grès et d'argiles, déposés dans des conditions littoralo-marines, ce qui confirme l'existence de couches intercalaires avec faunes de Brachiopodes et de Coraux.

Dans les dépôts dévoniens du bassin de Kouznoutz on observe des couches de houilles (sapromixites) formées de restes de *Psilophyton*. Ces houilles sont déposées dans une série de grès gris et rouges et de schistes argileux à strates alternant avec des calcaires. Calcaires et schistes renferment une riche faune de Brachiopodes marins.

Une flore terrestre du Dévonien supérieur existe, en URSS, dans le bassin du Donetz, dans l'Oural, dans la région de l'Ionissai et autres lieux. Les conditions de gisement de ces restes de Végétaux sont analogues à celles décrites pour la flore du Dévonien inférieur.

Dans d'autres pays des gisements de Végétaux du Dévonien supérieur existent également depuis l'Est de l'Amérique du Nord jusqu'à la Chine. Tous se distinguent par leur relation caractéristique avec des dépôts marins; bien qu'ils soient déposés dans des niveaux terrigènes. La composition de la flore du Dévonien supérieur est sensiblement plus riche que celle du Dévonien inférieur. Nous y trouvons des Fougères, des Lycopodiacees, des Equisétacées et des Ptéridospermées, dont beaucoup de formes atteignant la taille d'arbres. La flore dévonienne se caractérise par sa grande variété quand on passe d'une région à une autre éloignée.

- 3- CARBONIFERE. Pour le Carbonifère, nos renseignements sur la vie terrestre des anciens continents sont sensiblement plus importants. Si, pour les époques plus anciennes, nous sommes obligés de nous adresser aux faunes de Poissons pour juger d'une façon générale, car eux seuls sont les habitants les plus proches du continent, pour le Carbonifère nous disposons d'un matériel suffisant pour en juger d'après des Vertébrés franchement terrestres.

C'est pourquoi nous commençons réellement avec le Carbonifère, l'étude de la question que nous nous sommes posée, c'est-à-dire l'étude des gisements de Vertébrés terrestres, en laissant de côté les Poissons, puisque ce travail est consacré à la taphonomie des continents du Paléozoïque.

Le Carbonifère se caractérise par un large développement des niveaux houillers, dont les puissantes séries se trouvent sur la presque totalité de la surface du globe terrestre. D'après les conditions de leur formation ces niveaux appartiennent à deux types fondamentaux, avec, naturellement, un grand nombre de formations de transition.

D'après leur origine, les deux types fondamentaux se rattachent aux propriétés géotectoniques des régions de sédimentation des dépôts houillers.

Au premier type se rapportent les niveaux houillers paraliques, caractérisés par l'existence de couches relativement peu puissantes et très nombreuses, déposées en oolylithèmes d'une épaisseur considé-

rablo de l'ordre de quelques milliers de mètres. Les niveaux paraliques se sont déposés dans des conditions de pulsations régulières et de longue durée de l'écorce terrestre, typiques pour les régions géosynclinales.

Un autre type de niveaux houillers - les niveaux limniques, se caractérise par un petit nombre de couches de houille extrêmement puissantes, contenues dans des séries encaissantes peu épaisses. Ce sont des bassins de plates-formes, formés dans des régions d'affaissement à un rythme différent de celui des régions géosynclinales.

La majorité des importants ourylithèmes houillers du Carbonifère appartiennent au type paralique. De même, presque tous les gisements actuellement connus de Vertébrés terrestres contenus dans les niveaux houillers du Carbonifère sont déposés dans des niveaux paraliques. Comme nous le verrons plus loin, ce fait n'est pas dû au hasard.

A part les niveaux houillers, dans le Carbonifère, nous rencontrons des formations continentales en houillères, qui se sont formées dans des conditions probablement d'importantes dépressions prémontagneuses, avec accumulation de puissantes séries de sédiments rouges, souvent en liaison avec des séries effusives. A titre d'exemple citons les niveaux inférieurs non productifs du bassin de Kouznetz, la série de sables et conglomérats de la vallée de Minoussine, les niveaux analogues du Kazakhstan du N.E. et de la steppe Kirghiz, la section inférieure de la série de Talchir aux Indes, les grès du Zambèze (Afrique), les conglomérats de Postville aux Etats-Unis, etc ...

Cependant, jusqu'à présent, dans aucune formation analogue on n'a trouvé de gisements de Vertébrés terrestres. Ceci est dû, en partie, à la mauvaise connaissance des niveaux continentaux non productifs, beaucoup moins étudiés que les niveaux houillers qui sont eux soumis à l'exploitation.

A part les dépôts houillers, nous connaissons encore des gisements de Quadrupèdes anciens dans un type de dépôts qui connaît, au cours du Carbonifère, une large extension, ce sont les formations glaciaires, les tillites des continents de l'hémisphère sud, se rapportant déjà à la fin du Carbonifère.

Dans les autres faciès on n'a pas trouvé de restes de Vertébrés terrestres.

Les gisements de Vertébrés terrestres du Carbonifère inférieur sont très rares et possèdent une extension géographique insignifiante. Il est curieux que, géographiquement, ils se rattachent précisément aux régions de bordure du continent montagnoux calédonien de l'Erie dans lesquelles, au cours du Dévonien, se sont déposés de puissants niveaux du faciès particulier des Vieux-Grès-Rouges et où fut découvert le premier et unique gisement de Vertébrés terrestres dévoniens. A l'exception d'un gisement récemment découvert aux Etats-Unis, la faune de Vertébrés terrestres du Carbonifère inférieur ne se rencontre que dans les niveaux houillers d'Ecosse et d'Angloterre du Nord (bassins du Northumberland, du Cumberland et les régions du N.E. du Staffordshire). Les niveaux houillers de type paralique, au début de leur dépôt, semblent reproduire, dans une certaine mesure, le type de sédimentation dévonien. Dans leur extension les sédiments se rapportent aux mêmes régions de lagunes des Vieux-Grès-Rouges.

Les horizons inférieurs sont caractérisés par des couches intercalaires de roches rouges, par la présence de gypse et de sel et par une couverture de roches effusives. Il est intéressant de signaler également la présence, dans certaines couches, d'empreintes de gouttes de pluie, démontrant l'assèchement périodique des bassins. Les faciès

houillers sont concentrés dans les horizons supérieurs (schistes bitumineux du Mid-Lothian) qui, vers le Nord, sont remplacés par des grès tandis que, vers le Sud et l'Ouest, ils disparaissent rapidement en biseau, s'étendant uniquement vers l'Est où ils passent sous le fond de la mer.

Les régions houillères étant bien connues, il n'est pas nécessaire de donner une description détaillée (en Maison avec des gisements) des niveaux contenant des Vertébrés de cette époque.

Les gisements du Carbonifère inférieur, comme d'ailleurs la majorité des gisements du Carbonifère supérieur, constituent des lentilles presque jamais situées directement dans les couches de houille elles-mêmes, mais toujours dans le toit ou dans le mur. De même, les roches ossifères ne sont pas, en général, constituées de houilles pures, ou de schistes bitumineux, mais renferment toujours des quantités appréciables de composants argileux, carbonatés et ferrugineux.

Dans d'autres cas, les restes de Quadrupèdes se trouvent dans des "chonaux" particuliers - les "canon-sandstones", remplis de sédiments argilo-sableux; ces lentilles ou rubans recoupent les couches houillères. Dans ces gisements les restes de Quadrupèdes sont conservés au mieux et sont accompagnés de coquilles de Mollusques d'eau douce et plus rarement de restes d'Insectes, de Myriapodes, d'Arachnides.

D'après la répartition des gisements dans les faciès houillers, on peut conclure que les conditions de sédimentation des houilles elles-mêmes sont défavorables à la conservation des restes animaux. Il faut d'autres conditions d'accumulation pour que les restes d'animaux puissent se fossiliser et donner des gisements. Ces autres conditions se trouvent réalisées dans les lentilles ossifères, représentant de petits lacs ou de grandes marais, dans lesquels les composés de calcium et de fer neutralisent l'acidité destructrice des eaux, qui est caractéristique des sédiments donnant la houille. En parfait accord avec cette hypothèse nous remarquons que les restes végétaux en bon état de conservation se rencontrent uniquement dans ces conditions. Les "chonaux", ou plus exactement les longues lentilles ou rubans, contenant les restes de Vertébrés, se rapportant, par leur origine, à des ruisseaux temporaires d'eau douce, inondant le domaine de formation de houille et situé probablement dans le voisinage immédiat de deltas. Dans ces conditions, les restes des animaux étaient enfouis dans des sédiments compacts, baignés d'eau douce, non acide.

Les gisements du Carbonifère inférieur d'Ecosse et d'Angleterre du Nord sont caractérisés par leur dépôt sous forme de lentilles plates de schistes houillers, contenant des concrétions d'hématite noire (black-band). Comme nous l'avons déjà signalé pour Ichthyostega du Dévonien, au cours du Carbonifère inférieur apparaissent brusquement de grosses formes, souvent très spécialisées de Stégocéphales ombolomères (Loxomma, Pholidogaster, Spathiocophalus, etc...). Les restes sont enfouis par squelettes entiers, ou par ensembles de parties en connexion du squelette, associés à des restes de gros Poissons du groupe des Crossoptérygiens. Plus rarement on rencontre des restes isolés de Selachii (Watson, 1926).

Dans l'un des gisements on a trouvé un fémur d'un assez gros Reptile, appartenant probablement au groupe des Cotylosauriens, seul représentant connu de cette classe dans le Carbonifère inférieur.

Malheureusement, nous avons trop peu de données sur ces anciens gisements, d'autant plus qu'aucune observation n'a été faite sur les conditions de dépôt des restes. Les découvertes ont été faites dans d'anciens puits, et même, pour deux cas, dans des travaux situés au fond de la mer.

L'exploitation des puits est terminée depuis longtemps, les données remontent aux parages de 1880. Ainsi, à part la petite quantité de restes récoltés accidentellement, nous n'avons rien d'autre d'une faune tellement intéressante et si ancienne de Vertébrés terrestres. Nous observons des rapports tout à fait identiques pour presque tous les gisements du Carbonifère qui furent découverts au cours de l'exploitation d'anciens puits et qui constituent, comme nous l'avons dit plus haut, la majorité. Cette impossibilité d'accès à presque tous les gisements du Carbonifère est tragique, d'autant plus que par un curieux concours de circonstances, malgré une exploitation énergique des gisements houillers dans divers pays, jusqu'à présent on n'a pas fait de nouvelles découvertes de gisements de Tétrapodes du Carbonifère. Il ne nous reste qu'à espérer de nouvelles découvertes, ou que la recherche dans le futur, mieux armée, puisse ouvrir de nouveau les anciens puits abandonnés pour étudier les gisements et entreprendre des fouilles nouvelles.

À part les gisements anglais, des restes de faunes de Vertébrés terrestres du Carbonifère inférieur ne furent encore trouvés qu'en un seul point des Etats-Unis, au voisinage de Hinton, en Virginie occidentale. Le niveau Mississippien affleurant dans cette région est constitué par des schistes gréseux rouges, tout à fait analogues aux couches rouges typiques de la base du Permien, qui, aux Etats-Unis, renferment d'abondantes faunes de Vertébrés terrestres. Ainsi, le gisement de Hinton est d'un intérêt particulier, car les couches anciennes du Carbonifère sont ici représentées par des faciès d'un caractère tout à fait différent de ceux des gisements habituels. Ces restes de Vertébrés terrestres sont totalement séparés les uns des autres, fragmentaires et en assez mauvais état de conservation. Le matériel est en cours de préparation et on n'a pas de renseignements précis sur la composition de la faune. Y figurent probablement des restes de gros Labyrinthodontes embolomères du type des Anthracosauridés, mais il y a aussi des animaux de petite taille, des formes probablement tout à fait nouvelles et dont la position systématique n'est pas encore définie.

La découverte du gisement de Hinton nous permet d'espérer de nouvelles trouvailles de restes de Vertébrés terrestres en dehors des faciès houillers.

Dans le Carbonifère supérieur la faune de Vertébrés terrestres se trouve dans les niveaux houillers en des points et des pays nombreux.

En Angleterre, en Ecosse, en Irlande, on connaît des gisements de gros Stégocéphales embolomères dans le Staffordshire, dans le Lancashire, dans le Northumberland, à Derbham.

Le gisement irlandais bien connu de Kilkenny diffère un peu des gisements anglais, appartenant au type de ceux du Carbonifère inférieur décrit plus haut. Ici, dans la région houillère de Leinster, au toit de la couche principale a été découverte une vaste lentille plate de schistes houillers, remplie de restes de petits Stégocéphales du groupe des Neotridia et des formes à aspect de Serpents, avec des restes plus rares et dépareillés de gros Labyrinthodontes embolomères. Ce gisement s'est formé dans un lac d'eau douce, situé dans un marécage du Carbonifère, progressivement envahi par le limon fluvial, constituant le côté surplombant du gisement, sous forme de strates d'argile et de grès d'une épaisseur pouvant atteindre 6 m.

Si nous passons à l'étude de la caractéristique générale des niveaux houillers anglais, en examinant les gisements carbonifères de Vertébrés terrestres, nous devons signaler que toute la région de dévelop-

pement des niveaux houillers se trouve dans le domaine de l'avant-pays du plissement hercynien (armoricain). Le puissant horizon de "grès à meules" séparant le Carbonifère inférieur du supérieur se révèle, d'après les toutes dernières recherches, lié par des passages de faciès à divers horizons de sédiments houillers et, d'autre part, son épaisseur diminue considérablement vers l'Ouest. Il est probable que toute la couche de "grès à meules" est une formation deltaïque d'un flouve considérable, descendant du N.E. de la région du bouclier cristallin de l'Erié. C'est dans l'embouchure gigantesque de ce delta, qui antérieurement était un golfe marin avec des lagunes de bordure des Vieux-Grès-Rouges, que s'est produite l'accumulation des niveaux houillers, sous l'influence de l'orogénèse hercynienne. Avec le développement ultérieur des sédiments, une colossale dépression alluviale s'y est développée avec une topographie marécageuse du Carbonifère supérieur. Dans ces conditions les possibilités de formation de gisements étaient considérablement plus grandes que celles qui existaient au cours du Carbonifère inférieur, par suite de l'extension de petits lacs d'eau douce et de l'abondance de la faune de Vertébrés terrestres.

Dans des horizons isolés on rencontre des couches intercalaires de roches rouges prouvant l'existence de districts désertiques, ayant fait leur apparition, dans le passé, sur cette immense plaine. Par leur âge les gisements anglais se rapportent au Namurien et au Westphalien.

Tous les autres gisements importants de Tétrapodes carbonifères d'Europe sont déposés dans des niveaux houillers plus récents, se rapportant à la fin du Carbonifère, passant déjà, en partie, au Permien, les conditions de dépôt étant déjà, parfois, celles du Permien. Ces sédiments houillers du Massif central en France, de la dépression de la Sarre, du Massif de Bohême, représentent des dépôts de bassins séparés, formés dans des dépressions isolées, sur la plaine aplatie du plateau du Carbonifère inférieur. Ces dépressions des monts varisques ont une origine tectonique; elles sont disposées sur les marges des massifs cristallins, à la limite des blocs sédimentaires, représentant des régions d'enfoncement continu. Les profondeurs initiales relatives de ces dépressions ne dépassaient pas 400-600 m. et l'enfoncement ultérieur se faisait par dépression isostatique.

Dans le bassin d'Autun en France, au-dessus de la série d'Igornay épaisse de 400 m. composée de grès et de schistes, contenant une flore du Stéphanien, est déposée la série de Muse, avec alternance de faisceaux houillers, de grès rouges et de schistes argileux. Dans le toit de la principale couche houillère est intercalée une couche mince, mais constante de schiste argileux à grain très fin, contenant de nombreux squelettes complets de petits Stégocéphales, souvent à aspect de serpentiforme (*Dolichosoma*, *Branchiosaurus*, *Sauravus*) associés à des Poissons ganoides d'eau douce. Plus rarement on rencontre des restes séparés de *Scelachii*, d'*Acanthodii*, des Esthériens et des Mollusques d'eau douce. Au-dessus de cette série d'âge carbonifère est déposée la série de Millery, appartenant déjà au Permien et atteignant une épaisseur de 500 m environ, comprenant essentiellement des grès avec couches intercalaires de marnes, de calcaires et de bog-head. Dans les grès il y a beaucoup de troncs d'arbres silicifiés. Dans le toit des couches houillères on trouve des lentilles de schistes ferrugineux et charbonneux, n'ayant pas plus de 200-300 m d'extension horizontale et 1 m d'épaisseur. Dans ces schistes on a rencontré des squelettes isolés de gros Stégocéphales, des Archégosauridés représentant un groupe de Labyrinthodontes typiques d'eau douce,

peuplant des bassins aquatiques assez importants. Les squelettes des Stégocéphales se rencontrent assez rarement; souvent on trouve des restes de Ganoïdes et de Crustacés d'eau douce.

Dans le bassin de la Sarre, au-dessus de la puissante série houillère d'Ottweiler atteignant 2000 m d'épaisseur, est déposé le niveau de Kusel d'environ 1500 m de puissance. Les gisements de Vertébrés sont concentrés dans deux horizons de la section inférieure et de la section supérieure de ce niveau. Dans la section inférieure, au-dessus de la série des grès et argiles rouges est déposée la série d'Alten-gland, composée de roches grises - schistes et grès argileux, avec de fines couches intercalaires de marnes calcaires. Dans les grès on trouve rarement des accumulations isolées de restes de gros Stégocéphales, des os isolés de Poissons et des Mollusques d'eau douce - Anthracosidés (Kukuk, 1938).

Dans la section supérieure des couches de Kusel, dans l'horizon le plus inférieur d'Odenbach, déposé directement au-dessus des grès rouges de Vanweg, sont développées des argiles schisteuses grises, contenant de petites couches intercalaires de houille et des lentilles de calcaire bitumineux.

Dans les schistes argileux contenant un mélange de débris houillers on rencontre des couches intercalaires entièrement remplies de petits Stégocéphales. On trouve ensemble des individus d'âges très différents, y compris des larves de ces Amphibiens. L'épaisseur des couches intercalaires ossifères est insignifiante et ne dépasse pas 10 m, mais souvent ces couches ont une extension en surface considérable. Ces couches se terminent par une série de grès rouges d'une épaisseur assez importante.

Ces gisements se trouvent plus haut que les couches d'Ottweiler, considérées comme appartenant au Stéphanien et sont recouverts du niveau de Lebach, qui appartient déjà au Permien. Le niveau de Lebach se compose de grès micacés rouges, plus rarement de conglomérats dans les horizons inférieurs et d'argiles noirs finement stratifiés dans leur partie supérieure. Les argiles noirs contiennent des couches intercalaires de concrétions d'hématite argileuse, dans lesquelles on rencontre des squelettes entiers de gros Stégocéphales - Archégosauridés. Les couches intercalaires fossilifères, de quelques mètres seulement d'épaisseur, sont concentrées dans les parties les plus élevées du niveau. Dans ces couches on a trouvé des squelettes d'une centaine d'individus d'un même genre, aussi bien des exemplaires adultes que des larves. A côté des Stégocéphales on trouve des Ganoïdes et des Selachii.

Le niveau de Lebach a une épaisseur maxima de 300 m, dont 15 m seulement reviennent à la couche ossifère à proprement parler; il est recouvert d'un niveau d'arkoses et de conglomérats bigarrés, contenant des couches intercalaires d'argiles schisteuses et une grande quantité de troncs d'arbres silicifiés. L'épaisseur du niveau atteint 100 m.

Les gisements des bassins houillers tchécoslovaques sont les plus importants de tous ceux vus jusqu'à présent.

Dans un niveau de 1000 m environ on distingue nettement deux horizons de roches grises, contenant des teneurs industrielles de houilles et séparés par des roches rouges sans houille, formées de grès arkosiques et de schistes. Parfois la principale couche houillère inférieure est directement déposée au-dessus de la surface de dénudation ancienne plissée (relief datant du Carbonifère supérieur). L'épaisseur et la relation des horizons varient en conséquence.

L'horizon houiller inférieur - les couches de Kladno et de Plzeň, ne contient pas de restes de Vertébrés et, d'après sa flore, doit être rapporté au Westphalien supérieur. Au-dessus viennent des schistes siliceux, des argiles schisteuses rouges et le second horizon houiller - les couches de Radnic du Stéphanion inférieur. Dans les deux importants bassins de Plzeň et de Kladno, ces deux horizons ne contiennent pas de restes de Vertébrés. Ils se sont rassemblés dans des fossés allongés dans le sens N.E.-S.W. On trouve au-dessus l'horizon houiller de Nirán, ou horizon de houille à gaz, qui est, soit déposé en concordance au-dessus de l'horizon supérieur de Radnic, soit (dans les espaces compris entre les fossés) directement transgressif sur l'Algonkion. Dans l'horizon de Nirán, dans les puits de la région de Nirán, les schistes argilo-houillers bitumineux situés directement au-dessus de la principale couche houillère, contiennent un grand nombre de restes de Vertébrés. Cet horizon ossifère, épais de 0,60 m a une faible extension. Ainsi, tandis que les horizons inférieurs des deux bassins se sont déposés isolément, les horizons supérieurs réunissent Plzeň et Kladno et appartiennent à une même région de sédimentation.

Dans chacun des bassins, les couches de Radnic, dans la section supérieure desquelles est déposé l'horizon de Nirán, sont représentées par des grès houillers gris, par des argiles et des schistes argileux, qui vers le haut passent à des roches rouges (couches de Teinic), des schistes sableux, des grès arkosiques contenant des couches intercalaires de sphérosidérites et des troncs silicifiés d'arbres Araucarioïdes. Ces roches, d'une épaisseur totale de 660 m, montrent l'existence d'une érosion énergique dans les élévations voisines, d'où sont venus les restes d'arbres appartenant à une flore de type montagnard (Purkyne, 1902).

La phase de sédimentation des roches rouges est remplacée par le dépôt des couches de Kunow - série de schistes gris foncé, d'environ 150 m. d'épaisseur, avec deux couches houillères: la couche inférieure à la base et la couche supérieure formant le tiers supérieur. La série est déposée dans des conditions de vaste dépression plate, marécageuse, contenant un certain nombre de lacs. Les couches de Kunow sont recouvertes d'une série peu épaisse de roches rouges d'âge permien, montrant un retour aux anciennes conditions de sédimentation.

Les principaux gisements de Vertébrés terrestres se trouvent dans les régions de Nirán et de Kunow, non loin de Prague. Ici, les horizons de houille à gaz de Nirán et de Kunow, dans des puits exploités vers le milieu du siècle passé, ont été mis à jour. Dans une couche houillère inférieure de l'horizon de Kunow est déposée une épaisseur de 0,30 m de "schwart" - schiste houiller bitumineux, rempli de restes de Stégocéphales et de Poissons. Plus tard on a constaté que ce même horizon ossifère se retrouve aussi à Kladno, dans le "sillon de Boscovič". Ainsi, dans le toit de l'horizon houiller inférieur de Kunow, le schiste houiller ossifère jouit d'une extension assez large et contient certainement des restes de milliers d'individus.

Il est extrêmement curieux que par deux fois (dans l'horizon de Nirán et dans celui plus jeune de Kunow) le dépôt de schistes ossifères coïncide avec la fin du dépôt des couches de houille et le début du dépôt du faisceau de schistes fortement gréseux. Il faut penser que l'accumulation des restes animaux coïncide avec les périodes de réchauffement appréciable de la plaine marécageuse (transgression de la couche houillère sur les bassins environnants) et atteint son maximum aux périodes de changement de régime de sédimentation et d'en-

fouissement de la végétation dans les masses de sédiments sablo-limoneux. Les Stégocéphales sont enterrés dans les schistes de Niran et dans le "schwart" de Kunow, sous forme, en général, de squelettes complets, aplatis suivant le plan de stratification. Souvent les accumulations de restes forment une mince couche continue. Les os sont en mauvais état de conservation, car ils sont partiellement transformés en houille et ils ont été altérés, mais en même temps des empreintes des parties molles du corps sont conservées. Les restes de Poissons sont rares et fortement dissociés. Très rarement on trouve des restes fragmentaires de Reptiles. La composition de la faune des gisements de Tchécoslovaquie est identique à celle des gisements de France et de la Sarre, que nous avons déjà vus, mais de toutes ces faunes celle des gisements de Tchécoslovaquie est la plus complète. Parmi les Poissons on a déterminé un genre d'Acanthodii, 4 genres de Selachii, 1 genre de Dipneustes, 1 genre de gros Crossoptérygiens (Megalichthys) et 3 genres d'Actinopterygii. Les Stégocéphales sont représentés par 9 genres avec 12 espèces et appartiennent principalement à de petites formes peuplant les marécages boisés: les Nectridia et les Phyllospondyli. Ces petites formes sont enterrées en quantités massives, les individus adultes étant mêlés aux larves. Une partie assez importante des restes enfouis se rapporte à des larves de Labyrinthodontes plus gros, dont les formes adultes se rencontrent dans les gisements très rarement, toujours sous forme de restes dissociés (Macromerion, Onchiodon).

Les restes de Reptiles appartiennent soit à de petites formes à aspect de Cotylosauriens (Niran), soit à des Pelycosauriens assez gros (dans le gisement plus récent de Kunow) apparentés aux Edaphosauriens du Permien inférieur provenant des couches rouges du Texas; ces restes sont fortement altérés et dissociés.

D'une façon générale, dans les gisements tchécoslovaques de Vertébrés terrestres on peut distinguer deux périodes de formation d'importantes accumulations de restes d'animaux, séparées par une période de dépôt de sédiments d'eaux courantes, avec apport de matériel clastique grossier. La première période se manifeste par le dépôt de schistes ossifères de Niran, qui s'accumule pendant une assez large durée d'inondation de la plaine marécageuse; se transformant en vastes étendues aquatiques. A ce moment ont pullulé des larves de Stégocéphales, attirant des petits carnassiers du type des Nectridia, prenant des aspects de Salamandres, de Serpents et de Tritons. Les gros Labyrinthodontes se déplaçaient plus facilement d'un lac à l'autre et pour cette raison ils dépendaient beaucoup moins étroitement des changements du régime aquatique et se trouvaient moins souvent enfouis. Dans la faune de Niran nous observons des formes sensiblement spécialisées (Arsitopodes à aspect de Serpents), ou montrant des tendances adaptatives difficilement explicables (Acanthostoma, Microbrachis, Memnonomene), ce qui est l'indication d'une longue évolution antérieure, dont le résultat final seul nous est connu. Et en effet, au cours de la seconde période d'enfouissement des gisements tchécoslovaques (Kunow, selon de Boskovic) nous trouvons des restes d'une faune identique, comprenant un petit nombre de formes et possédant déjà quelques éléments permien. Le caractère de la couche ossifère parle en faveur du dépôt d'une couche de "schwart" ossifère ayant duré moins longtemps et d'une plus grande extension des districts inondés dans la région de sédimentation. Il faut penser que le lion existant entre la formation des schistes ossifères et la fin de la sédimentation houillère, répété deux fois dans la même série, n'est pas un fait du hasard, mais qu'il reflète

des lois définies de l'accumulation des restes animaux, aussi bien que de leur conservation.

Laissant de côté les cas de trouvailles isolées et incomplètes, on peut dire que, jusqu'à présent, on ne connaît pas en Europe, ni en Asie, d'autres gisements de Vertébrés terrestres du Carbonifère. Est surtout très curieuse l'absence de gisements dans les vastes niveaux houillers de faciès variés et activement exploités dans notre Union soviétique. L'étude future des lois d'enfouissement de la faune carbonifère éclaircira, il faut l'espérer, ce mystère.

En ce qui concerne les gisements que nous venons d'étudier, il faut faire une distinction entre les gisements anglais et les autres gisements d'Europe. Tandis que les gisements d'Angleterre se sont formés dans des faciès typiques de forêts carbonifères, dans des régions pré littorales, sur la bordure d'un immense delta et renferment principalement une faune de gros Labyrinthodontidés primitifs, reproduisant le caractère réel de la faune des Amphibiens dans les conditions de littoral boisé du Carbonifère, les gisements de Franco, de Sarre et de Tchécoslovaquie, appartiennent à un autre type. Par suite de leur plus jeune âge et de leur disposition dans des dépressions intra-continentalles, les gisements appartiennent aux conditions d'une fin de sédimentation houillère, à l'intérieur de continents, tôt remplacée par le dépôt des sédiments rouges du Permien inférieur. Les régions d'enfouissement de la faune se rapportent à des oasis isolées de forêts houillères ayant survécu dans des étendues déprimées marécageuses de plaines. Les étapes primitives de l'épirogénèse permienne ont conditionné les arrêts de dépôt des faciès houillers, coïncidant avec l'enfouissement massif des animaux, par suite de la régression brusque des conditions de marécage de leur habitat. La faune contenue dans les couches houillères porte un caractère particulier et se compose surtout de petites formes - populations de marcs et de lacs situés à l'intérieur des massifs boisés carbonifères, avec aussi des larves et alevins, également nombreux dans les marcs de régions boisées et subissant de rapides destructions en raison des variations brusques du régime des conditions physico-géographiques.

Les gisements carbonifères d'Amérique du Nord présentent une grande analogie de composition faunistique avec ceux d'Europe centrale, mais les conditions de leur dépôt ont un caractère intermédiaire entre les gisements du centre de l'Europe et ceux d'Angleterre. Les gisements d'Amérique du Nord appartiennent au Grand Bassin des Etats du Centre et au bassin du géosynclinal des Appalaches, dans lesquels sont développés des niveaux très puissants constitués de sédiments houillers et marins en alternance. Tous les gisements appartiennent au Pennsylvanien, ce qui correspond au Westphalien et au Stéphanien d'Europe.

Sans nous arrêter à des trouvailles isolées, étudions quatre des principaux gisements d'Amérique du Nord.

L'un des plus intéressants, découvert non au cours de travaux souterrains, mais en affleurement (et par conséquent toujours accessible) est celui de Mason-Creek, près de Morrisville dans l'Illinois.

Ici, un petit ruisseau met en affleurement la série des schistes rougeâtres et gris, d'une puissance d'environ 20 m. Cette série représente l'horizon de couverture de la principale couche de houille N° 2 dans le niveau houiller exploité. Par son âge ce niveau appartient aux niveaux inférieurs du Pennsylvanien productif (formation d'Allegheny). Dans les schistes, sur les deux rives et sur le fond de la rivière, on trouve une multitude de concrétions d'hématite

argileuse et siliceuse, contenant des restes de plantes et d'animaux. En général, les concrétions contiennent des frondes de Fougères, mais on rencontre aussi des restes de Mollusques d'eau douce, de Crustacés, de Myriapodes, de Scorpions, d'Araignées, de Blattes, de Poissons et de Stégocéphales.

D'après les données des récoltes de plusieurs années (30 ans de collection) la composition des concrétions, suivant les formes qu'elles renferment, est soumise à la loi suivante:

Sur 100.000 concrétions on en trouve 20.000 vides ou ne contenant que des particules organiques insignifiantes et indéterminables, 68.500 avec des Végétaux, 7.500 avec des Insectes; des Crustacés, des Scorpions ou d'autres Arthropodes, 3.900 doivent renfermer des coprolithes, de Poissons et leurs écailles, 95 peuvent contenir des restes de Poissons, 4 des Mollusques et une seulement renferme un squelette, ou fragment de squelette de Stégocéphale. D'après les données d'autres chercheurs, 100.000 représentent un nombre beaucoup trop petit pour servir de base de calcul. On rencontrerait une concrétion contenant des restes de Stégocéphales sur 500.000 concrétions vides ou contenant d'autres restes. Ainsi, pour le gisement de Mason-Creek, nous avons pour la première fois un calcul même approché de la fréquence relative des restes de Vertébrés terrestres. Ces valeurs montrent clairement la rareté extrême de ces restes. Quoiqu'il en soit, les millions de concrétions ouvertes par les chercheurs ont fourni une faune variée de petits Stégocéphales. Chaque concrétion ayant les dimensions d'une grosse pomme-de-terre contient, soit un squelette entier de Stégocéphale, soit une partie importante de celui-ci (fig.1). Dans la série des schistes on distingue deux horizons de concrétions: l'horizon supérieur de 2 m d'épaisseur et l'horizon inférieur, moins puissant, séparés du précédent par un faisceau de schistes ne contenant pas de concrétions. Dans l'horizon supérieur on rencontre souvent des restes d'Insectes, dans l'horizon inférieur, surtout des Végétaux. Il y a des districts contenant des variétés de concrétions siliceuses, gris-bleu, contenant principalement des frondes de Fougères.

Les restes d'Amphibiens appartiennent à 5 genres avec 8 espèces; toutes les petites formes ayant les dimensions d'un petit Triton, sont, soit des représentants des Nectridia et des Branchiosauriens, soit des larves de certains gros Stégocéphales. Une forme (*Micobatrachus*) est un prédécesseur primitif des Amphibiens anoures (fig.1). Dans l'ensemble l'état de conservation des os est meilleur que dans les schistes houillers. Certains échantillons se distinguent par une conservation étonnante, montrant des empreintes des plis de la peau, les parties cartilagineuses du squelette et les moulages des organes internes (estomac, foie) (fig.2). Les restes de Poissons, sous forme d'écailles, dents et ichthyodolulithes, appartiennent à des *Solachii* archaïques (*Otenacanthus*), à des *Crossoptérygiens*, à des *Dipneustes* et à des *Palaeoniscoidés* - en tout 11 genres avec 16 espèces. Les *Labyrinthodontes* plus gros ne sont représentés, en tout, que par un os. Ainsi, le gisement de Mason-Creek comprend un matériel à assortiment particulier, constitué uniquement par des petits fragments de Végétaux, des restes d'Arthropodes et des écailles et dents de Poissons, à côté de petits Amphibiens qui, pour la plupart, sont des individus non adultes et des larves. Il faut supposer que le gisement s'est formé dans une mare importante, où se sont accumulés des Insectes et beaucoup de feuilles de Végétaux. Cette mare aurait été peuplée de petits Amphibiens à aspect de Tritons et de leurs larves, tous s'étant trouvés enterrés dans le sédiment limoneux lorsque la concentration en composés du fer se

trouvait importante autour des restes organiques, ce qui explique la parfaite conservation des fossiles.

Le gisement de Linton a fourni la plus grande quantité de restes de Vertébrés terrestres carbonifères aux Etats-Unis. Le gisement fut découvert dans un ancien puits houiller, qui est recouvert depuis longtemps et actuellement son emplacement exact est même ignoré. En tout cas, le puits fait partie des anciennes exploitations de la rive du fleuve Ohio, près de la station de Yellow Creek sur le chemin de fer de Pennsylvanie. Une partie des échantillons, rapportée à la faune de Linton provient d'un autre gisement situé à proximité de Wollsville, à 2,5 miles de Linton, où les affleurements de houille se trouvent le long de la route.

Dans le gisement de Linton on a trouvé une vaste lentille mince de cannel-coal et de schistes houillers sous-jacente à l'épaisse couche de houille "cubique" (N° 6 d'après la notation de l'Ohio). Dans le plan de stratification, entre la couche intercalaire de schiste houiller et le cannel-coal, les Stégocéphales se rencontrent sous forme de squelettes complets, d'empreintes ou d'os entiers, les Poissons principalement sont à l'état de restes dissociés (écailles, dents, colonnes vertébrales). L'état de conservation des os est mauvais, beaucoup moins bon qu'à Mason-Creek. Les os sont fortement transformés en charbon, il y a souvent remplacement de leur substance par un produit houiller, ce qui est dû à l'enfouissement dans une masse de débris végétaux, contenant peu de particules minérales et de sels.

Le gisement de Linton rappelle de près les bassins houillers tchécoslovaques de Niran et celui de Kilkenny en Irlande, par le caractère du dépôt des restes animaux, leur état de conservation et la composition faunistique. Tous ces gisements ^{sont} du même type de genèse et plus ou moins synchrones. Linton est intéressant par le fait que la couche ossifère est déposée à la base de la couche houillère et non pas dans le toit, comme cela s'observe souvent. Par conséquent, à Linton on a le processus inverse, c'est-à-dire, non pas une inondation ultérieure d'un marécage houiller, mais une transformation en marécage et ensablement d'un petit lac peuplé d'Amphibiens et de Poissons. Le nombre élevé des restes de larves d'Amphibiens prouve que les petites formes de marécage peuplaient en permanence la région de ce lac. Parallèlement au développement du processus géologique, la fossilisation des restes de Linton s'est faite presque sans la participation de composants minéraux, car l'apport de matériaux dans le lac transformé en marécage s'est arrêté et la quantité d'eau a diminué.

Au début dans la faune enfouie dans le bassin de Linton, on comptait 20 espèces de Poissons et 51 espèces d'Amphibiens. Une étude ultérieure de cette faune a fait baisser considérablement ces chiffres. On a déterminé 5 genres et 5 espèces de Poissons (Selachii, Crossoptérygiens et Palaeoniscidés), 2 genres de gros Labyrinthodontes ombolomèpes du groupe des Loxommidés, 6 genres de Neotridia, qui sont de petites formes à aspect de Salamandres (il y a aussi des formes à aspect de Serpents comme à Niran et à Kilkenny), 5 genres de Branchiosauriens avec 7 espèces. Les autres petites formes, au nombre de 4; sont probablement des larves de Labyrinthodontes plus gros. Le gisement de Linton a donné en tout 150 échantillons assez complets, ce qui, compte tenu de la superficie exploitée, relativement faible, prouve un gisement assez riche. Par l'âge le gisement de Linton correspond à la section supérieure de l'horizon d'Alloghany, c'est-à-dire à des couches de transition entre le Westphalien et le Stéphanien.

Le troisième gisement important de faune carbonifère de Tétrapodes aux Etats-Unis est le plus intéressant par le mode de gisement de la faune, à l'intérieur des cavités médullaires des troncs de Sigillaires, qui, dans la roche, ont conservé leur position naturelle. Le gisement, connu sous le nom de gisement de Joggins du Sud de Nouvelle-Ecosse, est en même temps le plus ancien de ceux du Carbonifère supérieur des Etats-Unis.

Le gisement de Joggins fut découvert dans les affleurements du niveau houiller du littoral du golfe de même nom et au cap "charbonneux". On a trouvé quelques échantillons dans les mines de houille d'Albion dans le district de Pikshow, mais ces derniers proviennent d'un horizon quelque peu plus élevé.

La série affleurant ici est constituée principalement d'argiles et de schistes argileux, en stratification alternée avec des houilles et des schistes houillers. A quelques mètres au-dessus du sable littoral, dans l'escarpement du cap charbonneux passe une couche de grès compact, à grains fins, épaisse de 7 m, contenant de petites lentilles isolées d'argile calcaireuse. A la fin du siècle dernier on a trouvé dans cette couche des troncs silicifiés de Sigillaires, en position verticale ou inclinées suivant un angle de 20°. Ces troncs représentent une partie de la longueur totale d'arbres, c'est-à-dire des sections de troncs de 5 à 10 m de hauteur. Pour la plupart les racines ne se sont pas conservées, car les parties inférieures des souches sortent des grès et pénètrent dans l'argile sous-jacente, dans laquelle les conditions n'étaient probablement pas favorables à la conservation du bois de ces souches.

Le type de conservation des troncs est intéressant, étant donné qu'il montre très bien la relation existant entre la conservation des restes organiques et le caractère des roches et le processus de lithogénèse se produisant dans ces roches. Il n'y a pas de doute que si les troncs de Sigillaires n'étaient pas situés dans les sédiments gréseux, mais se trouvaient entièrement dans l'argile, rien ne se serait conservé et de très intéressants documents paléontologiques seraient définitivement perdus. Cela montre que souvent la signification du sédiment dans l'état de conservation des fossiles n'est pas toujours apprécié à sa juste valeur.

La partie interne du bois des troncs de Sigillaires est constituée par une masse tendre se détruisant facilement. La partie centrale (axiale) de chaque tronc possède une structure un peu plus solide. La couche périphérique, formée de cellules allongées et l'écorce externe des Sigillaires sont extrêmement résistantes et ne se détruisent pas. Ainsi, les troncs dressés, partiellement enfouis dans les sédiments et coupés probablement au niveau de l'eau, se sont transformés en cylindres creux, ouverts du côté supérieur, servant de pièges naturels pour les habitants de la forêt carbonifère. Les troncs creux sont restés ouverts pendant un temps assez long, car une assez grande quantité de restes de Vertébrés terrestres a pu s'y accumuler. Les extrémités supérieures des troncs d'arbres enfouis sous quelques mètres de sédiments, étaient probablement ramchées ensuite au niveau de la surface de l'étang et entourées d'une nouvelle couche de végétation. Dans la cavité de ces troncs d'arbres se sont accumulés les habitants du marécage, fixés sur le fond de la cavité médullaire, à une profondeur de 3 m de la surface. Dans certains troncs d'arbres on a trouvé des coprolithes et des traces de reptation et de griffures. Les animaux devaient vivre pendant un certain temps dans leur prison sous-aquatique et tenter de trouver une sortie. Les plus gros animaux dévoraient les plus petits et tombaient dans le piège en même temps qu'eux.

La découverte de ces formations remarquables a pu se faire grâce à la rapide destruction des escarpements élevés de Joggins sous l'action de la mer, étant donné que les cylindres silicifiés des Sigillaires étaient beaucoup plus résistants que le grès, et, ainsi, les troncs se détachaient nettement sur la roche encaissante. De plus, dans les éboulis ils formaient des amas qui attiraient l'attention des chercheurs. Des affleurements et des éboulis on a extrait environ 50 troncs. Plus de 20 d'entre-eux montrent une accumulation de restes de Vertébrés terrestres, qui furent extraits et préparés avec soin. Malgré l'érosion énergique des escarpements de Joggins, qui encore maintenant continue, on n'a pas fait de nouvelles découvertes de tels troncs d'arbres. Il semble que les chercheurs de la fin du siècle passé ont trouvé la dernière phase d'érosion du gisement par les actions littorales et la forêt de Sigillaires si curieusement conservée est entièrement détruite aujourd'hui.

Les troncs creux de Sigillaires contenant des restes de Vertébrés subirent de nouveau et assez tôt une nouvelle inondation, qui apporta de grandes quantités de sable et de limon. Le marécage s'est trouvé recouvert par une couche de sédiment, remplissant en même temps les troncs creux. Par la suite le dépôt des sédiments clastiques s'est prolongé pendant une période très longue et le bocage ancien de Sigillaires s'est trouvé sous un épais niveau d'argiles et de grès.

Dans son ensemble, la série de Joggins atteint plus de 1000 m. de puissance et par son âge elle correspond à la base de la formation d'Alleghany, ou même à la section supérieure de Pottsville. Elle contient une flore westphalienne typique.

Dans les anciennes descriptions les restes d'Amphibiens étaient répartis en 10 genres et 17 espèces. Une nouvelle étude des anciens matériaux a réduit ces chiffres et a permis de préciser les déterminations. La plus grande partie des restes appartient à un Labyrinthodontidé assez gros, Dendroropon, qui, à la différence de la majorité des petites formes des forêts du Carbonifère, est une forme de caractère plus terrestre. Ceci est en relation directe avec le caractère général d'enfouissement du gisement de Joggins. D'autres formes décrites comme indépendantes se sont révélées être des individus plus jeunes de ce même Dendroropon. D'autre part on a trouvé des formes de Neotridia, appartenant également à un groupe possédant des caractères plus terrestres (Hylonomidae), se rencontrant rarement dans d'autres gisements. L'état de conservation des os est nettement supérieur à celui habituellement observé dans les schistes houillers. Les restes n'ont pas été aplatis dans le plan de stratification, phénomène typique et inévitable pour les roches schisteuses, qui sont les roches ossifères pour beaucoup de gisements du Carbonifère. Les restes trouvés dans le gisement voisin de Piskow appartiennent à un gros Labyrinthodontidé du type Baphetes, répandu dans les gisements anglais.

Les autres gisements carbonifères des Etats-Unis contiennent de petites quantités de restes et sont mal étudiés. De ces gisements le plus intéressant est celui de Cannellton, dans le district de Biber en Pennsylvanie. Ici, les restes des animaux se trouvent dans une mince couche de schistes houillers, formant le toit de la couche moyenne de houille de Kittering. A côté des rares restes de petits Neotridia on trouve dans les schistes des Végétaux, des Insectes, des Crustacés et des Poissons. Il est intéressant de signaler la découverte dans ces schistes d'Euryptéridés, mais cette découverte doit être vérifiée. Dans le gisement de Cannellton nous observons le même faciès

d'enfouissement peu profond des feuilles, des Insectes et de petits Amphibiens qu'à Mason-Creek, mais il n'y a pas formation de concrétions ferrugineuses. Il faut également signaler que les horizons de schistes argileux se rencontrent dans d'autres séries, également du Carbonifère supérieur des Etats-Unis, comme, par exemple, à Rock-Creek près de Manon et le district de Douglas au Kansas. Dans les schistes argileux on trouve une multitude de petites concrétions d'hématite argileuse, comme à Mason-Creek, contenant des restes de Végétaux, d'Insectes, d'Arachnides et de Crustacés. Il n'a pas été trouvé de restes de Vertébrés, mais étant donné leur rareté à Mason-Creek, on peut encore espérer en trouver. D'une façon générale, l'enfouissement dans des concrétions ferrugineuses paraît très répandu au cours du Carbonifère (Blackbands des gisements anglais), ce qui est probablement en relation directe avec la conservation des restes organiques dans les eaux acides des faciès contenant de la houille. Il faut tenir compte de ce fait au cours des recherches de faune entreprise en URSS, l'absence de cette faune dans nos énormes bassins houillers étant étonnante.

Dans la section supérieure des niveaux houillers carbonifères on observe une transformation fréquente des faciès houillers en horizons rouges dans le sens horizontal, s'entremêlant étroitement avec les couches houillères et avec les faciès environnants. Les niveaux rouges, connus sous le nom local de "Red beds", contiennent un grand nombre de gisements de Vertébrés terrestres. Nous observons un tableau analogue dans les gisements européens où les niveaux houillers les plus récents alternent avec des faciès rouges qui ensuite les recouvrent. Ces faciès sont du type du Permien inférieur. Ceci montre l'existence entre la sédimentation houillère carbonifère et les niveaux rouges permien inférieurs d'un lien plus étroit qu'on ne le suppose en général, lorsqu'on sépare de façon trop schématique le Carbonifère du Permien inférieur pour la commodité stratigraphique. Cependant la question des relations réelles des faciès houillers du Carbonifère supérieur et des couches rouges du Permien inférieur sort du cadre de ce travail. Pour cette raison nous étudierons les gisements de faciès rouges dans le chapitre du Permien. Remarquons simplement que dans certains cas il y a possibilité de synchronisme de différentes séries houillères du "Carbonifère typique" avec des couches "rouges typiquement permiennes" qui sont des variétés de la sédimentation carbonifère. La découverte de faciès rouges tout à fait identiques aux couches rouges permiennes dans le Mississipien (Hinton) confirme cette hypothèse.

En raison de l'absence de gisements carbonifères de Vertébrés terrestres dans d'autres pays, il ne nous reste qu'à étudier les trouvailles de Vertébrés continentaux - les Reptiles aquatiques - provenant des couches supérieures du Carbonifère supérieur des continents de l'hémisphère Sud. Il est certain que ces dépôts sont très près de la limite inférieure du Permien et, dans certains cas, comme par exemple en Amérique du Sud, ils se rapportent aux couches de base du système Permien. Pour cette raison nous laisserons l'étude des gisements de l'hémisphère sud dans le chapitre suivant et nous considérerons maintenant les caractères généraux des gisements de flores carbonifères.

Les niveaux houillers du Carbonifère, dont nous venons de voir les couches ossifères, sont des gisements considérables de restes végétaux. Cependant, dans la plupart des cas, les restes contenus dans les couches de houille, sont à tel point modifiés que pour obtenir des fossiles en bon état de conservation et complets, on doit les rechercher

dans les couches moins riches en substances organiques, dans lesquelles les conditions sont plus favorables à la fossilisation. Dans la plupart des cas ce sont des faciès schisteux argileux, des concrétions ferrugineuses et des calcaires. A part les dépôts riches en houilles, les restes végétaux se trouvent aussi, pendant le Carbonifère, dans d'autres faciès continentaux et souvent ces restes sont en bon état de conservation. Dans la plupart des cas ce sont des dépôts des mêmes bassins houillers, mais ils se distinguent par l'absence de couches de houilles; il y a passage latéral ou vertical à celles-ci. En URSS on connaît des gisements de la flore du Carbonifère inférieur qui sont beaucoup plus rares que ceux du Carbonifère supérieur. Parmi ces gisements citons les principaux: le bassin de la banlieue de Moscou (état de conservation parfait des restes dans les schistes-carton de Tovarkov, etc...), le versant oriental de l'Oural, les Mougodjar, beaucoup de gisements de la steppe Kirghize et du Kazakhstan oriental, gisements de la vallée de Minoussine etc... En dehors de l'Union soviétique, le plus grand nombre de gisements de végétaux du Carbonifère inférieur se trouve dans la région arctique (Groenland, île de l'Ours, Spitzberg), ainsi que dans les anciens bassins houillers d'Ecosse, d'Angleterre et de France. Plus au Sud, dans le voisinage de l'extrême N.-E. d'Afrique, on connaît le seul gisement du Sinaï.

L'extension des gisements de végétaux du Carbonifère supérieur est beaucoup plus importante et comprend, à part l'Union soviétique, l'Europe occidentale et les Etats-Unis, presque toute l'Asie-Silésie, Chine, Indo, Indochine et les îles de la Sonde; l'Amérique du Sud, l'Australie et l'Afrique (dans ces trois derniers continents on trouve des gisements isolés du Carbonifère inférieur, ainsi qu'au Pérou, en Bolivie, en Nouvelle-Galles du Sud et en Afrique du Sud). La flore du Carbonifère inférieur se caractérise par son uniformité frappante dans tous les gisements, même ceux qui sont éloignés géographiquement les uns des autres. Ceci se trouve, pour une part, en relation directe avec l'uniformité des faciès qui leur correspondent au Carbonifère inférieur. Ce sont des dépôts de plaines littorales, étroitement liées à la mer, ce qui se manifeste par leur entremêlement constant avec les faciès marins et par la présence de couches intercalaires contenant des Invertébrés marins typiques, même à l'intérieur des couches de houille. Les gisements du Carbonifère supérieur et, surtout, ceux qui sont intermédiaires entre le Carbonifère et le Permien, se distinguent par une plus grande diversité de flores, par une zonalité climatique, par l'apparition de zones de faciès xérophytiques. Sur les continents du Sud, par suite du développement d'une glaciation importante au cours du Carbonifère moyen et supérieur, il y a, à la fin du Carbonifère un développement de flore particulière, du type de Gondwana. Cette flore était considérée comme spéciale à l'hémisphère sud et était opposée à la flore tropicale à Lépidodendron du Carbonifère supérieur de l'hémisphère Nord. Mais des recherches ultérieures ont montré l'existence, dans les continents du Sud, de faciès de marécages de plaines du type tropical. Dans ces dépôts il a été trouvé une flore typique à Lépidodendrons. Telles sont les trouvailles dans les dépôts glaciaires du Carbonifère supérieur du Brésil, celles de Bolivie et du Pérou, les trouvailles de Subsigillaires d'Afrique du Sud. De même, en Union soviétique, on a trouvé des flores complètes de climat tempéré, qui deviennent même dominantes pour le Carbonifère supérieur

et le Permien inférieur. De ce point de vue, les travaux de A.N. Krich- tofovitch (1941), sont très intéressants. Il explique l'extension des diverses flores en Sibérie et définit la prédominance de certains types de végétation dans les gisements. Krichtofovitch signale le vaste développement de forêts de Cordaïtes, ayant constitué la "taïga" antar- ctique du Gondwana et une "taïga" identique en Sibérie. Cependant, cet- to analogie avec la "taïga" ne peut pas être regardée comme totale, car, d'après les conditions de gisement des restes de Cordaïtes, ces Végé- taux devaient se développer dans de vastes plaines, plus élevées cepen- dant que les plaines des forêts carbonifères de l'hémisphère Nord.

Une propriété caractéristique de la flore de beaucoup de gisements carbonifères (comme d'ailleurs de toute flore fossile) est que dans un même gisement donné, toutes les plantes ne se conservent jamais entières. Dans les minces couches de sédiments argileux se conservent, en général, les feuilles, mais non pas les troncs et les branches. Les rameaux fins, les fruits, les bourgeons se conservent bien dans les roches calcaires, tandis que les troncs et les grosses branches se trouvent principalement dans les grès. Dans ce dernier cas l'autochtonie des végétaux fossiles est très rare; presque toujours il s'agit de "poutres" ayant subi un transport assez prolongé. Une telle répartition des restes Végétaux dans les gisements rend les recherches extrêmement difficiles, car la recons- titution de la plante entière est laborieuse. Dans un gisement, la répartition des restes végétaux dépend et de la conservation en prédomi- nance de telles ou telles parties des plantes dans un sédiment donné et de leur répartition dans le bassin de sédimentation. Dans les couches de houille du bassin d'Autun on connaît des couches intercalaires entière- ment constituées de feuilles de Cordaïtes, accumulées comme la couche de fouilles qu'on observe actuellement dans nos forêts à fouilles caduques. Dans les bassins d'eau douce situés à l'intérieur des forêts carbonifè- res se sont également conservées de préférence les fouilles et les fron- des qui, tombant dans l'eau, se sont enfouies dans les sédiments, tandis que les troncs eux-mêmes n'ont pas laissé de traces.

Dans les niveaux rouges du sommet du Carbonifère et du début du Per- mien la plus grande partie des restes de Végétaux est représentée par des troncs silicifiés, en général absents dans les autres faciès. Les parties plus petites des plantes se conservent, en général, dans les grès, seulement lorsque ce sont des plantes xérophytes, avec un épiderme dur. En accord complet avec ce que nous venons de dire, nous observons l'ap- parition des formes xérophytes dans les faciès rouges du sommet du Car- bonifère. En général, un tel changement de la flore dans les gisements est considéré comme réel, d'autant plus que le caractère des faciès sem- ble confirmer cette prédominance des formes xérophytes. Pour cette rai- son, souvent la découverte dans ces horizons de faciès d'un autre type, dans lesquels on trouve une végétation de marécages forestiers carboni- fères, conduit à une incompréhension. Si on tient compte des propriétés de répartition des diverses parties des plantes dans les gisements de végétaux, la découverte de troncs déracinés dans les grès, ne renfer- mant pas d'autres restes de plantes, ne prouve pas l'absence de végéta- tion dans la région considérée.

Par rapport aux gisements de flore terrestre dévonienne, les gise- ments carbonifères montrent un passage continu à des faciès de plus en plus continentaux, s'éloignant de plus en plus des sédiments marins. Le lien avec la sédimentation marine, si étroit au Dévonien, l'est enco- re plus pour le Carbonifère inférieur, mais il devient quelque peu moins évident au cours du Carbonifère supérieur. Nous trouvons alors des ni- veaux houillers déposés en dehors de toute relation avec le littoral ma- rin.

De plus, au cours du Carbonifère, nous rencontrons, pour la première fois, des gisements de plantes réellement autochtones. On connaît des trouvailles de troncs d'arbres en position naturelle (Joggins), on a découvert des régions avec paléosol carbonifère où souches et systèmes racinaires sont conservés en place (fig.3) (parc fossile de Glasgow).

Il faut cependant remarquer que tous les cas de découverte de tels districts de sol en place se rapportent à des régions de marécages inondés et que ces "sols" sont des terrains sous-aquatiques.

Parallèlement aux gisements de plantes, au cours du Carbonifère, nous rencontrons pour la première fois des pistes de Vertébrés terrestres, qui servent également de preuves d'autochtonie pour la faune correspondante de Tétrapodes.

La plus ancienne trace de patte de Vertébré terrestre, se rapportant peut-être au Dévonien, est le *Thinopus* (fig.4). C'est l'empreinte d'un assez gros pied, dans les grès argileux de la formation de Chemung en Pennsylvanie (Etats-Unis). Dans le plan de stratification de la couche il y a des traces d'ondulations, des fissures dans le limon et des traces de gouttes de pluie. Dans les autres couches du même horizon on trouve beaucoup de restes de Végétaux terrestres, mais aussi des Invertébrés marins. Une coquille de ces derniers (*Nuculana*) fut trouvée sur la dalle même d'où provient l'empreinte de patte.

Dans les couches de la base de la formation de Hinton (Mississippi) correspondant à une série bigarrée de roches continentales - schistes argileux et grès à grains fins - dans le plan de stratification des grès fins on a observé 22 pistes d'un animal (*Dromopus*), alignées suivant une ligne droite et correspondant probablement à des animaux bipèdes. Le degré d'organisation poussé que prouvent ces traces est étonnant. Il devait s'agir de Reptiles assez gros. Dans cette même couche on rencontre des restes de Végétaux terrestres (Woodie, 1916).

Dans le Carbonifère supérieur on trouve toute une série de pistes de Vertébrés terrestres. La partie la plus importante on est trouvée aux Etats-Unis, mais on connaît aussi des pistes carbonifères en Europe occidentale. Partout ces traces se trouvent dans le plan de stratification de roches compactes (non schisteuses), à grain fin, déposées dans des faciès d'eau peu profonde, sur le littoral marin, rarement lacustre. Les pistes sont accompagnées de crevasse de dessiccation, de rides, de pistes de Vers, plus rarement par quelques coquilles d'Invertébrés marins ou par quelques empreintes végétales.

Ces pistes ne se trouvent jamais dans les gisements de Vertébrés terrestres et si on les observe dans les mêmes séries elles sont toujours dans des couches différentes. Il faut signaler que la majorité des empreintes connues semblent appartenir à des formes beaucoup plus hautement organisées que la faune de Tétrapodes déjà observée dans les mêmes horizons. Ces pistes du Carbonifère rappellent plutôt des "Lézards", des Dinosauriens, que des Stégocéphales, avec leurs membres lourds et maladroits.

4- PERMIEN. Avant de passer à l'étude des gisements eux-mêmes, il nous faut donner un bref aperçu de la tendance générale de variation des conditions physico-géographiques sur la surface du globe terrestre à la fin du Carbonifère et au début du Permien.

Plus haut nous avons déjà parlé du passage progressif de la sédimentation observée dans les horizons supérieurs du Carbonifère, vers un type permien, aussi bien en Amérique du Nord qu'en Europe. Cette transformation, se manifestant par le remplacement des niveaux de houilles par des faciès de type rouge, annonce d'importantes variations physico-géographiques. La transformation du climat tropical humide du Carbonifère en un climat chaud et sec coïncide avec d'importants mouvements épirogéniques dans les régions d'orogénèse hercynienne; ces mouvements épirogéniques provoquent l'élévation des anciens districts géosynclinaux, les disloquant par endroits en blocs isolés, affaissés ou surélevés. Dès le dépôt d'épais niveaux continentaux et la réduction considérable des faciès houillers, une érosion intense des élévations commence.

Sur les continents de l'hémisphère Sud - Amérique du Sud, Afrique, Australie, Antarctique et Indes, qui constituaient l'ancien continent gigantesque de Gondwana, les conditions sont totalement différentes. Approximativement vers le milieu du Carbonifère, ou au début du Carbonifère supérieur, se développe une glaciation qui, si on en juge d'après l'extension des dépôts morainiques et des tillites, devait s'étendre sur une superficie considérable. Souvent les dépôts de tillites atteignent des épaisseurs considérables. La stratification en alternance de tillites et de dépôts marins, observée partout, est très caractéristique. Les dépôts glaciaires sont recouverts d'une épaisse série de sédiments continentaux, appartenant au Permien et qui, progressivement, passent au Trias. Cette énorme formation, dite système de Gondwana, représente un cycle unique de sédimentation de dépôts liés les uns aux autres de façon continue. Les sédiments de Gondwana sont déposés dans des conditions de climat humide et tempéré, à l'inverse du Permien de l'hémisphère Nord. Ce n'est qu'à la fin du développement du système de Gondwana, au cours du Trias, qu'on constate l'apparition d'indices d'un climat sec et chaud. Les sections inférieures du système de Gondwana sont productives. On trouve des couches appréciables de charbons du Carbonifère supérieur en Australie en Nouvelle-Galles du Sud, où ils sont déposés sur des sédiments marins à blocs erratiques; on en connaît également au Pérou et dans la série de Talchir aux Indes (dans ses parties inférieures).

Des séries houillères permienes se rencontrent dans le système de Gondwana d'Afrique du Sud (série d'Ecca), au Tanganyika (Ruhuhu), en Australie, à Bornéo, aux Indes (couches de Karcharbar).

Certaines séries permienes de l'Union soviétique sont également productives, comme par exemple les dépôts du bassin de la Tounghouska et, en partie, le bassin de Kouznetz, où la série de Konderlyk dans le Kazakhstan du N.-E. présente une grande analogie avec les dépôts de Gondwana. Les dépôts houillers du Permien inférieur ne contiennent pas de gisements de Vertébrés terrestres. Dans les limites de l'Union soviétique les dépôts continentaux du Permien inférieur appartiennent, soit à des faciès houillers (Sibérie), soit à des faciès de laguns particuliers, avec prédominance de sédiments chimiques (Oural). Pour cette raison, jusqu'à présent on n'a pas trouvé, chez nous, de restes complets de Vertébrés terrestres du Permien inférieur. Cependant, avec les progrès de nos connaissances géologiques, parmi les dépôts du Permien inférieur de l'URSS on découvre de plus en plus des faciès favorables à l'enfouissement de Vertébrés terrestres et il est certain que la découverte de gisements du Permien inférieur en URSS est une question qui trouvera sa solution dans un proche avenir. Par exemple une étude détaillée des formations houillères dans le Nord du Préourel a montré

la présence de séries intermédiaires du Kounghourien, renfermant des restes de Quadrupèdes anciens, encore non étudiés. (SSR de Komis, bassin de la riv. Inta) (N.d.T.: voir Konjoukova E.D. - 1953, D.A.N., t. 89, n°4, p.723). Les immenses massifs des niveaux continentaux du Permien inférieur de Sibérie et du Kazakhstan oriental constituent des réserves encore intactes, dont l'étude conduira à des découvertes intéressantes.

On doit commencer l'étude des principaux gisements de Vertébrés terrestres du Permien par celle des formations les plus anciennes - les couches rouges (Red Beds) d'Amérique du Nord.

Comme nous l'avons déjà rappelé plus haut, il y a un lien étroit entre les niveaux houillers du Carbonifère supérieur et les couches rouges du Permien inférieur des Etats-Unis, représentés de la façon la plus complète au Texas, au Kansas, au New Mexico, et dans l'Oklahoma.

Les faciès houillers des bassins des Appalaches se transforment progressivement en couches rouges lorsqu'on descend vers le Sud, en semblant avec des sédiments marins. Le littoral méridional de ces bassins se distingue par la disparition des séries houillères et l'apparition de couches intercalaires marines; leur place étant entièrement occupée par des roches rouges; ils renferment par endroits des dépôts extrêmement épais de gypse et de sel marin, comme par exemple le dôme salin d'El-Paso, ayant une étendue d'environ 1500 km et une largeur de 150 km.

Les nombreux forages effectués pour le pétrole se trouvant dans la région d'extension des couches rouges, ont fourni, ces derniers temps, des données intéressantes sur les caractères des gisements et sur les relations de cette formation (Keyes, 1937). A la lumière de ces données les couches rouges apparaissent comme des dépôts formés dans une longue chaîne de lagunes pré-littorales d'une immense zone récifale (récifs-barrières), du côté maritime de laquelle se sont déposés les sédiments calcaires typiques. Les chaînes de récifs-barrières se sont déplacées, dans les horizons successifs, en fonction des mouvements tectoniques ayant conditionné les variations des conditions de faciès. De l'autre côté de ces récifs, se sont déposées les Couches rouges lagunaires, représentant un eurylithème de schistes argileux, de grès rouges, de rares couches calcaires, de dolomites, de gypse et de sel. Les couches rouges montrent dans leur faciès un entremêlement de sédiments deltaïques et lagunaires sur une grande longueur et sur des largeurs dépassant 100 km. Une propriété caractéristique de l'eurylithème des couches rouges est son étendue considérable dans une région de sédimentation basse, mais on même temps parfaitement séparée par les remparts de récifs.

Dans les couches rouges on a trouvé un grand nombre de gisements de Vertébrés terrestres, ayant fourni un matériel abondant relatif à la faune de cette curieuse formation. Environ 60 gisements sont répartis dans divers horizons et dans des roches différentes, principalement dans les niveaux ossifères de Wichita et de Clear-Fork. Malheureusement tous ces gisements sont très mal étudiés; dans la majorité des cas on ne connaît pas la biostratonomie et les caractères lithologiques des couches ossifères. Ces restes de Vertébrés terrestres sont presque toujours associés à des restes de Poissons; ils se trouvent dans des lentilles de roches fossilifères, souvent répandues à des niveaux stratigraphiques différents et, si on les reporte sur un plan horizontal, elles se disposent comme taches (Gase, 1915).

Le type d'enfouissement des restes d'animaux, celui que l'on rencontre le plus fréquemment, est celui qui s'est fait dans des schistes argileux ou dans des concrétions d'hématite argileuse ou de grès argileux (plus rarement). Les accumulations de fragments d'os formant des "bone-beds" sont plus rares et se sont formées probablement sur le littoral de lagunes. Les cas d'enfouissement d'os isolés dans des couches de grès sont encore plus rares; on en connaît des exemples dans les horizons supérieurs (Clear-Fork). En général on trouve des squelettes entiers ou des parties de squelettes d'Amphibiens ou de gros Reptiles. Les os sont solides, bien conservés, mais recouverts de concrétions d'hématite difficiles à enlever. Une déformation posthume des os est très répandue, probablement en raison de la très grande compaction des limons au cours de la diagenèse. Les restes de Poissons sont toujours dissociés et, le plus souvent, on trouve des dents, des écailles, des ichthyodorolithes, plus rarement des parties de squelette.

Dans les gisements de Couches rouges sont répandus des gisements d'Amphibiens sous forme d'accumulations massives d'individus du même âge et des mêmes dimensions. Dans les couches de Wichita on a trouvé des lentilles entièrement remplies de squelettes de gros Stégocéphales-Diplocaulus (fig.5). Le gisement, récemment découvert, du Stégocéphale Trimerorhachis (pl.I, fig.1) comprenant plusieurs squelettes rassemblés dans un même plan de stratification formé de dalles solides de grès argileux est analogue au gisement que nous venons de décrire ci-dessus. Tous les individus enfouis possèdent sensiblement la même dimension. Les deux genres de Stégocéphales-Trimerorhachis et Diplocaulus, sont des formes aquatiques. L'enfouissement de Lysorophus dans la série de Clear Fork est encore plus caractéristique. Il s'agit d'un Amphibien aquatique, ayant un corps serpentiforme et qui est probablement voisin des Urodèles. Ces petits animaux se trouvent en masses dans des dépressions en forme de poches dans des couches sablo-argileuses, remplies dans certains cas d'un limon très fin et dans d'autres cas de grès. Dans ces poches de 1-2 m de diamètre (on en trouve aussi de plus petites) on a des squelettes complets de Lysorophus en telles quantités que ces poches sont dites "à Lysorophus". A côté des restes de Lysorophus on trouve des restes de différents Stégocéphales, de Poissons et, rarement, de Batrachosauria. Ces poches représentaient vraisemblablement des affaissements remplis d'eau sur le fond d'un lac ou d'un bras de delta temporairement desséchés, où s'accumulaient, puis périssaient, des animaux qui se trouvaient enfouis sous un nouvel envahissement par les eaux et un nouvel apport de sédiments. Dans les couches rouges ces poches représentent les gisements des plus proches des faciès dans lesquels vivaient ces animaux. Toutes les autres accumulations de restes se sont formées par apport de cadavres d'animaux, provenant de régions probablement très éloignées.

On connaît un peu mieux les gisements de Vertébrés terrestres de la série rouge de l'Illinois, qui est étroitement liée aux niveaux houillers et même entièrement rapportée au Pennsylvanien, ce qui, d'après l'analyse comparée de leur faune et de la faune du Texas, est faux.

Olson donne le bilan et la caractéristique des faciès de l'Illinois. Dans la majorité des cas tous les gisements possèdent un seul horizon ossifère, représenté par des schistes rouges et gris tachetés. Souvent les os et les dents sont associées à des roches rouges et eux-mêmes sont fortement colorés en rouge. D'autres os sont contenus dans une roche grise concrétionnée. Les schistes rouges habituels contiennent une microfaune comprenant quelques genres d'Ostracodes, des Conodontes et de petits piquants d'Echinodermes. Ces roches sont très certainement d'origine marine, tandis que d'autres, tout à fait analogues aux précé-

dentes, ne contiennent pas de microfaune, mais possèdent des couches intercalaires avec des restes de formes terrestres et sont probablement d'origine continentale.

Les coupes typiques des gisements de l'Illinois sont très semblables à celles de la série d'Arroyo dans la série de Clear-Fork au Texas. A la base on a une couche calcaire de 0,50 m d'épaisseur environ contenant des Invertébrés marins, au-dessus viennent des schistes gris sablo-argileux azoïques, puis des schistes rouges, des schistes gris-verdâtres et, enfin, une couche de grès. Les faisceaux de schistes rouges varient par suite de la présence dans divers gisements de cannel sandstones, de couches de conglomérats à petits galets, de lentilles de sable et de sables éoliens. En général, le caractère continental de la sédimentation ne dure pas et rapidement il est remplacé par des conditions marines, avec dépôt de calcaires. Dans le gisement de Oak-Wood ce changement s'observe deux fois sur une coupe de 10 m d'épaisseur. Dans les couches d'Arroyo au Texas de grandes superficies sont totalement dépourvues de fossiles; ces derniers se trouvent en général dans des poches.

Les grès dits "cannel sandstones" furent probablement déposés par des eaux courantes. Il est difficile de savoir si ces canaux proviennent d'un lessivage par inondation de la partie terrestre d'un delta, ou appartiennent à la partie sub-littorale où ils formaient des lits sous-aquatiques. En tout cas, la stratification des couches de grès est désordonnée, l'extension en largeur des lentilles est extrêmement faible; il y a des lentilles de conglomérats. Des Invertébrés marins se trouvent souvent dans ces couches de grès et s'il y a des restes de Vertébrés terrestres on rencontre toujours des Poissons d'eau douce. La couche ossifère du gisement de Falmouth est déposée directement au-dessus de la couche calcaire; la couche de sable ininterrompue est séparée de la couche de calcaire seulement par une couche de 7 cm de schistes sableux meubles.

Dans les canaux de sable les restes de Vertébrés ne sont pas disposés en désordre. La plus grande partie de la couche de grès ne contient pas de ces restes; ils sont localisés presque toujours à la base de la lentille de sable. Ainsi, dans le gisement de Falmouth, la mince couche de schiste sous-jacente à la lentille de sable contient la plus grande partie de tous les restes osseux, bien que certains os se trouvent à la base de la couche de grès massif sus-jacente. Dans le gisement de Salt-Fork les fragments de Vertébrés se rencontrent uniquement dans la couche à demi transformée en conglomérats de la couche de grès située à la base du dépôt. Le gisement d'Oak-Wood contient beaucoup de restes de Poissons: deux genres de Selachii, un genre de Dipneustes et un genre de Palaeoniscidae, dont les restes sont représentés par des dents et des écailles dissociées. Dans ce gisement on a rencontré de gros Labyrinthodontes ombolomères (*Cricotus*), des Noctridia typiquement aquatiques, de gros *Diplocaulus* et des *Lysorophus* vermiformes. Les Reptiles sont représentés par des *Pelycosauriens* (*Ophiacodontia*) aquatiques (*Clopydops*).

Dans le gisement de Falmouth les os sont séparés, orientés dans le plan de stratification horizontal et mélangés à de petits Invertébrés (*Ostracodes*). Composition de la faune: deux genres de Selachii, deux genres de Dipneustes, des restes de gros Labyrinthodontes du groupe terrestre des Eryopsidés et de petits Nectridia indéterminables avec exactitude. Dans le gisement de Salt-Fork les restes de faune se rencontrent aussi sous forme d'os isolés ou sous forme de fragments d'os séparés, dans de petites lentilles de conglomérats à galets argi-

leux, placées au milieu d'une grande lentille de grès micacé massif. Les gisements plus importants des Couches rouges du Texas et du Nouveau-Mexique contiennent souvent de vastes superficies recouvertes de restes de Vertébrés terrestres sous forme de squelettes entiers ou d'importantes portions de ceux-ci. Le tout étant mélangé pêle-mêle. Ces superficies représentent en général de minces couches intercalaires, situées le plus souvent à la limite de deux couches différentes - argile et grès, ou grès conglomératisé, ou schistes. La découverte de ces superficies a montré que les restes de Vertébrés sont répartis dans des districts isolés séparés par de grandes superficies azoïques. Les gisements des couches rouges se caractérisent par l'absence de lien entre les restes Végétaux et ceux de Vertébrés. Les premiers et les seconds se rencontrent en général dans des associations distinctes et dans des couches différentes. En général, les restes végétaux sont rares dans les couches rouges typiques et dans l'ensemble des roches rouges. Le type de gisement de Vertébrés terrestres qui se rencontre le plus souvent est celui de petites lentilles de roche ossifère, contenant des os dissociés et endommagés, mêlés dans un désordre total. L'absence de fouilles importantes systématiques dans ces couches rouges, analogues à celles que nous effectuons en URSS dans nos gisements permians, ne permet pas de définir la répartition réelle des horizons ossifères. En fait, dans des gisements du type "en taches", l'extension des couches ossifères peut être beaucoup plus considérable qu'elle ne le paraît quand on se contente de récoltes superficielles provenant de ravins, sans fouilles sur des surfaces importantes.

En tout cas, on peut affirmer l'existence dans les couches rouges de plusieurs types d'enfouissement. Comme dans le cas de tous les gisements importants, sans exception, dans les couches rouges on observe l'apparition brusque d'une faune nombreuse et variée, jusqu' alors inconnue dans les couches plus anciennes. Le gisement des couches rouges nous donne la plus ancienne faune de Reptiles, mais elle est représentée par des groupes fortement spécialisés et très divergents.

La composition totale de la faune de Vertébrés des couches rouges des Etats-Unis, que nous n'exposerons pas en détail suivant chaque horizon, est approximativement la suivante: Les Poissons sont principalement représentés par:

- a) des Selachii primitifs du genre *Ctenacanthus*, caractéristique du Carbonifère; le genre est rare dans les couches rouges et ne se rencontre pas en association avec les restes des autres Vertébrés, comme cela s'observe pour toutes les autres formes;
- b) des *Dipneustes-Sagenodus*, également typique pour le Carbonifère supérieur, connu surtout d'après des lames dentaires; souvent il se rencontre dans beaucoup d'horizons;
- c) un gros *Crossoptérygien-Megalichthys*, répandu dans le Carbonifère supérieur;
- d) un représentant des Selachii *pleuracanthes-Didymodus*, commun dans beaucoup d'horizons, dont on connaît non seulement des dents et des épines, mais aussi des fragments entiers de squelettes et de crânes.

Les Amphibiens des Couches rouges offrent une grande variété de formes; à la différence de ceux du Carbonifère supérieur ils sont représentés principalement par de grosses formes, dont beaucoup présentent d'importantes adaptations à la vie terrestre. Ces formes d'Amphibiens adaptées à la vie terrestre indiquent que le régime physico-

géographique était favorable à la vie des animaux et que les petits bassins d'eau douce tempérés étaient très répandus. Dans un climat sec, les Amphibiens, sans exception, sont représentés par des formes aquatiques. Dans les couches rouges on rencontre le plus souvent et en quantités maxima, de gros Nectridia, avec un large crâne "cornu" et plat - Diplocaulus et de petits Lysorophys vermiculaires. Les Labyrinthodontes typiquement aquatiques - Trimerorhachis et les Labyrinthodontes embolomères - Cricotus à crâne allongé, sont très communs. Sont également répandus Eryops et Edops (apparenté au précédent, mais plus ancien), qui sont d'énormes Labyrinthodontes rachitomes de faciès "terrestre". Les groupes de Labyrinthodontes terrestres des Dyssorhophidés sont relativement rares: 5 genres d'Amphibiens curieux, avec une cuirasse dorsale et des fosses temporales particulières, ce sont probablement des fouisseurs. On rencontre rarement le Stégocéphale-Zatrachys, qui possède un organe de Jacobson particulièrement développé et un crâne "cornu". Sont encore plus rares les Amphibiens à crâne de Reptiles, représentant les possibles des Batrachosauria: C'est un petit Isodectes, connu par la seule trouvaille de l'Anisodexis, Amphibien se distinguant par la différenciation des dents, qui sont celles d'un Théromorphe.

Les Batrachosauria, c'est-à-dire les Seymouria, sont également des représentants rares de la faune des couches rouges.

Les Cotylosauriens sont représentés par de gros et lourds Diadectidés, probablement des fouisseurs vivant dans les lagunes marécageuses. À côté de spécialisations poussées ce groupe possède des caractères extrêmement primitifs. Les autres Cotylosauriens, les petits Captorhinidés, se rencontrent fréquemment dans différents horizons. Ces formes présentent un degré d'évolution extraordinairement élevé des Cotylosauriens, indiquant un passage vers les Mammifères. On rencontre quelques petits Cotylosauriens extrêmement rares, possédant des caractères de transition vers les Reptiles supérieurs - vers les Synapsidés; ces petits Cotylosauriens sont les Romeria, les Eothyris, les Helodectes, etc ... connus seulement par des découvertes de crânes isolés.

Ostodolepis, avec son adaptation curieuse pour un Cotylosaurien et rappelant celle des carnassiers rapides, est également une forme rare.

Les autres Reptiles appartiennent presque tous aux premiers représentants des Synapsidés, aux Pélycosauriens, mais ils portent déjà certains caractères des Carnassiers, c'est-à-dire des indices d'évolution vers les Mammifères. Les plus nombreux sont les gros carnassiers primitifs - les Ophiacodon, habitants des deltas et se nourrissant principalement de Poissons, ainsi que les Dimetrodon, plus évolués. Les gros Edaphosaurus, qui ont donné naissance à toute une série d'espèces de petite et de grande taille, sont non moins répandus. Ce sont des animaux ayant des dents du type broyeur; ils sont herbivores ou se nourrissent de Mollusques; ce sont les tout premiers représentants des herbivores, bien que la première détermination de leur spécialisation soit peu vraisemblable. Les Dimetrodon, comme les Edaphosaurus, possèdent une crête dorsale élevée, formée par de longues apophyses osseuses des vertèbres, réunies probablement par une membrane. Chez Edaphosaurus ces épines portent à leur tour des apophyses transversales. La signification de l'adaptation de ces animaux n'est pas connue. Des formes rares de Pélycosauriens sont: Casco, analogue aux Edaphosaurus, mais sans crête et possédant des caractères de spécialisation curieux; de petits Mycterosaurus et Glau-

cosaurus, représentant très probablement des individus non adultes de plus gros Pélycosauriens; des Varanosauriens lacertiformes primitifs et de type ancestral par rapport aux Dimetrodon: les Varanopsidés (ce sont probablement des individus non adultes de Dimetrodon). Le petit Tetra-ceratops, avec ses apophyses en forme de cornes sur le crâne, connu d'après des trouvailles isolées, a un aspect tout à fait inattendu. En un exemplaire unique on a trouvé aussi un Trichosaurus qui est probablement un individu non adulte de Casea, ou une forme ancestrale d'Edaphosaurus. On connaît encore le Bolosaurus, une forme également très rare et ayant une dentition d'un type particulier, apparentée peut-être à Tetramatopsus. Enfin, on rencontre de petites formes rares, à squelette léger, probablement adaptées à grimper dans les arbres et à la recherche des Insectes - Areoscelis et Ophiodeirus; ce sont probablement des représentants d'un groupe particulier de Reptiles, ancêtres des types plus tardifs du Mésozoïque.

Il est extrêmement intéressant de remarquer que des formes rares de Reptiles des couches rouges se distinguent par leur faciès terrestre plus marqué. Ce sont probablement des animaux terrestres révoluant. En même temps, toutes les formes les plus répandues montrent des caractères d'adaptation à un mode de vie aquatique ou littoral. On trouve aussi des adaptations prouvant que ces formes s'alimentaient de Mollusques à coquilles solides, appartenant probablement à des espèces formant des bancs dans les étendues de sable et dans les lagunes. D'après la structure des dents, tel est le cas des Diadoctidés, peut-être d'Edaphosaurus et, en partie, des Captorhinidés, c'est-à-dire des formes les plus nombreuses, surtout dans les horizons inférieurs des couches rouges. Il faut aussi signaler que les formes les plus rares possèdent des caractères intermédiaires entre les groupes de Reptiles évolués et les formes primitives, tandis que les formes les plus répandues sont toujours les plus spécialisées.

Chez les Amphibiens les relations observées sont différentes. Il est vrai que là aussi, la grande majorité appartient à des formes aquatiques, mais ce caractère de leur adaptation peut-être considéré comme secondaire, étant donné que ces formes dérivent, sans le moindre doute possible, de formes plus petites du Carbonifère, encore mal adaptées à la vie aquatique. Cependant, les restes du Stégocéphales du type Eryops (gros forme de type terrestre) le cèdent de peu aux formes aquatiques du type Lysorophus, Diplocaulus et Trimororhachis. Parmi les formes très rares, rencontrées dans les couches rouges nous voyons, d'une part des formes très voisines de Reptiles terrestres - Isodactes, Anisodactes, peut-être des Batrachosauriens et, d'autre part, des formes isolées, extrêmement rares, du type Tersomius, petits Amphibiens à crâne parabolique, très apparentés aux Branchiosauriens très répandus dans les séries houillères du Carbonifère supérieur.

Le caractère général du faciès des couches rouges varie quelque peu lorsqu'on s'élève dans la série stratigraphique. Dans les horizons inférieurs (série de Wichita) on observe la prédominance des grès stratifiés en couches massives; les horizons supérieurs (Clear-Fork) sont représentés principalement par des argiles rouges, en épaisses couches alternant avec de minces couches intercalaires de grès et d'argile bleue, parfois cuprifères, par des couches de calcaire, de grès et de schistes argileux. Les calcaires contiennent de la magnésie et sont fortement bitumineux; ils renferment souvent des os. Vers les couches supérieures les schistes deviennent plus sableux et les grès sont plus finement stratifiés et argileux. Cette variation coïncide avec l'augmentation des couches intercalaires gypseuses, qui sont particulièrement fréquentes et

épaisses dans la toute dernière série des couches rouges (Dabl-Mountains). Suivant les variations des faciès des différents niveaux les caractères d'enfouissement des restes de Vertébrés changent aussi. Il est encore impossible d'étudier la variation de la composition de la faune d'après les types d'adaptation. Dans les couches supérieures les types d'enfouissement, sous forme de restes amoncelés sur des superficies considérables, sont rares. Plus souvent on y rencontre des concentrations de restes dans des poches petites et lenticulaires. D'une façon générale on peut dire que les horizons inférieurs de couches rouges sont déposés surtout sous l'action d'eaux douces courantes, tandis que dans la formation de la série de Clear-Fork, où prédominent les bassins à eaux stagnantes du type de petits lacs ou lits de rivières abandonnés, l'action des eaux courantes a été insignifiante. Il est encore difficile de définir l'intervention des eaux courantes dans la formation du niveau gypsifère supérieur de Dabl-Mountain.

En conclusion de notre étude de la région d'enfouissement des couches rouges des Etats-Unis, il est intéressant de signaler que beaucoup de formes d'Amphibiens et de Reptiles de cette faune portent des indices d'adaptation à la vie nocturne. Très probablement, au début de leur formation les types archaïques des Vertébrés terrestres se trouvaient dans des conditions de forêts denses du Carbonifère. région d'origine d'habitat des Tétrapodes. Le passage à un habitat extérieur aux zones forestières ombragées s'est fait par adaptation à la vie nocturne.

Par beaucoup de caractères les gisements permien de l'Europe occidentale sont analogues aux couches rouges des Etats-Unis. Ils sont également déposés dans des faciès continentaux rouges, leur origine se rattachant aux bassins houillers et tous les deux contiennent une faune analogue de Reptiles et d'Amphibiens. Mais tous ces gisements d'Europe représentent des îlots isolés de niveaux rouges, dans des affaissements continentaux dispersés et non pas de gigantesques euryolithèmes de sédiments rouges s'étendant le long d'affaissements pré littoraux, séparés de la mer par des récifs-barrières.

Parmi les gisements d'Europe occidentale signalons les roches couches rouges du bassin de Dalcin en Saxe (Plauensch-Grund). Ici, dans une dépression isolée s'est déposé un niveau de grès, de conglomérats et d'argiles schisteuses d'environ 450 m d'épaisseur, avec de nombreuses coulées de Porphyres. Dans les couches inférieures du niveau nous trouvons des lentilles de charbon, en tant que derniers restes de la formation de houille du Carbonifère. Dans les horizons supérieurs de ce niveau, dans les schistes houillers, parfois combustibles, en dépôt lenticulaire dans les argiles sableuses rouges stratifiées, on trouve de grandes quantités de restes de Vertébrés terrestres. Les restes osseux sont concentrés au sommet des schistes, dans une couche relativement mince de schistes bitumineux compacts. Par le caractère de gisement et par la conservation ils sont tout à fait semblables aux gisements habituels du Carbonifère. La faune d'Amphibiens se trouvant là se distingue par la prédominance de petites formes du Carbonifère - les Branchiosauriens, qui se rencontrent sous forme de squelettes entiers, mélangés à des individus jeunes et à des larves. Plus rarement on rencontre de petits Noctridia également caractéristiques des gisements du Carbonifère. Ainsi, nous observons ici un faciès d'enfouissement typiquement carbonifère: un petit lac situé dans une forêt marécageuse, qui s'est conservée jusqu'au Permien et à l'intérieur du type de sédimentation permien. On ren-

contre ici de gros Labyrinthodontes aquatiques de type permien (Archégosaurus) à l'intérieur de grosses concrétions plates d'hématite argileuse; il s'agit d'individus adultes et de larves, enfouis sous forme de squelettes complets, c'est-à-dire que, de nouveau, les conditions d'enfouissement sont du type carbonifère. Mais on observe aussi un vrai type d'enfouissement permien. Se rapportent à ce type des Reptiles - de gros Pélycosauriens-Pantelosaurus, très voisins des formes d'Amérique du Nord. Les restes de Pélycosauriens sont déposés sous forme d'accumulations isolées de squelettes entiers de plusieurs individus de même âge, situés dans le plan de stratification de grès argileux en plaques, déposé au-dessus des lentilles de schistes houillers à Branchiosaurus; cette couche de grès touche presque les lentilles de schiste. Tout à fait analogues au gisement de Dalein, les gisements du Permien de Lobach contiennent une grande quantité de restes d'Archégosaurus déposés dans des concrétions d'hématite argileuses, dont l'horizon est ici plus répandu et plus riche qu'en Saxe.

C'est un caractère tout différent que l'on observe dans l'immense et très intéressante région de développement de gisements permians de Vertébrés terrestres de l'Union soviétique; ces gisements s'étendent en direction N.S., dans la partie orientale de la plaine russe, le long des plateaux occidentaux de l'Oural. Cette région représente un vaste ourylithème de sédiments continentaux rouges déposés dans la dépression prémontagnouse de la chaîne horcynienne de l'Oural. On y a trouvé environ 80 gisements de Vertébrés terrestres, répartis dans différentes zones stratigraphiques allant du Permien moyen au Trias inférieur. L'ourylithème des gisements préouraliens présente beaucoup d'analogies avec celui des couches rouges des Etats-Unis. Comme ce dernier il est situé dans la région sublittorale et se trouve probablement en relation avec des récifs - barrières, dont la grande extension se confirme de plus en plus par les recherches géophysiques et par les travaux de forage. Mais les couches rouges permiannes du Préoural se sont déposées principalement, non pas dans des lagunes, mais dans des deltas de nombreuses courtes rivières, descendant de la chaîne proche de l'Oural ancien, élevé. Le dépôt dans des conditions d'affaissement prémontagnoux, a conduit à une plus grande vitesse de sédimentation et à une grande diversité des faciès. D'autre part l'existence de glaciers sur le haut plateau de l'Oural (dont les indices sont représentés par les tillites des dépôts permians inférieurs du Préoural), provoque un adoucissement du climat chaud, la formation d'un grand nombre de faciès gris dispersés dans les roches rouges, et l'accumulation d'une grande quantité de restes végétaux. La proximité d'une zone climatique tempérée impose un autre sens au développement de la faune des Vertébrés terrestres, qui a un caractère intermédiaire entre la faune des couches rouges d'Amérique du Nord et la faune de Gondwana avec ses Reptiles à aspect de carnassiers, d'Afrique et des autres continents de l'hémisphère Sud. Ce sont ces caractères intermédiaires qui donnent à notre région d'enfouissement permienne son intérêt et sa signification mondiale.

Les horizons les plus bas du Permien ossifère du Préoural, s'observent uniquement dans les anciennes mines de cuivre de Fachkirio, de Tatarie, des régions de Tchkalov et de Molotov. Les restes de Vertébrés terrestres sont déposés sous forme d'éléments dissociés du squelette, de crânes isolés, très rarement d'ensembles avec des os en connexion, dans les conglomérats et les grès cuprifères, que l'on trouve sous forme d'immenses lentilles continues dans des argiles calcaires rouges, dans des grès rouges et jaunes. A la différence des gisements d'Améri-

que du Nord les roches rouges de l'Union soviétique, en général, ne contiennent pas de restes organiques. Les os de Vertébrés et les Végétaux sont concentrés dans les roches grises et principalement dans les grès et non dans les roches argileuses, comme dans le cas des couches rouges. Ceci est dû à la différence du mode d'enfouissement; les matériaux osseux dans ce cas furent apportés de régions relativement éloignées de la région de sédimentation par des rivières rapides et déposés dans les lits sous-aquatiques de deltas courts et raides. Les lentilles de roches grises ossifères ont en général la forme de ruban; les grès et conglomérats présentent en général une stratification désordonnée; les os et restes végétaux sont aussi répartis en désordre dans la masse (Efremov, 1948).

Les horizons les plus bas de la zone I (mines de Bachkirie) se distinguent par le développement de conglomérats cuprifères, avec galets de roches ouraliennes et par l'entassement d'immenses troncs d'arbres transformés en silice. Les os se trouvent dans ces entassements (fig.6). Les horizons inférieurs se distinguent aussi par leur lien étroit avec les couches marines qui se trouvent dans leur voisinage immédiat et auxquelles les couches de grès passent en biseau. On connaît aussi des faciès très particuliers de niveaux coquilliers cuprifères à Brachiopodes (mines de Santagoulov), dans lesquels on rencontre aussi des os de Reptiles terrestres. Les os sont très bien conservés, peu déformés, imbibés de composés du cuivre.

Dans les horizons suivants (zone II) les conglomérats deviennent subordonnés et perdent la couche de galets de roches ouraliennes. Les lentilles ossifères sont représentées par des grès cuprifères et, plus rarement, par des marnes contenant des restes de Poissons et des empreintes de Végétaux et Insectes (fig.7). Encore plus à l'Ouest sont répandues de vastes superficies de sables deltaïques parmi les argiles rouges et les marnes blanches, déposées directement au-dessous du "niveau de transition" des marnes blanches, des dolomies et des calcaires gypsifères. Dans les sables deltaïques se rencontrent de riches gisements (Ichéovo, Malyi Tchouran), remplis de squelettes de gros Reptiles associés à des restes de Solachii, mais sans la moindre trace de restes végétaux (fig.8). Dans les autres faciès de ces mêmes horizons de la zone II (Belboi) nous rencontrons de nombreux squelettes de petits Reptiles - des Cotylosauriens et des Pélycosauriens primitifs, très probablement des formes de marécage enfouies en squelettes entiers, principalement dans les argiles (fig.9).

Dans les faciès clastiques du niveau de transition (Zone III) on trouve de très riches gisements dans les calcaires et dans les marnes. Tels sont ceux de Chikhovo-Tchirki près de Kirov; où, dans les calcaires marneux on a découvert un vaste champ d'accumulation massive de milliers d'individus d'un Stégocéphale: *Platyops*, à côté de rares restes de Reptiles (fig.10). Il en est de même pour les gisements du cours inférieur de la Mozen. Dans les marnes sableuses rouges de ces derniers gisements sont déposés des restes de milliers d'individus de petits Cotylosauriens et de Pélycosauriens, tous représentés par des individus de taille presque identique.

Dans les couches supérieures de l'ourylithème permien (Zone IV) nous rencontrons de nouveau des gisements du type lenticulaire ou en "oaux", croulés par ruissellement dans les niveaux rouges des argiles calcaires et représentant des lits sous-aquatiques aux extrémités de deltas (fig.11). Comme exemple de ces gisements nous pouvons citer les énormes lentilles de la Pivna du Nord dans les concrétions sableuses desquelles on a découvert la fameuse faune de la Dvina du Nord

d'Amalitzkii, contenant un grand nombre de squelettes complets et des milliers d'os isolés (fig. 12). A part les restes de Vertébrés terrestres dans les concrétions de la Dvina du Nord on rencontre souvent d'excellentes empreintes de Végétaux. A part les gisements de la Dvina du Nord on trouve une faune identique dans les lentilles sableuses d'Illinskii sur la Volga, près de Tetiouch; on connaît encore quelques exemples (enfouissement de formes non adultes de Paréiasauriens en squelettes entiers dans les argiles rouges de la rivière Viatka près de Kotelnitch; enfouissement de ces mêmes formes du type de la Dvina du Nord dans les conglomérats de la rivière Oka près de Gorki et sur la riv. Soukhona, dans les deux cas sous forme de fragments dissociés et fragmentés) dans les régions situées entre la Dvina du Nord et le Préourel. Les gisements de Labyrinthodontes néorachitomes, extrêmement répandus dans la partie orientale de la plate-forme russe, se rapportant aux couches de base du Trias et il n'y a pas lieu de les étudier en détail ici. Nous les décrirons rapidement au cours de l'analyse comparée des types de gisements du Mésozoïque et du Cénozoïque.

En ce qui concerne l'extension géographique des gisements des différentes zones dans les limites du Permien du Préourel, nous voyons que les gisements plus jeunes se rencontrent dans des roches à grains plus fins que les gisements inférieurs et, en même temps, sont toujours plus éloignés vers l'Ouest de l'axe de la chaîne de l'Oural. Ce phénomène se trouve incontestablement en étroite relation avec le remplissage de l'affaissement prémontagnoux et avec le dépôt toujours plus lointain des produits d'apport au cours de la croissance progressive de l'édifice montagnoux. Nous rencontrons ce mode de déplacement des faciès dans la zone d'apport pour tous les édifices montagnoux en voie d'élévation (par exemple, dans le Tertiaire de la base de notre Tian-Chan et au pied de l'Himalaya). Ce déplacement vers l'Ouest des faciès continentaux du Permien confirme une fois de plus la caractéristique particulière de notre ourylithème, caractère inconnu pour les autres régions importantes de sédimentation et d'enfouissement faunistique du Permien.

La faune de Vertébrés terrestres des gisements permien du Préourel se compose principalement de deux groupements importants. Dans les zones inférieures prédominent les restes de gros Dinocéphales (Rhopalodon et Deuterosaurus, plus tard Titanophoneus et Ulemosaurus), des formes encore très primitives, voisins des Pélycosauriens. Il est curieux que ces Dinocéphales, carnassiers et herbivores, se rencontrent toujours ensemble, formant pour ainsi dire un couple - carnassier-herbivore. Environ 80% de la totalité des os déposés dans les différents gisements appartiennent à ces formes "couplées". On rencontre plus rarement le carnassier - Olorhizodon, Dinocéphale de taille plus petite et à denture très spécialisée. Les restes d'Amphibiens appartiennent principalement aux Labyrinthodontes gavialiformes du genre Platyps et à l'Archégosauridé, Melosaurus. Les restes du remarquable Batrachosauria, Lanthanosuchus, sont extrêmement rares. Sont incomparablement plus rares les Stégocéphales Dissorophidae terrestres, Zygosaurus et, dans des cas isolés, on a trouvé Enosuchus, une forme curieuse à crâne parabolique.

Parmi les Reptiles, les formes rares sont représentées par des Dinocéphales, Vonjukovia, à aspect de Rongours et en même temps apparentés aux ancêtres des Dicynodontes, des fragments isolés de Thérocéphales et d'anciens Paréiasauridés et aussi par des formes mal connues, mais très archaïques du type Casoa.

Dans les horizons plus élevés de la zone IV, par suite du développement évolutif de la faune nous ne rencontrons plus de Dinocéphales primitifs, mais il est curieux de constater que le couple herbivores-carni-

vores se conserve dans tous les gisements importants et fournit la majorité des restes. Seulement, la place des Dinocéphales herbivores est occupée par des Paréiasauridés - de grands fousseurs hippopotamiformes avec de rares dents peu développées. A la place des Dinocéphales carnassiers apparaissent d'énormes Gorgonopsidés-Inostrancevia. Un caractère distinctif de la zone IV est que dans ses gisements les restes du membre herbivore du couple prédominant, tandis que dans les gisements des deux zones inférieures c'était l'inverse - les carnassiers dominaient par l'abondance des restes. A la place des Stégocéphales des zones inférieures les Amphibiens sont représentés ici par le seul genre Dvinosaurus qui, de plus, se présente sous sa forme néoténique, c'est-à-dire à l'état de larve ayant atteint sa maturité sexuelle, comme les Axolotls actuels. Les formes rares des gisements de la zone IV sont les derniers Batrachosauriens-Kotlassia et Cynodontia, petits Reptiles à aspect de Mammifères, à dentition extrêmement complexe. En quantités assez importantes on rencontre les Dicynodontes - Reptiles herbivores à dentition réduite, à la place de laquelle était développée une gaine cornée tranchante, comme cela s'observe chez des formes actuelles. Cependant, la quantité totale des restes de Dicynodontes est sensiblement inférieure à celle des Paréiasauridés et des Gorgonopsidés.

Le second groupe important de la faune de nos gisements permien est constitué par de petits Cotylosauriens du groupe des Procolophonidés et de petites formes à aspect de Pelycosauridés, voisines des ancêtres des Eosuchus et Gorgonopsidés. Ces groupes sont typiques des horizons supérieurs des zones inférieures, c'est-à-dire de leur faciès argileux, dans lesquels on ne rencontre jamais de représentants du premier groupe faunistique. L'enfouissement du second groupe faunistique est toujours du type massif, avec des squelettes entiers d'individus de même taille et de même âge. La plus grande quantité des restes appartient à deux ou trois formes seulement. D'après le type d'enfouissement on distingue aussi d'autres groupements faunistiques. Ainsi, nous pouvons parler de l'enfouissement massif de restes dissociés de Stégocéphales - Platyops et Melosaurus dans les couches de Chikhovo-Tchirkoy (fig.10), dans les couches intercalaires de conglomérats de Goulioucherma sur la Kama, etc ... Mais dans ces gisements on trouve toujours un mélange de restes de petits Reptiles du second groupement faunistique, ce qui prouve l'existence d'un lien entre les processus d'enfouissement de ces deux types de gisements. Cette hypothèse se confirme par la présence d'un gisement de type intermédiaire près de Belobei (fig.9). Ici, dans la section supérieure de la série de Belobei, constituée d'argiles et de marnes calcaires bigarrées, affleure une couche de grès de 2m d'épaisseur environ, contenant des restes de Vertébrés terrestres. Cette couche de grès est très inégalement stratifiée en lentilles rubanées et sur une étendue de 1 km. environ elle passe plusieurs fois à des argiles sableuses et à des grès. Les variétés argileuses de la couche ossifère contiennent des restes de formes du second groupement faunistique sous forme de squelettes entiers. Dans les passages gréseux de cette même couche on a trouvé des squelettes de Platyops.

Après étude de la faune de Quadrupèdes de l'ouryolithème permien du Préoural, il devient évident que d'après le caractère des formes adaptées dominantes typiques, il y a analogie totale avec le caractère écologique de la faune des couches rouges des Etats-Unis. La majeure partie des restes appartient à de gros représentants de la faune et en même temps adaptés à la vie aquatique ou pré-littorale. Dans

les gisements des zones inférieures du type d'Icheevo, on a trouvé une quantité considérable de gros coprolithes, n'ayant pu appartenir qu'à des Dinocéphales carnassiers. Ces coprolithes contiennent toujours une grande quantité de fragments d'os et d'écaillés de Poissons ganoides du type Amblypterus et Platysomus, que l'on rencontre toujours dans les gisements des zones inférieures, mêlés à des os de Dinocéphales. Nos Titanosuchides permien ont probablement hérité du mode de nutrition que nous avons observé chez les Pélycosauriens carnassiers des couches rouges, dont l'apparement étroit a déjà été souligné par nous. Le fait de se nourrir de Poissons fait supposer un mode de vie fluvial identique à celui des Crocodiles. D'après certains indices, les Dinocéphales herbivores présentent aussi une tendance vers la vie aquatique. On peut en dire autant des Pariasauridés et des Gorgonopsidés des zones supérieures. Ainsi, dans nos gisements aussi les formes prédominantes sont aquatiques. Cependant dans nos gisements on n'observe pas d'adaptation à un mode de nutrition à base de Mollusques, ce qui est, au contraire, caractéristique pour les couches rouges et le faciès de nos formes est un peu plus voisin du faciès terrestre. Les formes rares de notre faune permienne, exactement comme dans les couches rouges sont également des formes de différents groupes adaptées au mode de vie terrestre. Plus le degré d'évolution d'un groupe considéré est élevé, plus ce groupe est adapté à la vie terrestre. Pour les Stégocéphales les formes les plus terrestres sont les Dissorophidés fouisseurs littoraux, faisant partie des formes rares des gisements du Préoural. Pour les Reptiles, les formes les plus terrestres sont Vonjukovia, à aspect de Rongeur et les Carnassiers terrestres ayant l'aspect de Mammifères - les Thérocéphales et les Cynodontes. Ces formes sont précisément très rares dans nos gisements.

Les gisements des groupements faunistiques du premier type sont probablement constitués par un matériel apporté par submersion dans des régions du cours inférieur de fleuves, des parties subaériennes de delta sans doute. Les restes des animaux étaient transportés par les eaux des rivières sous forme de cadavres, ce qui a conduit à l'enfouissement de squelettes entiers, malgré un transport assez prolongé. Il est curieux que la plupart des squelettes entiers soient déposés à la limite même des sables ossifères, situés directement au-dessous des roches de couverture, le plus souvent constituées d'argiles calcaires rouges. Certains os, dépassant de la couche ossifère vers le haut dans les argiles rouges, sont tronqués; les conditions ayant régné dans les argiles rouges ne permettaient pas la conservation des os. Cette coïncidence d'enfouissement de quantités maxima de restes animaux, avec la variation du mode de sédimentation, est très typique et est répandue dans la plupart des gisements de Vertébrés terrestres.

Les enfouissements massifs des groupements du second type ont un caractère différent. Ici les restes d'animaux de mêmes dimensions sont dispersés dans toute l'épaisseur de la couche ossifère, sans localisation en haut ou en bas. L'homogénéité exceptionnelle des animaux dans tous les districts de la couche ossifère, où même les représentants des différents groupes présentent les mêmes modes d'adaptation, fait supposer que ces gisements se sont formés au cours d'un processus ayant englobé une région considérable et ayant provoqué la destruction massive uniquement de certaines formes à adaptation donnée dans la région considérée. De tels phénomènes peuvent s'observer par exemple au cours d'inondations saisonnières dans des plaines marécageuses, bien que cette explication ne soit pas la seule possible.

Dans les gisements des niveaux rouges du Préoural, la conservation

des os des Vertébrés est, dans la plupart des cas, exceptionnellement bonne; ce fait s'explique par l'enfouissement des os exclusivement dans les couches de grès et par l'absence de déformations tectoniques et diagénétiques. Les gisements où les os sont contenus dans des couches d'argile ou de calcaire, constituent une exception; dans ces derniers les os se séparent mal de la roche, ils sont très fragiles et déformés souvent. Les os provenant des couches de grès tendres et durs conservent en général leur couche superficielle brillante et se préparent facilement. Une propriété tout à fait particulière de nos gisements est l'enfouissement assez fréquemment observé dans des sables tout à fait meubles et, cependant, les os sont fossilisés et suffisamment solides. Les matériaux provenant de ces gisements supportent une préparation tout à fait inhabituelle pour les restes paléontologiques, avec libération totale par rapport à la gangue de toutes les parties, même les plus compliquées, des objets paléontologiques.

Dans certaines lentilles gréseuses ossifères des zones II et IV on rencontre des os de couleur parfaitement blanche, à surface friable, qui ont probablement été blanchis et en partie détruits sur la surface subaérienne, avant d'être enfouis dans le sédiment. Par endroits on rencontre de minces couches intercalaires de fragments osseux roulés, en général déposés à la limite des lentilles de grès à stratification oblique. Ce sont des restes de gisements détruits par l'érosion locale.

L'épaisseur totale des couches rouges permienno-ossifères de l'euryolithème du Préoural est relativement faible et il est peu probable qu'elle dépasse 500 m. Certains faits prouvent l'existence de fractures importantes, ce qui est certainement dû à la proximité de la chaîne en voie de soulèvement et aussi aux mouvements de la région d'effaissement prémontagneux, qui, progressivement se trouve incorporée à la zone d'élévation de l'ancien géosynclinal. L'épaisseur des séries inférieures ne contenant pas de gisements est sensiblement supérieure, mais dans ces séries aussi il y a des preuves évidentes de l'existence de fractures dans la dépression. Les gisements permienno-vertébrés terrestres des continents sud sont tous plus jeunes que les couches rouges du Texas et les dépôts rouges du Préoural. Les seules exceptions sont les quelques petits gisements de Reptiles aquatiques particuliers - les Mésosauriens - appartenant à la base du Permien et peut-être, dans certains cas, au Carbonifère supérieur.

Les Mésosauriens, malgré leur épanouissement à une époque ancienne, sont des formes très spécialisées, avec de hautes fosses temporales, avec des mâchoires allongées et des dents longues. Il est étonnant de trouver chez les Mésosauriens un épaississement des côtes et un accroissement du nombre des phalanges, qui est une propriété caractéristique d'adaptation poussée à la vie aquatique et, plus précisément, marine, observée dans différents groupes et classes de Vertébrés terrestres. Les Mésosauriens sont les représentants de la plus ancienne branche d'adaptation des Reptiles primitifs, remontant à des époques où nous connaissons que les types les plus archaïques des conquérants de la Terre; ils apparaissent ainsi comme les seuls témoins de l'évolution variée des Reptiles, qui a eu lieu sur les continents de l'hémisphère sud, avant la glaciation et dont il ne reste que quelques témoins de l'histoire. Tous les gisements de Mésosauriens d'Afrique du Sud (Karoo), comme d'Amérique du Sud (Brésil),

sont groupés dans les séries de schistes foncés, de 150 m d'épaisseur, déposés au sommet des séries de Dwyka et Iraty, au-dessus des dépôts morainiques de la glaciation carbonifère - des tillites. Les schistes des horizons inférieurs sont visiblement sableux et renferment même de minces couches intercalaires de grès. Les horizons supérieurs sont formés de schistes noirs bitumineux et pyriteux. Par endroits ils contiennent de petites lentilles de phsphorite noire à raison de 75%. Dans les couches les plus superficielles on rencontre des couches intercalaires de roches silico-bitumineuses. Les restes de Mésosauriens sont situés dans les schistes noirs supérieurs, où ils s'observent sporadiquement, sans jamais constituer d'accumulations importantes. Dans certains gisements (Brésil, Province du Cap) on rencontre des squelettes entiers, parfois plusieurs individus se trouvant réunis ensemble. Dans d'autres gisements on ne trouve que des os dissociés et dispersés, formant parfois (Koakoweld, Afrique du Sud) de minces couches intercalaires entre les plans de stratification de deux couches de schistes, qui, dans ce cas, sont épaisses.

Dans ces mêmes séries on a trouvé des restes d'Invertébrés marins (Eurydesma, Conularia), ainsi qu'une grande quantité de restes de Poissons formant souvent des couches intercalaires de "schistes à Poissons". Ils sont surtout représentés par des Canoïdes d'eau douce - Palaeoniscidés. Les restes de Poissons et les Invertébrés ne se rencontrent pas avec les os de Mésosauriens. Les Invertébrés marins se rapportent surtout aux horizons inférieurs, les Poissons aux horizons moyens et les Mésosauriens se rencontrent au sommet de la coupe. Naturellement des exceptions sont possibles. On trouve rarement de petits fragments de bois, à d'autres endroits on a des Anthrapalaeon, ayant l'aspect de Crustacés décapodes.

Les gisements de Mésosauriens se rattachent visiblement à des baies formées avec H2S, dépendant d'une mer, qui a transgressé dans la région du continent affaissée en raison de la glaciation se développant sur le continent, immédiatement après la fusion des glaces. L'absence de faciès continentaux favorables à la fossilisation des Vertébrés terrestres, nous laisse dans une ignorance totale en ce qui concerne la faune de Tétrapodes primitifs du Gondwana, dont nous ne connaissons que les Mésosauriens, grâce à leur adaptation à la vie aquatique, ce qui leur a permis de se conserver dans les faciès pré-littoraux, ne contenant pas de restes d'organismes provenant du continent.

Au cours des époques plus tardives du Permien, sur le continent de Gondwana, se sont développées de puissantes séries de sédiments continentaux, dans lesquels on trouve de nombreux et riches gisements de Vertébrés terrestres. Les dépôts les plus puissants et les plus complets des faciès de Gondwana, sont représentés dans les formations du Karroo d'Afrique du Sud, que nous allons étudier plus en détail.

Au-dessus de la très puissante série de Dwyka, composée de tillites et de schistes noirs, contenant les gisements de Mésosauriens que nous venons de décrire, se dépose le niveau de grès, d'argiles et de schistes argileux constituant la série d'Ecca ayant jusqu'à 2000 m d'épaisseur. Les horizons inférieurs d'Ecca sont constitués par des schistes foncés tout à fait identiques aux schistes supérieurs de Dwyka. La partie moyenne d'Ecca comprend des grès foncés, à grain fin souvent houillers. La partie supérieure de cette série est formée de nouveau de schistes foncés, parfois sableux, contenant de minces couches intercalaires de grès. Ainsi, cet immense niveau est constitué de roches foncées à grain fin. Dans les grès on rencontre souvent des

fragments silicifiés de troncs d'arbres et dans les schistes inférieurs on trouve des empreintes de petits Vertébrés terrestres. Dans les couches intercalaires de grès des horizons supérieurs on a trouvé des os isolés de gros Reptiles du type des Dinocéphales. Ainsi, ce niveau considérable est exceptionnellement pauvre en restes fossiles, à l'exception des Végétaux répandus aussi bien dans les faisceaux houillers qu'en dehors d'eux. Sur leur vaste aire de dispersion les roches de la série d'Ecca présentent divers faciès. Ainsi, vers l'Est le grain des grès devient plus grossier, des conglomérats apparaissent; vers le Sud prédominent les sédiments à grains fins et les faisceaux houillers disparaissent en coin. Au-dessus de la série d'Ecca est déposée en concordance la série de Beaufort, non moins épaisse et contenant un nombre considérable de gisements de Trilobites. Une riche faune de Vertébrés constituée de grosses formes, très variées, apparaît brusquement dans les couches inférieures de la base de la série de Beaufort - dans la zone à *Tapinocephalus*. Les accumulations des restes de Vertébrés sont en général peu importantes par leur quantité, mais elles sont très fréquentes, dispersées dans les couches aussi bien dans le sens horizontal que vertical, dans différents niveaux stratigraphiques. Les zones inférieures de la série de Beaufort se distinguent par la prédominance des sédiments foncés. Ces grès sont le mieux développés dans les horizons les plus inférieurs (zone à *Tapinocephalus*), mais là aussi ils occupent une position subordonnée. La couleur foncée des roches est caractéristique et elle offre un contraste frappant avec les niveaux permians rouges des continents du Nord; cette coloration foncée est due à la présence constante de détritiques organiques et au fait que les combinaisons du fer sont toujours peu oxydées. Les roches typiques sont des schistes foncés, des marnes argileuses violet-foncé, chocolat-foncé, vert-foncé, des grès à grain très fin brun-foncé. Toutes les roches se distinguent par leur grande dureté et toutes ont une cassure conchoïdale caractéristique. Lorsqu'on s'élève dans la série, les roches deviennent plus claires, surtout dans la dernière des zones permianes de la série de Beaufort - la zone à *Gisticcephalus*. Ici, prédominent les argiles et les marnes calcaires de couleur rouge-brun, violette, bleu-vert, gris-vert. Rarement on rencontre des faisceaux de grès gris et bruns. Les argiles calcaires sont érodées plus facilement que dans les horizons inférieurs et se disloquent en petites cailloutis anguleux. Les zones supérieures de la série de Beaufort appartiennent au Trias, mais la continuité de stratification, dans la formation du Karroo, dure encore pendant un temps appréciable. Dans la portion triasique de la série de Beaufort prédominent des grès en couches épaisses et plus friables, à grain plus gros que les grès permians. Ici, prédominent les grès jaunes, alors que dans les horizons inférieurs ce sont les rouges meubles. Ces roches gréseuses alternent avec des marnes rouges et vert-bleuâtre. Ainsi, les roches triasiques de la série de Beaufort se rapprochant, par leur faciès, des couches rouges typiques, permianes, des continents de l'hémisphère Nord. Il est curieux de signaler que dans ce niveau on rencontre souvent des traces de rides, comme dans les couches rouges permianes des continents du Nord, et qui, comme on doit s'y attendre, ne s'observent pas dans les zones inférieures de la série de Beaufort.

Souvent les couches de grès sont remplies de disques plats de marnes, souvent aussi on trouve des concrétions de marnes consolidées. En d'autres termes, le type de dépôts offre de plus en plus d'analogies avec le faciès des couches rouges de la région du Précambrien et

avec d'autres régions de l'hémisphère Nord.

Au-dessus de la série de Beaufort, les niveaux de la formation du Karroo se distinguent par un développement encore plus important des horizons de grès massifs, constitués d'arkoses, contenant parfois des couches intercalaires de conglomérats et de houilles bitumineuses. Par contre, elles sont beaucoup plus pauvres en restes de Vertébrés, qu'on ne trouve que sous forme de fragments isolés très rares.

La faune des Vertébrés terrestres de la formation du Karroo est représentée par un nombre considérable de formes, dont le nombre s'accroît d'année en année, grâce aux fouilles effectuées. Le haut plateau d'Afrique du Sud sur lequel se trouve la formation du Karroo est soumis à une érosion intense, dans les conditions actuelles de climat sec et aride. Ainsi, il se forme d'innombrables ravins, de lits desséchés de rivière et de vastes aires d'érosion, dénudant la série suivant des directions très variées et contribuant en même temps à la mise à nu des couches et des districts ossifères. Grâce à cette érosion continue les recherches de fossiles sont rendues extrêmement faciles et les trouvailles de fossiles sont devenues phénoménalement courantes. Cependant, en Afrique du Sud il n'y a pas eu de fouilles systématiques, ni d'observations sur les conditions de gisement des os, ni d'étude de la structure des gisements. En fin de compte on connaît moins bien cette roche région d'enfouissement de Vertébrés terrestres que d'autres gisements du Permien. Les affleurements parfaits et l'abondance des trouvailles dans des couches très variées auraient pu fournir une très grande quantité de données utiles; si les recherches avaient été entreprises convenablement; à la place de cela nous devons nous contenter actuellement de renseignements fragmentaires et, parfois, inexacts. Il est profondément regrettable que telle soit la situation pour les gisements de Vertébrés terrestres permien, les plus riches du monde.

Parmi les horizons ossifères de Beaufort, les trouvailles de restes de Poissons, représentés par des Ganoides d'eau douce - Palaeoniscidés, ne sont pas rares. Les os et les écailles sont en général dispersés sans ordre, soit dans la masse de la roche, soit rassemblés en petites lentilles, ou couches intercalaires, remplies de fragments dissociés. En comparaison des restes de Quadrupèdes, les restes de Poissons sont plus rares. Dans la série de Beaufort, les Vertébrés terrestres sont représentés par les groupes fondamentaux suivants: Dans les horizons inférieurs les plus fréquents sont les Dicynodontes. Ces formes herbivores, plus petites dans les couches inférieures et plus grosses dans les supérieures, prédominent par leur nombre. Le rapport habituel des restes de Dicynodontes à ceux de toutes les autres formes, pour beaucoup de gisements est de 8 à 1 ou même de 9 à 1. On connaît environ 40 genres et 85 espèces de Dicynodontes, avec les Endocynodontes plus anciens et ayant gardé une dentition partielle; la majeure partie des espèces appartient au genre Dicynodon. Il est difficile de croire que ces chiffres correspondent à la réalité et on doit approfondir les recherches et apporter les corrections qui s'imposent. Dans la plus basse zone à Tapinocephalus prédominant les gros Dinocéphales (17 genres de Carnivores et 17 d'herbivores); plus rarement on rencontre des Paréiasauriens herbivores, pas très gros. On connaît 9 genres de Paréiasauridés (ne correspondant pas probablement à des genres naturels). Les Thérocéphales sont représentés par 4 familles et 24 genres, les Gorgonopsidés par 8 genres, mais ces deux groupes sont extrêmement rares par la quantité relative des restes. À côté de cette quantité considérable de Reptiles à aspect de Carnivores, on rencontre rarement un genre unique d'Amphibien: Rhinesuchus, gros Labyrinthodonte rachitique,

apparenté à Eryops des couches rouges des Etats-Unis. Dans la zone suivante, à Endothiodon, les Dinocéphales disparaissent, la variété (mais non la quantité) des Paréiasauridés diminue, les Thérocéphales deviennent uniformes et le nombre et la diversité des Gorgonopsidés s'accroissent (19 genres, avec 26 espèces). Ce nombre et la variété des formes de Dicynodontes dans la zone à Endothiodon sont deux fois supérieurs à ceux des Dicynodontes de la zone à Tapinocephalus. Dans la zone suivante à Cisticephalus - dernière zone permienne; les gros Paréiasauriens courants (3 genres) sont très nombreux, mais les Dicynodontes sont moins variés. Les Thérocéphales sont assez fréquents, le nombre des Gorgonopsidés devient encore plus important. Il apparaît des Reptiles supérieurs, à aspect de Carnivores - les Cynodontes et d'autre part des ancêtres des Archosauria, les futurs Reptiles dominants du Mésozoïque - les Eosuchia.

Les Stégocéphales sont rares, aussi bien dans la zone à Endothiodon que dans la zone à Cisticephalus et sont représentés par 1-2 genres et par autant d'espèces. Dans les zones plus élevées - du Trias, de la série de Beaufort, la quantité de Stégocéphales augmente; s'accroissent aussi la diversité et les dimensions des formes. Les trouvaillons de petits Cotylosauriens du groupe des Procolophonidés, sont très fréquents, le nombre des Cynodontes augmente fortement, apparaissent aussi d'autres groupes très voisins des Mammifères - les Bauria et les Ictidosauria. On rencontre de plus en plus souvent des Rhynchocéphalia et des Pseudosuchus - grosses formes analogues aux Crocodiles par leur adaptation. Les Dicynodontes et surtout les formes adaptées à la vie aquatique, le Lystrosaurus - sont extrêmement nombreux. Les Paréiasauriens et les Gorgonopsidés disparaissent, les Thérocéphales sont extrêmement rares et sont représentés par un seul genre.

L'étude de cette liste de répartition des principaux groupes suivant l'échelle stratigraphique, permet de voir que, à part les Dicynodontes qui prédominent dans les zones inférieures, prédominent les formes lourdes, grosses, ayant une tendance marquée à la vie aquatique, de même que les Dinocéphales, les Paréiasauriens et les Gorgonopsidés. Dans les horizons supérieurs, à faciès plus sableux, les formes d'adaptations sont mieux délimitées; d'une part on rencontre souvent des formes aquatiques typiques - des Stégocéphales, des Lystrosaurus, des formes aquatiques d'Archosauria et, d'autre part, des formes théromorphes terrestres supérieures - les Cynodontes, des Bauria et des Ictidosauria.

Dans les plus anciens gisements du Karroo les formes rares sont représentées par de petites formes primitives nocturnes, voisines des anciens Pelycosauriens (Anningia, Galesphyrus) et aussi par des Dromosauria très originaux, constituant probablement la branche terrestre des Edaphosauriens primitifs. La découverte unique d'Eumotosaurus, représente une forme voisine des ancêtres directs des Tortues. Dans les horizons plus élevés, les formes rares deviennent plus fréquentes et leur diversité s'accroît. Toutes sont représentées par des formes terrestres et souvent font preuve d'un caractère intermédiaire entre différents groupes de Reptiles (Holoosaurus, Millerina, Prolacerta, Palingwana), ou bien possèdent des caractères tout à fait nouveaux, non observés encore (Euchambersia, animal probablement véliminoux).

La répartition des restes des représentants de la faune des Vertébrés terrestres d'Afrique du Sud dans les roches ossifères est extrêmement intéressante. Dans les zones inférieures (à Tapinocephalus, Endothiodon), les Dicynodontes se rencontrent surtout dans les grès

et dans les marnes argileuses plus claires, associées aux précédents. Les restes de Dicynodontes se rencontrent, soit par squelettes entiers, soit sous forme d'accumulations d'os dissociés. Les Paréiasauriens ne se rencontrent jamais dans les grès; on les trouve uniquement sous forme de squelettes complets, le plus souvent couchés sur le dos, ce qui prouve que leurs cadavres furent transportés par les eaux. On trouve les Dinocéphales toujours sous forme d'os dissociés, de crânes isolés, ou d'accumulations d'os transportés. Les trois seuls squelettes complets de Dinocéphales (deux de Moschops et un de Scapanodon) étaient couchés sur le dos. Par conséquent, les restes des Dinocéphales furent également transportés par les eaux, mais probablement à partir de lieux plus éloignés que les Paréiasauriens, car les restes de ces derniers sont beaucoup plus complets. Les formes carnivores de caractère plus terrestre de Thérocéphales se rencontrent toujours sous forme de restes dissociés. Les animaux plus petits et plus rares, dont on a trouvé des squelettes entiers, périrent probablement non loin du lieu de leur enfouissement. Dans les couches plus élevées, les accumulations d'os deviennent plus rares, mais elles deviennent plus importantes, renfermant souvent une multitude de restes. Le type d'enfouissement dans des argiles calcaires est répandu; on rencontre aussi des cas d'enfouissement dans des concrétions. Dans le premier cas on trouve les formes les plus variées. Dans les zones triasiques supérieures de la série de Beaufort, dans les grès sont enfouies principalement des formes aquatiques de Stégocéphales, de Lystrosaurus. Dans les marnes et dans les argiles calcaires on rencontre très souvent des formes terrestres. On connaît des cas de découvertes de quelques ensembles de squelettes entiers de Stégocéphales, entortillés en une seule pelote (fig.13, pl.I, fig.2), ainsi que des Labyrinthodontes: Lydekkeria, Micropholis, Uranocentron, déposés dans des couches intercalaires de marnes situées au-dessus de la couche de grès. Ces accumulations se rapportent à de faibles dépressions du sol de la couche marneuse et sont toujours représentées par des individus d'une même espèce et approximativement du même âge. Il s'agit probablement de cas de destructions rapides d'animaux se trouvant dans des mares d'eau restées çà et là après la régression des eaux des plaines submergées. Les squelettes des petits Cotylosauriens terrestres (Procolophon) situés dans les concrétions d'argile se distinguent par leurs os blancs et érodés, prouvant une action du vent et du soleil. Dans les gisements d'Afrique du Sud, l'état de conservation des os est en général mauvais; les os à surface partiellement dissociée sont moins minéralisés que les roches encaissantes. Même les os enfouis dans les grès frappent par leur plus mauvaise conservation. Par rapport, par exemple, aux os provenant de l'ourylithème permien pré-ouralien d'URSS. D'une façon générale ceci prouve que l'enfouissement des restes de Vertébrés terrestres dans l'ourylithème du Karroo fut plus lent, mais en ce qui concerne la question de l'influence des roches sur l'état de conservation des restes, elle demeure et des recherches spéciales dans ce sens sont nécessaires. A côté des os de Vertébrés terrestres, on trouve des Mollusques d'eau douce - Antracosia (type à charnière dépourvue de dents), qui, parfois, forment des bancs entiers. On signale deux cas de trouvailles de gros os de Dinocéphales, entourés de coquilles d'Antracosia (Huern, 1925).

Dans son ensemble l'ourylithème du Karroo d'Afrique du Sud représente une vaste région de sédimentation permienne, différant par ses caractères principaux des régions des roches rouges d'URSS et des Etats-Unis, que nous avons décrites antérieurement. Il est cependant curieux que la région de sédimentation du Karroo aussi se trouve dans une immense zone

d'affaissement prémontagneux - Ortiéfe, entre les chaînes des Gondwanides, ces chaînes s'étant formées sous l'action de l'orogénèse hercynienne dans la région géosynclinale de Samfrau, au Sud et à l'Est et l'ancienne plate-forme d'Afrique du Sud, qui se trouvait à un niveau extrêmement bas, après la forte pression qu'avait exercée la couverture glaciaire. Les conditions climatiques aussi étaient réellement différentes et il n'y avait pas de mer à proximité; aux stades précoces de la sédimentation permienne dans le Karroo. En même temps, la grande superficie de la région affaissée a conditionné l'absence de faciès du type de plateaux (conglomérats permians de la zone I) caractéristique pour le pré-Oural, déposés à proximité immédiate de sédiments marins, conditionnant ainsi une large extension des faciès limoneux à grain fin et riches en substances organiques, analogues aux faciès de lagunes et d'estuaires, bien qu'ils se soient déposés dans une dépression continentale. De même, la lenteur d'enfouissement dans le Karroo se trouve en liaison directe avec l'intensité de dépôt plus faible des sédiments. Cependant, dans son ensemble, la sédimentation en Afrique du Sud, est plus importante et plus prolongée qu'en URSS par exemple. L'épaisseur totale des dépôts ossifères permians du Karroo est d'environ 3000 m et si on tient compte des dépôts du Trias on atteint 4000 m. Si on exclut la série d'Ecca, dans laquelle les restes de Vertébrés sont extrêmement rares, dans ce cas encore l'épaisseur des dépôts ossifères du Karroo dépasse celle de notre eurylithème préouralien de presque trois fois. Le Karroo se caractérise encore par la continuité des sédiments pour un énorme intervalle de temps géologique.

Les dépôts des zones inférieures du Karroo sont pauvres en fer, en carbonates et en sels, mais sont riches en substances organiques carbonées. Les grès contiennent en abondance des feldspaths non altérés. Les roches foncées uniformes sont tout à fait analogues aux sédiments des couches supérieures de la série de Dwyka, qui se sont substituées directement, dans le temps, aux tillites glaciaires. Probablement qu'après la disparition des glaces continentales, dont les moraines se sont conservées seulement dans les régions limitrophes des continents, dans les limites de la zone littorale marine s'est conservé une gigantesque plaine limitée au Sud et au Nord par les élévations des Gondwanides et par la bordure du bouclier africain.

A l'époque de Dwyka, cette plaine était recouverte de lagunes, qui, dans une certaine mesure communiquaient encore avec la mer. Les gisements à Méso-sauriens, avec des Poissons et des Invertébrés marins se rapportent précisément à cette époque.

Le climat froid et humide, ne facilitant pas la décomposition rapide des substances organiques, a créé les conditions nécessaires à leur accumulation dans les lagunes et dans les baies et à la grande diffusion de H₂S. Ce climat s'est étendu sur toute la région de bordure de l'ancienne glaciation, depuis l'Afrique jusqu'à l'Amérique du Sud, le long du géosynclinal de Samfrau. Ce caractère de la sédimentation a dû se maintenir pendant très longtemps, si on en juge d'après les masses considérables de sédiments limoneux, accumulés dans la région de sédimentation de Dwyka. Plus tard, au début de l'époque d'Ecca, le lien direct avec la mer disparaît. L'immense plaine se transforme en une plaine continentale exceptionnellement basse (réservoirs, lacs, reliés par des inondations temporaires), immenses étendues inondées profondément et fréquemment. A l'intérieur il y avait des forêts (encore partiellement de caractère carbonifère), à Lépidodendrons et à Sigillaires, tandis que dans des districts isolés, mois

marécageux, se développe une végétation gondwanienne (à Glossopteris).

Les sédiments limoneux, foncés, uniformes d'Ecca et des zones inférieures de Beaufort rappellent beaucoup les vastes champs de limons des plaines littorales des latitudes froides actuelles. La présence de combinaison de fer, uniquement sous forme oxydée, à côté de substances organiques non décomposées, parle en faveur d'un climat très humide et froid, ce qui est déjà très vraisemblable en raison de la glaciation de Gondwana. En remontant la série stratigraphique, il apparaît progressivement des roches bariolées, prouvant l'existence d'une érosion chimique périodique, provoquant l'altération des roches dans la région de sédimentation. Mais au début, ces périodes sont très brèves. Dans les couches permienes supérieures de Beaufort, les roches rouges sont déjà sensiblement développées, bien qu'elles ne soient pas encore prédominantes. Les intervalles séparant les périodes froides et humides deviennent probablement considérables, les masses d'eau diminuent et les submersions sont moins importantes et plus aussi profondes. Dans les zones triasiques de la série de Beaufort, le caractère des roches où prédominent les couleurs rouges et jaunes, c'est-à-dire, claires, indique une variation importante du climat; avec échauffement et diminution de l'humidité. La stratification des roches est plus désordonnée que dans les zones permienes, principalement dans les petits complexes. Les niveaux importants de grès montrent également l'intensification de la dénudation et la transformation définitive de la plaine en une dépression intermontagneuse, à enfouissement isostatique continu, comportant par moment des dépressions plus importantes. Le fait que l'apparition des grès dans la coupe des zones supérieures de Beaufort coïncide avec l'enfouissement d'animaux aquatiques en quantités plus importantes que dans les zones inférieures, est caractéristique. Ceci signifie que le dépôt de grès indique, soit une plus grande destruction des formes aquatiques, soit des conditions plus favorables à leur développement. L'insuffisance de nos connaissances sur les gisements du Karroo ne nous permet pas de résoudre de dilemme. En tout cas il faut signaler que dans l'eurylithème précambrien les Tétrapodes permienes sont enfouis de préférence dans les couches de grès. Dans le Karroo ces formes étroitement apparentées aux formes russes, sont enfouies principalement dans des sédiments à grains fins. Ceci révèle une marche inverse des processus d'enfouissement dans ces deux importantes régions de gisements de Vertébrés terrestres, dont nous connaissons encore très mal les propriétés.

À la fin du dépôt de la formation du Karroo (Molteno), la vaste dépression se transforme définitivement en une dépression intermontagneuse remplie de sédiments, à la surface de laquelle se développent des deltas de petites rivières. La présence d'une riche végétation, transformée en gisements houillers, montre que les conditions de marécages continuent à exister et, par conséquent, on ne peut pas parler d'une élévation appréciable de la région. Encore plus tard, se déposent les couches rouges (Red Beds) et, enfin, les Cave Sandstones, épais dépôts en partie dolieux, de couleur presque blanche. Probablement qu'à cette époque la plaine du Karroo s'est transformée en un véritable désert. La fin du dépôt des Cave Sandstones coïncide avec le développement de l'activité volcanique et l'arrêt de la sédimentation dans la plus grande partie de la plaine du Karroo.

Outre l'Afrique du Sud, les sédiments du Karroo s'étendent à une partie importante du bassin du Congo (couches de Lualaba et de Lubilaah, etc ...) et à l'Afrique orientale (Tanganyika, Nyassaland). Par tout ces sédiments se distinguent par la présence caractéristique de

Vertébrés. Au Congo, les dépôts du Karroo sont encore très mal connus, les trouvailles de Vertébrés sont encore trop fragmentaires et trop rares; pour cette raison nous ne les étudierons pas dans ce travail.

Sont mieux connus les gisements du graben de Ruhuhu, au Tanganyika dans la région de Songea (Nowack, 1937). L'épais niveau de sédiments affleurant ici est représenté par des roches du même type que celles d'Afrique du Sud. Au-dessus des grès et des conglomérats de base est déposé un niveau houiller, prenant par endroits une valeur industrielle. Ce niveau et ses équivalents correspondent à la partie médiane de la série d'Ecca. Au-dessus vient la série de marnes et de grès à grain fin contenant des restes végétaux de la partie supérieure de la série d'Ecca, ce sont les couches de Ruhuhu. Entre la série de Kingora, déposée au-dessus et la série de Ruhuhu, se trouve un horizon de marnes, de grès et de conglomérats, avec des couches ossifères intercalaires, de large extension. C'est l'horizon ossifère inférieur. Son épaisseur peut atteindre 100 m. La série des grès de Kingora a une épaisseur supérieure à 300 m. Elle est constituée de grès à blocs, à grains de mêmes dimensions, formant des couches épaisses. L'âge de la série de Kingora est considéré comme équivalent de la série de Beaufort supérieure, c'est-à-dire, partiellement triasique. Au-dessus on trouve la série de Manda, formée de grès et de marnes, d'une épaisseur de 140 m environ. La partie supérieure est ossifère et constitue l'horizon ossifère supérieur, correspondant aux niveaux triasiques de Molteno et aux couches rouges de la série de Stormberg en Afrique du Sud. Bien que les chercheurs anglais aient appelés "bone-beds" ces deux horizons ossifères, des recherches plus approfondies ont prouvé que ce nom ne correspond pas à la réalité, comme c'est d'ailleurs le cas pour un très grand nombre de "bone-beds" des géologues anglais, qui ne sont pas du tout exportés dans l'étude des gisements. Les restes de Vertébrés terrestres se trouvent sporadiquement dans des couches intercalaires puissantes, où les os sont dispersés dans la masse de la roche. Par endroits on rencontre des districts et des lentilles riches en os; ces accumulations d'os sont disposées sans ordre, aussi bien dans l'espace que dans les différents niveaux stratigraphiques. D'autres couches intercalaires et d'autres lentilles de l'horizon ossifère, qui, dans son ensemble, est très épais, ne contiennent presque pas de restes. Ce mode de répartition des restes de Vertébrés terrestres est très typique et se rencontre souvent dans les niveaux continentaux. Il est inutile de dire que le terme de "bone beds", c'est-à-dire de fines couches stratigraphiquement constantes, remplies de restes fragmentaires d'os, correspondant à un mode d'enfouissement caractéristique des faciès littoraux marins, ne convient pas du tout.

L'horizon ossifère inférieur du graben de Ruhuhu est constitué par des marnes foncées, relativement tendres, qui renferment des lentilles de grès grossier, dur, foncé, entassées les unes sur les autres et dispersées dans des horizons différents. Les épaisseurs des couches intercalaires lenticulaires de grès varient dans de larges limites, allant de quelques cm à plusieurs m.; souvent les grès se transforment en conglomérats. Ces lentilles forment des "trainées" s'étendant au loin, qui sont de minces couches intercalaires entre deux faisceaux de marnes. Les os commencent à apparaître, isolés, et très rares, à partir de 25 m. de la base de l'horizon ossifère inférieur: grès massifs, grossiers; contenant des troncs d'arbres silicifiés. couche atteignant une épaisseur de 10 m et déposée au-dessus de la

série de Ruhuhu. La répartition verticale des restes est intéressante. Une fouille à Kingora donne: à 32 m au-dessus de la base, 20 fossiles, à 38 m, environ 18 restes, entre 45 et 55 m; on n'a rien trouvé, de 55 à 63 m, 41 trouvailles et rien dans les 10 m suivants; entre 73 et 77 m on a récolté 31 groupes d'ossements; de 77 à 100 (fin de la coupe au point considéré) les os deviennent rares - à 87 m ce sont des restes dissociés de gros Dicynodontes et à 98 m on a des fragments d'os indéterminables.

On peut définir deux types principaux d'enfouissement des os. Le premier est celui des couches intercalaires de grès grossier, où toute la roche est remplie d'os et de fragments mélangés au hasard, formant une sorte de conglomérat ossifère. Extérieurement, ce type d'enfouissement est identique à un "bone-bed". L'épaisseur de ces couches intercalaires de grès riches en os atteint souvent 3-4 m. Il est certain que tous ces os se trouvent en dépôt remanié et certains sont fortement roulés. L'enfouissement dans les grès se produit dans la partie supérieure de l'horizon ossifère inférieur. L'autre type d'enfouissement, observé également dans cet horizon, est l'enfouissement dans les marnes. Ici, les restes des animaux se trouvent souvent sous forme de parties de squelette non disloquées. Cependant, les squelettes complets sont extrêmement rares et les os dissociés sont toujours déformés ou fortement déplacés les uns par rapport aux autres. Cetype d'enfouissement se caractérise par une répartition sporadique des restes dans les roches encaissantes. Plus haut nous avons indiqué la répartition des restes suivant la verticale dans les marnes du gisement de Kingora. La répartition horizontale a un caractère aussi sporadique et aussi irrégulier. Le troisième type d'enfouissement dans l'horizon inférieur, est le moins répandu et correspond au dépôt des restes dans des concrétions. Par endroits (à la base de la coupe de Kingora), on trouve dans les concrétions d'assez importantes quantités de restes, mais à d'autres endroits une partie seulement des concrétions contient des os isolés. De forme ronde ou lenticulaire, ces concrétions sont constituées de calcaire dolomitique, très dur, gris-brunâtre, avec mélange de silice. Les concrétions forment des couches intercalaires dans divers horizons de marnes et, quand il y a eu érosion, elles forment de vastes champs au pied des versants. Cependant, dans le voisinage de Ouzilo, les fouilles effectuées dans les niveaux à concrétions n'ont fourni aucun fossile et dans le voisinage de Mpolizi, on a trouvé un très petit nombre de squelettes. Cependant, la plupart des os provenant de l'horizon ossifère inférieur furent trouvés dans des concrétions. Des crânes entiers se rencontrent dans les grandes concrétions de 30-40 kg (Dicynodontes et Gorgonopsidés). Dans les concrétions ayant les dimensions d'un oeuf de poule on a trouvé de petits Theriodontes, mais plus souvent des fragments de crânes que des crânes entiers. Souvent dans les concrétions on trouve aussi des os des nombres et des vertèbres. Dans l'un des gisements de la vallée de N'Gako on a trouvé, dans un grès grossier, de nombreux Anthracosia, pas sous forme d'accumulations en bancs, mais seulement des entassements de valves les unes sur les autres. Les marnes de l'horizon ossifère inférieur se sont probablement déposées dans un grand bassin lacustre. Les cadavres des animaux dont les restes se trouvent dans les marnes, devaient nager à la surface de l'eau jusqu'à leur décomposition, après quoi ils tombaient au fond dans le limon, formant par endroits des accumulations sous l'action des courants aquatiques. Les grès ossifères sont le résultat de l'action de cours d'eau rapides, qui traversaient par moments les sédiments lacustres et érodaient les accumulations de squelettes déjà déposés, avec les sédiments ~~clastiques grossiers~~, au titre de fraction miné-

rale grossière.

De la faune de l'horizon ossifère inférieur de Ruhuhu signalons l'existence de deux formes aquatiques de Labyrinthodontes, des restes relativement fréquents de Paréiasauriens, quelques genres de Gorgonopsidés et de Thérocéphales, des restes assez nombreux de Cynodontes, appartenant à des formes primitives et terrestres (6 genres, 12 espèces).

L'horizon ossifère supérieur est également représenté par des marnes tendres et compactes, que l'on pourrait appeler argiles calcaires. La couleur dominante des marnes est grise et rougeâtre; souvent on trouve des variétés sableuses. Les marnes sableuses alternent avec des grès argileux, tendres, à grains fins, déposés en lentilles d'épaisseur variable, allant de minces couches intercalaires à des bancs massifs de quelques mètres d'épaisseur. Les os se trouvent dans la partie supérieure de l'horizon de Manda, dont l'épaisseur est d'environ 70 m. Les restes des animaux se trouvent dans les marnes, sous formes d'accumulations irrégulières de restes transportés et dissociés. Dans la majorité des cas, ces accumulations coïncident avec des affaissements de la surface de stratification, s'enfonçant dans la couche sous-jacente, qui le plus souvent est une couche de grès. Les os sont rares dans les grès et, en général, ils y sont mal conservés, quand le grès est tendre. Dans les grès plus durs les os trouvés sont en meilleur état de conservation. On doit supposer que leur mauvais état dans les grès tendres est dû en partie à des processus de destruction secondaires, intervenant dans ces milieux où l'érosion est intense. Ainsi, par exemple, nos gisements sylvétiques se distinguent par la parfaite conservation des os, même ceux des grès tendres, mais dans tous les cas nos gisements possèdent une couche supérieure de marnes, d'argiles calcaires et de calcaires qui les protègent de l'érosion.

Dans l'horizon ossifère supérieur, l'enfouissement des restes de Vertébrés terrestres devait se faire dans une vaste plaine périodiquement submergée, présentant des affaissements et des fossés, dans les limons desquels s'accumulaient les restes des animaux. La découverte de squelettes entiers, couchés à plat ventre, montre que parfois les animaux se sont enlisés dans la boue (immédiatement après leur mort) et que, par conséquent, ils ont été enfouis à l'emplacement même de leur mort. En même temps nous trouvons des squelettes couchés sur le dos. Ils appartiennent probablement à des cadavres, qui, gonflés par les gaz de leur décomposition, ont surnagé à la surface de l'eau jusqu'au moment de l'enfouissement. La plupart des restes se présentent comme des os dissociés, parfois entassés les uns sur les autres. Ces os appartiennent à des cadavres demeurés à la surface, après le retrait des eaux et qui, lors d'une seconde inondation se sont trouvés emportés et accumulés sous formes d'os dissociés. Pour tous des types d'enfouissement il n'est pas nécessaire de supposer un transport lointain des cadavres. Il est curieux que la plupart des squelettes, ou portions de squelettes, se présentent sans crâne et, quoiqu'il en soit, d'une façon générale, dans l'horizon ossifère supérieur, les crânes sont très rares. Ceci prouve que les cadavres furent essentiellement enfouis après leur décomposition, alors que les crânes pesants s'étaient détachés. Les gros et lourds Dicynodontes, de type aquatique, constituent la majeure partie des restes de la faune de l'horizon ossifère supérieur. Les petits squelettes fragiles, des petites formes terrestres - Cynodontes et Rhynchosaurs, sont toujours plus dissociés et on ne trouve que des os incomplets et rares. Jusqu'à présent on n'a trouvé qu'un seul crâne de Cynodontes. Dans la

faune de l'horizon supérieur on a trouvé, à part les Dicynodontes, des Cynodontes et des Rhynchocéphales, de rares Labyrinthodontes (restes très incomplets) et des Psudosuchia.

Le gisement faunistique de Karroo du Nyassaland (Tchiveta) ressemble beaucoup à celui que nous venons de décrire. Là aussi, nous rencontrons deux horizons ossifères, mais tous les deux appartiennent au Permien. Là aussi, les Dicynodontes, qui prédominent, sont associés à de petits Gorgonopsidés et un seul genre d'Amphibien. L'horizon supérieur appartient à la zone à Cisticophalus et l'horizon inférieur à la zone à Endothiodon. En Rhodésie du Nord, dans la vallée de Luang-Wa, on a découvert un riche gisement de faune du Karroo. Les restes de Tétrapodes se répartissent en 5 horizons ossifères des niveaux supérieurs de Beaufort, appartenant aux zones à Endothiodon et Cisticophalus. Dans l'énorme quantité de restes de Dicynodontes, on a trouvé de rares os isolés d'un genre de Paréiasaurien et un crâne de Gorgonopsidé. Les restes sont enfouis dans des grès à grain fin et dans des marnes sableuses stratifiées.

Sur les continents de l'hémisphère Sud on connaît d'autres gisements permien de Gondwana de Vertébrés terrestres, à Madagascar (Eliva), aux Indes et en Indochine, mais ces gisements sont très peu étudiés. Pour Madagascar, il est intéressant de signaler la découverte dans les couches les plus basses du Trias, d'une forme intermédiaire entre les Amphibiens anoures et les Stégocéphales (Protopatrachus), représentée par un seul squelette incomplet, découvert dans des couches marines pré-littorales, mêlé à des Poissons et des plantes terrestres. Dans la province centrale de l'Inde, les couches de Bidjora ont fourni un gisement de Tétrapodes permien contenu dans des grès d'origine deltaïque. Tous les restes appartiennent à des Stégocéphales.

Enfin, le dernier gisement de faune permienne de type gondwanien, fut découvert en Ecosse à Elgin. Il représente le point occidental extrême de l'extension des Reptiles gondwaniens en dehors des limites de l'URSS. Dans cette région on connaît quatre gisements, dont trois appartiennent au Trias supérieur. Ils contiennent des restes de petits Cotylosauriens-Procolophonidés, de gros Rhynchocéphales avec des mâchoires en forme de bec et divers Psudosuchia, ainsi que de rares spécimens de Dinosaures tout à fait primitifs.

Le gisement de Katties Hilloc est le seul d'âge permien dans le système d'Elgin. Les roches ossifères sont des grès clairs, déposés sur la surface érodée des Grès rouges dévonien et proviennent eux-mêmes de la destruction de ces derniers. Jusqu'à présent on n'a trouvé qu'une seule accumulation importante d'os, localisée dans une grande dépression en forme de poche à la surface des Grès dévonien. Par la suite cette accumulation fut entièrement exploitée. Dans les grès remplissant cette poche on a trouvé des os dissociés, et des crânes de Reptiles, se distinguant par leur parfait état de conservation. Ces restes appartiennent à une même forme de petit Paréiasaurien-Elginia, frappante par le développement des apophyses osseuses du crâne; on trouve aussi quelques Dicynodontes à crânes courts et larges. Le gisement permien d'Elgin est une seule accumulation, ce qui est exceptionnel pour les gisements permien et dont l'explication se trouve sans doute dans son âge tardif. De même pour le dépôt des os dans le fossé de l'ancien lit, ce qui ne s'observe pas dans les niveaux ossifères paléozoïques.

Nous avons parlé, à plusieurs reprises, des gisements de flores permien, à propos du passage du Carbonifère au Permien et de la des-

cription des gisements essentiels. Les types de gisements de flore permienne diffèrent considérablement de ceux du Carbonifère. Les gisements du type houiller sont en régression au point de vue de leur extension et semblent émigrer vers l'hémisphère Sud, où ils sont développés dans la première moitié du Permien.

Les faciès houillers atteignent un développement appréciable en Sibérie (bassins de Kouznetz et de Toungous; littoral de Yakoutie), ainsi qu'en Chine et aux Indes. Dans les dépôts du Permien supérieur du Pré-oural, la présence de restes Végétaux, sous forme de troncs d'arbres silicifiés ou de rares empreintes charbonneuses, dispersées dans le niveau de grès et, plus rarement, dans les marnes, est caractéristique. Dans les argiles calcaires rouges, très répandues dans l'euryolithème permien du Préoural, on ne rencontre pas de restes Végétaux. Ainsi, les gisements de Végétaux sont liés aux eaux fluviales, comme les restes de Vertébrés; dans les grès on rencontre surtout des restes d'associations forestières. Nous observons des conditions de gisement analogues dans les séries non houillères du système de Gondwana des Indes. Dans l'euryolithème des couches rouges des Etats-Unis, les gisements de flore sont rares et pauvres; dans les horizons supérieurs ils disparaissent totalement. C'est essentiellement dans les formations de caractères nettement continental, parfois de type désertique, que se trouvent les gisements de flore (Chan-Si en Chine; Beaufort en Afrique du Sud; Lualaba au Congo).

Il est très important de signaler que, bien que les gisements permien de flores soient des faciès continentaux plus caractérisés que tous les gisements carbonifères, aucun ne présente de caractère autochtone, sauf pour ceux de faciès houiller. Ceci prouve avec éloquent que l'autochtone des restes végétaux, avec conservation d'arbres en place, nécessite l'existence de portions de sol ancien, demeurant à l'endroit où ils poussaient. Une telle conservation n'est possible, pour le Paléozoïque, que dans les régions à sédimentation prolongée, où le substratum de sol n'est qu'une surface d'existence éphémère, d'une sédimentation sous-aquatique continue. Il est clair que seuls les faciès de forêts marécageuses, des régions de formations houillères, répondent à ces conditions. Plus loin, nous verrons que cette condition autochtone des restes végétaux se conserve jusqu'au Cénozoïque et que jusqu'à l'époque actuelle on ne connaît que 2 ou 3 exceptions à cette règle.

Les gisements de troncs d'arbres (surtout pour le Paléozoïque) se constituent en général dans des faciès différents de ceux où on trouve des restes de rameaux et de feuilles. Ils correspondent aux conditions taphonomiques suivantes:

a) Les restes de troncs d'arbres situés en dehors des faciès houillers du Carbonifère, appartiennent à des plantes poussant dans des forêts d'un type non marécageux, mais s'étendant au contraire sur les rivages des fleuves. L'association habituelle de formes, dans les gisements de couches sableuses encaissant les restes organiques, du Paléozoïque au Cénozoïque compris, comprend un mélange d'animaux ayant un mode de vie forestier et fluvial. Les gisements de troncs d'arbres se trouvant dans des grès sont, malgré tout, des productions forestières emportées au loin par les eaux. C'est ce transport au loin qui explique l'association des faciès sableux dans les gisements, c'est-à-dire le dépôt en commun de formes fluviales et forestières.

b) Les forêts du Carbonifère dans lesquelles nous rencontrons, ensembles, des troncs d'arbres et des feuilles, représentent un matériel déposé dans les couches houillères, correspondant à des forêts du type aquatique, poussant sur des sols sous-aquatiques, dans des eaux

stagnantes.

Notre étude des gisements paléozoïques de Vertébrés terrestres est naturellement très rapide et insuffisante. L'histoire des gisements a besoin de recherches futures; de nombreux détails n'ont pas encore été étudiés on ce qui concerne la structure des gisements, les conditions de dépôt et de conservation dans ces gisements des restes de Vertébrés terrestres et de Végétaux. Copiant, même tout à fait incomplet, cette étude des gisements permet d'avancer quelques comparaisons importantes. Avant de passer à cette étude comparative, il nous paraît logique de continuer celle des gisements au cours des époques géologiques plus récentes et de décrire de façon très schématique les principaux d'entre eux, pour posséder une base de comparaison plus large.

5- GISEMENTS de VERTEBRES TERRESTRES du MESOZOIQUE.

Au cours du Trias les gisements de Vertébrés terrestres acquièrent des caractères différents de ceux du Permien. Sur les continents de l'hémisphère Sud, la sédimentation dans les gigantesques dépressions du type du Karoo, continue du fait que l'affaissement lui-même continue. Plus haut nous avons décrit quelques uns de ces gisements triasiques d'Afrique, au même temps que ceux du Permien, pour montrer l'absence de différences réelles entre eux, à l'exception des conditions climatiques, qui, d'une façon générale deviennent celles de climat sec et chaud. Nous observons le même phénomène en Amérique du Sud, où on a trouvé de grands gisements des derniers Dicynodontes, Rhynchosaurs et Pseudosuchia dans les couches de Rio-do-Rasto au Brésil (dans les horizons triasiques de la formation de Gondwana aux Indes). Des dépôts analogues sont accumulés dans la dépression prémontagnonne des Appalaches aux Etats-Unis, où on a également trouvé une faune identique de Dicynodontes gigantesques et de Pseudosuchia variés. En URSS et en Europe occidentale, la salure des anciennes dépressions touche à sa fin et par suite du développement, d'une part, de la transgression marine et de la présence, d'autre part, de vastes plaines continentales, des gisements typiques de Vertébrés terrestres triasiques, se constituent. Les plus intéressants des gisements de Stégocéphales sont ceux de Labyrinthodontes néorachitomes situés dans la partie orientale de la plate-forme russe, qui s'étendent sous forme d'une bande de territoires de direction N.S., disposés parallèlement à l'axe de la chaîne de l'Oural, avec une extension encore plus grande que celle des couches rouges permiennoises les plus récentes. Dans les niveaux rouges du Trias inférieur, constitués d'argiles calcaires rouges et grises, il y a une fine couche intercalaire de grès tendre, contenant des os de Stégocéphales en parfait état de conservation (fig.14). La composition de la faune est très uniforme, avec prédominance des restes de deux formes fortement apparentées, associées à des fragments très rares de petits Reptiles, à des coquilles d'Anthracosia et à des écailles très rares de Poissons ganoides.

L'extension de la couche intercalaire ossifère, constamment présente dans tout le niveau, est considérable; elle s'étend de l'Ounja au Timan et de la Mezen au Don. Ainsi, la surface d'extension de cette mince couche intercalaire ossifère s'élève à des milliers de km² et la quantité d'animaux enfouis doit être considérable, c'est le plus vaste champ d'enfouissement. Les gisements se sont formés dans les limites d'une vaste dépression, qui a subi une importante inondation, avec destruction rapide et enfouissement d'une quantité invraisemblable d'Amphibiens aquatiques américains, ayant l'aspect de Crocodiles.

De tels champs d'enfouissement de Stégocéphales, également aquatiques, existent en Allemagne, dans des horizons presque synchrones de grès bigarré. L'origine de ces gisements remonterait à l'inondation temporaire de vastes plaines plates, ayant provoqué l'enfouissement de milliers d'animaux; cette inondation est en liaison avec l'arrivée de la transgression marine.

Les autres gisements triasiques d'Europe sont déposés dans des couches marines et représentent un apport de cadavres de Vertébrés terrestres dans la zone pré-littorale de baies anciennes, protégées contre l'action des vagues et du ressac. Tels sont les gisements de Stégocéphales du mont Bogdo en URSS, du Spitzberg, du Groenland, etc ... Les formations répandues de "bone-beds", ou de brèches ossifères - énormes accumulations de fragments d'os d'Amphibiens, de Dinosaures et même d'anciens Mammifères, sont intéressantes. Elles s'étendent en bandes étroites dans la zone littorale marine et, par la suite, elles ont donné de minces couches intercalaires constantes dans les sédiments marins. Ces gisements sont caractéristiques des régions de la transgression marine du Rhétien et se sont formés au cours de la destruction par la mer des régions continentales d'enfouissement, dans les plaines littorales. A côté de ces gisements d'origine marine, dans le Trias, on observe aussi des régions d'enfouissement continental, principalement dans les zones de marécages voisines des lagunes (schistes houillers et grès du Keuper), peuplés de formes aquatiques et marines pré-littorales de Dipneustes etc ... En Amérique du Nord également on trouve des gisements riches de Stégocéphales du Trias supérieur, situés dans des dépôts du type laguno-lacustre, avec enfouissement massif de formes du même âge (gisements de gros Labyrinthodontes - Butcheria, fig.15).

Il faut signaler que les traces de Vertébrés terrestres, dans les gisements continentaux du Trias, sont incomparablement plus fréquentes que dans le Paléozoïque, ce qui prouve que les régions d'enfouissement se rapprochent des régions d'habitat des animaux.

Les gisements du type de ceux du Trias supérieur du Connecticut aux Etats-Unis, montrent, pour la première fois, un cas d'enfouissement dans une plaine fluviale, même plus précisément, dans une vallée fluviale de cours inférieur. Ici aussi, on rencontre, en abondance, des traces d'animaux, parfois situés directement à la surface de la couche qui est venue se déposer sur le niveau ossifère. Selon les sédiments encaissants, la faune de la vallée de Connecticut, se caractérise par la présence, à côté de Crocodiles aquatiques, de Dinosaures terrestres.

Les gisements du Jurassique sont un mystère, parmi les plus intéressants de la paléontologie. Dans la section inférieure du Jurassique - dans le Lias - nous trouvons des gisements de Vertébrés terrestres situés dans des dépôts continentaux (sic.). Toutes les trouvailles connues se rapportent à des faciès marins, dans lesquels les formes terrestres sont représentées par de très rares trouvailles isolées. Tels sont les gisements connus de Holzmaden en Bavière, l'Oolithe inférieure d'Angleterre, etc .., riches en restes de Reptiles marins, contenant parfois de rares Ptérosaures, habitants du littoral. Le développement des faciès marins se continue au cours du Jurassique supérieur, où les sédiments typiquement marins sont partiellement remplacés par des sédiments de lagunes (Purbeckien, Portlandien, Kimméridgien, Oxfordien et Callovien d'Angleterre, schistes volgiens d'URSS, calcaires lithographiques de Solnhofen, argiles oxfordiennes de France du N.). Grâce à ces faits, ainsi qu'au dévelop-

pement des formes à adaptations marines parmi les Reptiles, nous connaissons une faune variée et très abondante de Reptiles marins, à l'inverse des formes terrestres, sur lesquelles les renseignements sont extrêmement sommaires. C'est uniquement en Australie, dans le Queensland du Sud, et en Argentine dans la province de San-Juan, que l'on a trouvé des restes de gros Dinosauriens, déposés dans des grès lagunaires ou lacustres, peut-être du Lias. Cependant, on n'a pas une détermination exacte de l'âge de ces gisements et il est douteux qu'ils appartiennent au Lias. d'après les formes qu'on y rencontre, qui sont habituelles au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur. De même, la détermination de l'âge des grands gisements du Jurassique supérieur des Etats-Unis et d'Afrique orientale, est également douteuse. Les vastes champs ossifères sont déposés, ici dans des sédiments continentaux deltaïques (formations de Morrisson aux Etats-Unis et du Tondaguru en Afrique), en alternance avec des couches marines (Tondaguru). Dans ces gisements sont concentrés des milliers d'individus de Dinosauriens, principalement des Sauropodes aquatiques, atteignant des dimensions gigantesques. Les gisements des formations de Morrisson et du Tondaguru, se rapportent soit, s'ils sont Jurassiques aux derniers dépôts de cette période, formant transition au Crétacé inférieur. L'important gisement de Vertébrés terrestres situé dans la province du Yunnan, en Chine, bien que considéré comme jurassique, appartient très vraisemblablement au Trias supérieur. On connaît des cas isolés de trouvailles, extrêmement rares, de fragments de Reptiles terrestres dans les bassins houillers jurassiques, mais ces dépôts sont probablement situés à la transition entre Trias et Jurassique. Il est intéressant de signaler le développement de la formation de houille au cours du Jurassique, en coïncidence avec l'extension d'une flore hygrophile et thermophile, quantitativement riche, mais uniforme. Ainsi, au cours du Jurassique nous trouvons des conditions identiques, dans une certaine mesure, de celles du Carbonifère. Il est évident que l'absence de gisements de formes terrestres est en relation directe avec le caractère de la sédimentation jurassique, ce qui aide à comprendre les propriétés des gisements de Vertébrés terrestres au cours du Carbonifère.

Les gisements de la faune jurassique de Vertébrés terrestres, à formes continentales, peuvent se rencontrer avant tout dans les régions de sédimentation gondwanienne, là où le processus de dépôt de sédiments a continué au cours du Jurassique, conservant le même régime de grandes dépressions continentales, qui a continué, dans la majorité des euryli-thèmes ossifères des continents de l'hémisphère sud, jusqu'au Trias supérieur. De ce point de vue le bassin du Congo en Afrique, où la sédimentation du type Karroo a commencé plus tard, mais a duré plus longtemps qu'en Afrique orientale et en Afrique du Sud, est extrêmement intéressant. Les sections supérieures des couches de Lualaba ont probablement un âge jurassique inférieur et la découverte dans ces couches de gisements de Vertébrés terrestres nous fournirait la faune du continent au Jurassique inférieur.

Les gisements de Vertébrés terrestres du Crétacé sont largement répandus et se distinguent souvent par des dimensions importantes. Au cours du Crétacé inférieur, ils sont liés plus souvent à des sédiments deltaïques et lacustres qu'au cours du Crétacé supérieur, cependant tous les gisements les plus importants du Crétacé supérieur sont également déposés dans des couches d'origine deltaïque, lacustres ou même lagunaires. Au cours du Crétacé tout entier on rencontre des gisements de Reptiles marins dans des dépôts de lagunes, de baies, de littoral et même du large de la mer. Par endroits ces gisements contiennent des

restes de milliers de Reptiles habitants de la mer, comme par exemple, les gisements de Mosasauridés du Crétacé supérieur d'Amérique du Nord.

Nous avons déjà parlé des gisements de Dinosauriens terrestres du Crétacé inférieur. Les plus importants sont ceux de Tendaguru en Afrique orientale - dépôts de grands deltas, à stratification alternée de couches marines; la formation de Morriston aux Etats-Unis - dépôts deltaïques et lacustres contenant des Dinosauriens et des couches intercalaires avec des restes de Végétaux; les dépôts du Crétacé inférieur du Wyoming, contenant des accumulations massives de Dinosauriens gigantesques; les dépôts lacustres contenant des Poissons, une grande quantité de restes végétaux; des Esthéries, des couches intercalaires de "schistes papyracés", riches en restes de Poissons, représentés dans les gisements de Mongolie par un faune de Dinosauriens peu nombreux.

A côté des gisements formés dans des conditions deltaïques et sub-littorales, par endroits on alterne avec des couches marines (Bakari en Egypte; Madagascar; Crétacé du Sud de l'Angleterre. Australie centrale; grès rouges d'Argentine), on connaît dans le Crétacé supérieur toute une série de gisements présentant un caractère de sédimentation beaucoup plus continental. Tels sont, en partie, les dépôts du Crétacé supérieur des Etats-Unis, très largement répandus dans le domaine du massif continental de l'Atlantique Nord; par exemple la série de Laramie - puissant niveau de grès, d'argiles et de lignites, pouvant atteindre 4000 m de puissance. La plus grande partie de ce niveau, contenant également des gisements de Dinosauriens, est constituée par des sédiments de lagunes et de deltas, mais on rencontre souvent aussi des dépôts de vastes vallées fluviales; de petits lacs, de petits marécages, c'est-à-dire de faciès appartenant à des plaines intra-continenteles, renfermant beaucoup de restes de Dinosauriens typiquement terrestres, comme par exemple, les Cératopsidés, les Ornithomimidés. On connaît des trouvailles provenant des dépôts éoliens, avec des momies réalisées de Dinosauriens et formées directement à la surface subaérienne, à proximité du bassin aquatique.

Les dépôts du Crétacé supérieur de Mongolie, à gisements riches en Dinosauriens, déposés dans des bassins lacustres de vallées intermontagneuses, sont très intéressants. Ici, les couches ossifères sont souvent constituées de brèches proluviales, en stratification alternée avec des sédiments lacustres, les restes des Dinosauriens les plus terrestres se rencontrant sous forme de squelettes complets enfouis dans des argiles lacustres rouges, tandis que les formes à adaptation aquatique se trouvant dans les couches bréchiques sous forme de fragments dissociés, souvent associés à une grande quantité de restes de Tortues aquatiques. Un des gisements mongols - Bain-Dzak (Chabarak-Oussou) est remarquable par le fait qu'il représente la partie sub-aérienne conservée du delta d'un petit cours d'eau se jetant dans un bassin lacustre. Les dépôts sont constitués presque exclusivement par des sables à grains calibrés, en partie d'origine éolienne. La région du delta, avec des dunes sableuses, a subi des inondations périodiques, ce qui est prouvé par les trois horizons marneux, qui coupent l'épaisseur des sables. Dans le sable on rencontre des squelettes complets de petits Dinosauriens-Protoceratops; terrestres, avec des os fortement altérés et blanchis par l'érosion. Dans les niveaux supérieurs sont déposées des couches intercalaires de millions de petites concrétions de grès dur contenant des crânes de Mammifères crétacés (extrêmement rares) et des oeufs de Protocera-

tops. Enfin, dans les sables les plus supérieurs, nous trouvons des amas d'oeufs de Protoceratops, enfouis dans des sables éoliens, dans la position même qu'ils avaient quand les femelles les ont déposés et préservés par le dépôt des sédiments argilo-sableux de la dernière inondation. Ainsi, dans le gisement de Bain-Dzak, nous rencontrons, pour la première fois, des enfouissements de type incontestablement autochtone. Il est cependant curieux que ces enfouissements ne contiennent pas les animaux, mais leurs oeufs. (D'après des données toutes récentes, obtenues par les deux dernières expéditions de l'Académie des Sciences de l'URSS, ces oeufs appartiennent probablement, non pas à des Dinosauriens, mais à de grosses Tortues d'eau douce).

Le plus grand gisement de Dinosauriens de Mongolie est celui de Nomoghoton, découvert par l'expédition soviétique de 1946, équivalent par ses dimensions de celui du Tendaguru en Afrique, sinon plus important. Ce gisement représente un ensemble d'anciens lits puissants (de 2 à 5 km de diamètre), traversant les dépôts sablo-argileux azoïques des grands bassins d'eau douce (fig.16). Les lits sont remplis de lentilles de sable, de grès, de graviers, et de conglomérats à stratification oblique, irrégulièrement entassés les uns sur les autres et avec des lentilles subordonnées d'argile compacte. Les sables et les grès se sont déposés au cours de la première phase de l'installation des lits dans les horizons inférieurs; les horizons supérieurs sont représentés par des conglomérats et petits galets. L'extension des conglomérats est sensiblement plus importante que celle des horizons ossifères inférieurs. Dans les sables et grès inférieurs on rencontre souvent des squelettes complets de divers Dinosauriens, principalement des Carnosauriens carnivores et des Trachodontes herbivores à casque. Les Sauropodes sont sensiblement plus rares et on les trouve sous forme d'os dissociés. Dans les horizons supérieurs, formés de conglomérats et de sables stratifiés, jaunes, on rencontre surtout des Tortues aquatiques, des Crocodiles, de petits Dinosauriens carnivores, et, bien plus rarement, des portions isolées de squelettes de gros Carnosauriens et de Trachodontidés. On trouve assez souvent de petits bancs de Mollusques d'eau douce et des vertèbres de Poissons d'eau douce. Les restes végétaux sont extrêmement rares; ils n'existent que dans les lits sableux de faibles dimensions; dans la région d'Oulan-Oula on trouve des troncs silicifiés d'arbres. Les lits ossifères de Nomoghoton correspondent à des apports relativement lointains de restes de Dinosauriens (fig.17),

Les importants gisements de Dinosauriens du Crétacé supérieur d'URSS, en Asie Centrale, présentent un intérêt considérable. Nous avons ici toute une série d'accumulations d'os, disposées suivant une surface E.W. s'étendant le long de la bordure septentrionale des édifices montagneux du Tian-Chan. Nous citons les gisements de Sary-Agatch dans le voisinage de Tachkent, de Bissekta dans le Kyzyl-Koum, de Bozaba dans la région du cours inférieur de la riv. Tchou, de Karatchok et de Kalkan dans la vallée de la riv. Il. Tous ces gisements représentent des romparts gigantesques d'os de Dinosauriens, mêlés à du sable et des galets, l'ensemble étant, par endroits, cimenté par du gypse, des sels de fer et de manganèse, ou montrant des traces de silicification secondaire. En général, formant comme des terrasses, appuyées contre les massifs paléozoïques, et reposant sur de gros amas de galets de type proluvial. Le gisement de Sary-Agatch, qui se distingue par le meilleur état de conservation du matériel, est déposé dans une région qui, primitivement représentait une grande plaine inondée de type deltaïque. Il se trouve en contact direct avec des couches marines. Dans les gisements on trouve, mélangés, des restes de Dinosauriens des groupes et

espèces les plus variées, de dimensions différentes et souvent fracturées, portant des traces d'altération et roulés. Les quantités d'os accumulés sont, dans certains gisements, invraisemblables. Le gisement de Bozaba (le plus important) contient des millions de tonnes de fragments d'os de Dinosauriens, ce qui représente des milliers d'individus. Les autres gisements contiennent aussi des quantités colossales de matériel osseux. Ces gisements se sont formés par suite de l'érosion d'autres gisements antérieurs encore plus importants. Les gros os, déjà fossilisés, en raison de leurs dimensions et de leur poids, constituent la fraction résiduelle des niveaux érodés et, actuellement, ils sont dans un niveau non pas Crétacé, mais Eocène. On doit penser que les gisements initiaux, visiblement formés dans des deltas de rivières prémontagneuses, sur le littoral d'un bassin marin, étaient exceptionnellement vastes. Cet exemple de destruction de gisements gigantesques, en Asie Centrale, prouve avec éloquence la rapidité et la puissance des érosions de gisements au cours des processus géologiques.

D'une façon générale nous possédons un grand nombre de gisements de faune terrestre du Crétacé, bien que la transgression marine de cette époque ait été encore plus puissante que celle du Jurassique. Ceci montre, une fois de plus, l'originalité de l'enfouissement au cours du Jurassique. Ceci doit être en relation avec l'intensification des processus d'orogénèse au cours du Crétacé.

Dans les dépôts crétacés nous trouvons un grand nombre de traces d'animaux terrestres situés en dehors des couches spécifiquement ossifères. Les pistes gigantesques de Sauropodes trouvées dans les dépôts du Crétacé inférieur des Etats-Unis, sont extrêmement intéressantes; nous trouvons dans ces dépôts les pistes d'animaux isolés ou de troupes entières, s'enfonçant profondément dans le sol argileux sous-aquatique, sur lequel se promenaient ces énormes animaux, dans des bassins de 4-5 m de profondeur. Les traces de gigantesques Dinosauriens (non des Sauropodes, mais des bipèdes), faisant des pas de 5 m, ce qui laisse supposer pour ces animaux une hauteur de 11 m. au minimum, sont encore plus intéressantes. Ces empreintes de pas tridigitées, d'une longueur de 1,4 m, ont été découvertes dans la formation houillère de Mesa-Verde (Crétacé inférieur des Etats-Unis), au toit des couches houillères du Colorado occidental (Montagnes Rouges, près de Sederedni, à 120 m de profondeur), de Chesterfield (Etat d'Utah), etc ... Ces pistes montrent la présence de Dinosauriens gigantesques dans des forêts marécageuses, de régions houillères du Crétacé inférieur. Les formes rares des gisements crétacés sont des Mammifères terrestres, des Oiseaux et des Raptilos adaptés à la vie sur le continent loin des bassins aquatiques.

GISEMENTS de VERTEBRES TERRESTRES du CENOZOIQUE.

Les gisements de Vertébrés terrestres du Cénozoïque diffèrent de ceux du Paléozoïque et du Mésozoïque, par un grand nombre de caractères essentiels. Il faut d'abord signaler la diversité des types de gisements et de sédiments encaissants, qui se révèle comme incomparablement plus grande qu'aux autres ères. Outre, les deltas, les dépressions prémontagneuses, les lacs, les marécages de plaines de dépressions intracontinentales, habituels pour les périodes anciennes, les gisements du Cénozoïque se sont formés dans des alluvions fluviales, dans des dépôts éoliens, dans des couches tufogènes (cendres volcaniques), dans des lacs d'asphalte, dans des dépôts de très petites

vallées de montagne, etc ...

Une autre particularité des gisements du Cénozoïque est que, parmi les restes qui s'y trouvent, prédominent les formes à adaptation terrestre; cela correspond très certainement au fait qu'au cours du Cénozoïque ce sont les Mammifères qui prédominent parmi toutes les classes de Vertébrés terrestres, car ils sont les mieux adaptés à ce mode de vie. La faible quantité de formes aquatiques se trouvant dans les gisements cénozoïques résulte probablement de la prédominance des faciès purement terrestres sur les continents accessibles à l'étude. Etant donné qu'au Cénozoïque les continents ont sensiblement leur superficie actuelle; la majorité des milieux aquatiques importants, deltaïques et marins, demeurant au-dessous du niveau de l'eau, ou, comme ceux des dépressions prémontagneuses, ne sont pas encore venus à l'affleurement. Au contraire, les dépôts typiquement continentaux apparaissent avec toute leur diversité. Ces particularités du Cénozoïque sont d'autant plus manifestes que les gisements étudiés se situent plus haut dans l'échelle stratigraphique.

Pour les niveaux les plus anciens du Tertiaire, nous trouvons encore des gisements importants, analogues aux types prédominants pendant le Secondaire et, même, exceptionnellement, du type du Paléozoïque.

Les gisements de l'Eocène et du Paléocène, ainsi, que la majorité de ceux de l'Oligocène, sont liés à des dépôts marins littoraux, deltaïques et lagunaires. Ils correspondent aussi à des dépôts de lacs et de marécages importants.

Dans la majorité des cas les gisements de la plus ancienne faune de Mammifères d'Europe se trouvent dans des sédiments marins du Paléocène et de l'Eocène (conglomérats de Cornay, argiles gréseuses de l'étage Londonien et gypse de Montmartre en France, argile de Londres en Angleterre); nous observons le même phénomène pour l'Eocène d'Egypte (couches de Mokattam et du Fayoum inférieur), pour le Paléocène de Patagonie et du Brésil (Simpson, 1940). Les gisements de l'Eocène d'Amérique du N. contiennent des horizons ossifères assez riches, situés dans des dépôts de caractères deltaïques, fluviaux et du type des "plaines inondables". Aux Etats-Unis (comme dans d'autres pays) on ne connaît pas pour cette période de dépôts de régions plus élevées du continent. Une propriété spéciale aux gisements éocènes des Etats-Unis, est la stratification constante; on alterne, de produits volcaniques (laves, cendres, tufs, etc ...).

Au cours de l'Oligocène, les gisements du type mixte - deltaico-marin - deviennent rares. Prédominent au contraire les dépôts lacustres et deltaïques de régions plus éloignées de la mer (gisements d'Indriathorium du Kazakhstan; gisements identiques de Mongolie; phosphorites et argiles rouges de Quercy en France; couches de Ronzon dans le Massif Central français, etc ...). La majorité des gisements oligocènes d'Europe représente des accumulations isolées, souvent ayant chacune une origine particulière. Tels sont les gisements du Quercy, dans lesquels les accumulations d'os sont formées dans des roches argileuses karstiques, dans des fissures et les creux des calcaires jurassiques. Des gisements analogues sont répandus dans le Jura suisse (Osborn, 1910).

Comparés aux petits gisements nummulitiques européens, ceux d'Asie et d'Amérique du Nord, possèdent des dimensions et des puissances considérables, bien qu'ils ne soient pas comparables aux gigantesques outylithèmes du Paléozoïque.

Jusqu'à présent, sur le vaste territoire de l'Union soviétique, on n'a pas trouvé un seul gisement de Vertébrés terrestres d'âge éocène, si on ne tient pas compte de ceux de Dinosaures, d'Asie centrale,

mentionnés ci-dessus, dont j'ai, provisoirement, fixé l'âge comme Eocène. Cependant, on ne peut aucunement les considérer comme contenant une faune éocène, car ils renferment des restes d'une faune crétacée, qui représentent la fraction résiduelle lourde de type éluvial de sédiments plus anciens.

De même, nous n'avons pas de gisements de l'Oligocène inférieur. Au Kazakhstan, dans l'Oligocène moyen et supérieur, on a découvert d'importants gisements de faune d'Indricotheriidés gigantesques, dont le type d'enfouissement est celui des cadavres flottants dans de grands bassins submergés dans le lit de cours d'eau creusés dans les dépôts éocènes marins (gisements du littoral oriental de la mer d'Aral formés de lentilles argilieuses situées entre des couches de calcaire), soit dans des sédiments lacustres continentaux (lentilles sablo-argilieuses de Bozyngonoura, lac de Tcholkar-teniz). Dans ces gisements sont enfouis, principalement, de gros et petits Rhinocéridés, parfois à l'état de squelettes complets; on y trouve rarement des restes d'autres petits Mammifères et de Tortues.

Les autres gisements du Kazakhstan, appartenant déjà au Miocène inférieur, représentent, soit de très intéressantes lentilles de galets anciens, avec des os dissociés et fragmentés de *Chalicotherium*, de Rhinocéridés et autres animaux - ensemble déposés dans des lits de rivières (As-Kazan-Sor), soit des lentilles en forme de "poches" de lits de rivières, renfermant des squelettes complets de petits Rhinocéridés et de Mastodon (*Djilantchik*).

Des gisements de l'Eocène et de l'Oligocène inférieur, furent étudiés et partiellement déterminés par l'expédition soviétique de Mongolie. L'un des plus importants est le gisement d'Erghil-Obo, dans la région de Gobi oriental (fig.18); il montre deux phases d'enfouissement: la plus ancienne se situant dans des sédiments lacustres à grain fin, où sont enterrées des portions macérées de squelettes de *Titanotherium* et de *Rhinoceros* (Eocène supérieur); la seconde phase (probablement Oligocène inférieur) correspond à un grand lit fluvial, installé dans les sédiments lacustres signalés ci-dessus. Cet ancien lit est formé de graviers, de galets et de sables à stratification oblique très nette, beaucoup désordonnée et contrastée que la stratification oblique des lits du Crétacé de Nomoghoton. Dans les graviers et les sables du lit d'Erghil-Obo, on rencontre des os dissociés, mais parfaitement conservés, de *Titanotherium*, de *Rhinoceros*, de Carnivores de Rongeurs, de Paridigités et d'Oiseaux. Dans des dépressions isolées de la surface érodée on trouve des squelettes entiers de *Rhinoceros*, ainsi que des accumulations de crânes, de vertèbres et de membres. Dans les conglomérats supérieurs on trouve en abondance des fragments d'énormes Tortues, parfois même des squelettes entiers.

Les gisements des grands Bad-Lands des Etats-Unis, comme par exemple l'eurylième de White-River (Dakota, Nebraska, Wyoming et Colorado) se distinguent par leurs dimensions exceptionnellement importantes. Ce puissant niveau (jusqu'à 2000 m), formé de sables, de grès, d'argiles et de conglomérats, déposés en partie en concordance sur l'Eocène, ou érodant, pour une part, les séries continentales des sections les plus élevées du Crétacé, passe plus haut à des séries analogues du Miocène inférieur. Les conditions de sédimentation nous font supposer l'existence d'une immense plaine du type des plaines "inondables", traversée de cours d'eau et couverte de lacs isolés, souvent desséchés. Cette plaine s'est développée sous forme de plaine allu-

viale, où se déposaient les produits d'érosion de régions crétacées supérieures, s'accumulaient dans la dépression prémontagneuse des Rocheuses. Dans les sédiments on rencontre, par endroits, des dépôts éoliens, ou des dépôts d'eaux stagnantes, parmi lesquels se sont formées des lentilles en forme de rubans de grès grossiers et de conglomérats (Cannel-sandstones), correspondant à des sédiments fluviaux. La répartition des restes de Mammifères entre ces divers types de couches est intéressante. Les grès fluviaux montrent toujours une prédominance d'animaux forestiers et fluviaux, tandis que les argiles contiennent principalement des formes de "courseurs de steppes". Ainsi, la répartition des restes dans les gisements, indique les mêmes rapports que ceux que nous avons observés pour les gisements paléozoïques du Karroo et d'URSS, à cette différence près qu'au cours du Tertiaire, les formes à adaptation terrestres sont plus importantes. Cependant, les rapports généraux demeurent les mêmes. Il faut supposer que ce phénomène se rattache à des lois de l'enfouissement dans des régions de sédimentation identiques.

Dans les dépôts fluviaux de la série de White-River, on trouve parfois de grandes quantités de restes de Crocodiles, qui sont, en général, très rares dans les gisements du Tertiaire. Les restes de flores sont très rares dans les gisements du type de White-River.

Un type tout à fait particulier de gisements du Tertiaire inférieur est celui que nous observons dans les bassins charbonniers de l'Eocène et de l'Oligocène. Le mieux connu de ceux-ci est celui de Gaiseltal, situé dans les charbons bruns de l'Eocène d'Allemagne, récemment découvert et étudié en détail. D'autres gisements, situés dans des bassins de lignites possèdent des propriétés identiques. Le bassin de Gaiseltal, de très petites dimensions (11 km de longueur, pour 4 de largeur) est déposé, probablement, dans une dépression de "sbras" du socle principal de l'Allemagne centrale. Les couches de charbon atteignent une épaisseur considérable, 50 m au total pour les deux couches principales. Ce sont essentiellement des charbons autochtones, contenant quelques niveaux "étagés" de troncs d'arbres ayant conservé leur position naturelle et sectionnés au niveau de l'eau stagnante du marais inondable. Les processus du dépôt du faciès charbonnier de Gaiseltal sont équivalents de ceux des marécages tropicaux actuels, plus exactement des forêts marécageuses de Floride et des îles de la Sonde, situées presque exactement au niveau de la mer et périodiquement inondées. Les restes animaux conservés dans le gisement de Gaiseltal sont apportés par flottaison et leur conservation est en rapport avec la diminution des eaux humides acides qui, en général, détruisent les restes animaux. La présence de résine est également favorable à la conservation. La répartition des restes animaux dans le gisement de Gaiseltal a été étudiée en détail et peut servir comme excellent matériel pour une analyse de la genèse de gisements. La faune de Gaiseltal comprend des Mammifères, qui probablement vivaient dans des forêts, principalement des Imperidigités Tapiroïdés - des Lophiodon, ainsi que des Chalicotheriids et des Dichobunids. Plus rarement on y trouve des Marsupiaux, des Rongeurs, des Créodontes, des Lémurien et des Cheiroptères. Tous les ossements de ces animaux sont fortement dissociés, on ne trouve pas de squelettes entiers. Par contre les parties molles se conservent d'une façon inhabituelle, sous forme d'empreintes ou de morceaux de substances organiques soustraits à la destruction probablement par l'action balsamique des résines et des substances tannantes. Le plus fort pourcentage de restes de faune du gisement de Gaiseltal revient aux Vertébrés inférieurs, généralement absents dans les gisements du Tertiaire. Ceci est dû très certainement au caractère particulier

du faciès de Gaiseltal, qui correspond à des conditions de vie anciennes des Vertébrés terrestres, qui convenaient pour le développement des Quadrupèdes de type primitif. On y a trouvé une multitude de restes de Tortues, de Tritons, de Serpents pythonomorphes, plus rarement de Lézards et de Grenouilles. On a découvert 6 squelettes complets de Crocodiles d'âges différents. Dans les roches encaissant les couches fossilifères on a rencontré une grande quantité de coprolithes de Crocodiles. On connaît des trouvailles isolées d'Oiseaux. Ainsi, le gisement de Gaiseltal nous fournit des restes de Quadrupèdes inférieurs, inconnus dans d'autres gisements, où les conditions de conservation sont défavorables pour ces formes (Voigt, 1935; Walther, 1932; Weigelt, 1933, 1939). Dans des bassins de charbons bruns d'âge plus tardif (Miocène), analogues à celui de Gaiseltal, nous ne trouvons pas de Vertébrés terrestres, bien que l'on rencontre de façon sporadique de rares fragments isolés d'os contenus dans de minces couches intercalaires non charbonneuses. Dans ces bassins de charbons bruns miocènes, prédominent les restes de Conifères et de Taxodium, que l'on ne rencontre pas dans les forêts marécageuses inondées. Ces charbons correspondent à l'accumulation des produits de destruction des massifs forestiers humides et non à des marécages tropicaux périodiquement inondés. Pour cette raison, dans ces couches il n'y a pas les conditions nécessaires à la formation de gisements de Vertébrés terrestres, ni à l'accumulation de leurs restes, ni à la conservation de leurs os.

Les gisements miocènes. En Amérique du Nord, les gisements miocènes se sont formés, pour la plupart, dans les mêmes régions de sédimentation que les gisements du Tertiaire inférieur, mais leurs dimensions sont plus restreintes et ils sont plus dispersés. Dans les gisements du Miocène inférieur de John Day il faut citer de curieuses forêts enterrées sous des cendres volcaniques et des coulées de basaltes. Les souches minéralisées des arbres se trouvent dans leur position naturelle, leur système racinaire plongeant dans le sol de l'Oligocène supérieur (également mêlé à des cendres), contenant des restes de Chamois anciens.

Les gisements miocènes d'Europe se rencontrent souvent dans des couches marines et ont des dimensions insignifiantes. Comme exemples citons: les molasses d'Allemagne du Sud, les lignites d'Autriche et d'Espagne, contenant des restes de Mastodon, de Dinotherium et de Rhinoceros, le gisement d'Eldar en Géorgie (faune de Mammifères terrestres à Hipparion, avec des restes de Cétacés), la formation patagonienne en Amérique du Sud. Ces gisements continentaux du Miocène sont plus répandus et plus variés; dans la partie méridionale de la plateforme russe nous trouvons un grand nombre de gisements de Mammifères, principalement à faune à Hipparion. Des gisements du même type sont répandus en Europe, en Egypte, en Afrique orientale, dans les parties asiatiques de l'URSS (Kazakhstan). On connaît d'importants gisements miocènes dans le Nord des Indes, dans les couches de Manhar et de Bugti, à la frontière du Bélouchistan. La composition et les conditions de gisement de ces deux séries reproduisent presque exactement la structure des grands gisements du type de White-River. Ainsi, ils se rapportent à des régions de sédimentation de grandes plaines inondables, traversées par des lits de cours d'eau à sédiments clastiques grossiers.

Les gisements du Pliocène sont encore plus dispersés et se distinguent par leurs dimensions encore plus faibles que pour ceux du Miocène.

ne. Les gisements du Pliocène inférieur sont remarquablement rares dans tous les pays, sauf aux Indes. D'autre part, les gisements pliocènes se distinguent par l'enfouissement de restes animaux fortement dissociés et, pour cette raison, les squelettes complets sont beaucoup plus rares qu'au cours du Miocène par exemple. En Europe, par suite de leur lien avec les sédiments pré-littoraux et marins, les gisements du Pliocène sont représentés par des accumulations plus riches et plus complètes qu'en Amérique du Nord. Ici, le régime continental est installé depuis longtemps, au cours de son développement il a conditionné, après une large accumulation de niveaux du Tertiaire inférieur (beaucoup plus puissants et beaucoup plus nettement continentaux que ceux d'Europe), l'érosion et le dépôt sporadique des sédiments du Tertiaire supérieur.

Dans l'histoire des faunes de Mammifères du Tertiaire supérieur il y a une lacune évidente, due à l'absence de toute une série de groupes de transition entre les faunes du Miocène et celles du Pliocène; cette lacune est une conséquence de la rareté des gisements du Pliocène inférieur. Les causes de la mauvaise conservation des Vertébrés terrestres dans le Pliocène inférieur doivent être étudiées, mais on peut dès maintenant signaler quelques variations physico-géographiques générales, liées aux processus géotectoniques de croissance des édifices montagneux et des élévations continentales. Au cours du Pliocène, les bassins marins acquièrent leurs caractères actuels et les gisements qui s'y trouvent très certainement sont encore actuellement sous les eaux. Ceci s'applique à toute une série de sédiments deltaïques et lacustres, à des plaines alluviales, etc... Comme types de gisements de zones affaissées ceux des Siwaliks, aux Indes, sont très instructifs. C'est précisément dans ces collines des Siwaliks que nous trouvons de riches gisements appartenant au Pliocène inférieur, moyen et supérieur, c'est un curylithème complet de gisements d'une sédimentation presque ininterrompue de tout le Pliocène. C'est grâce aux gisements des Siwaliks que nous possédons quelques renseignements sur la faune du Pliocène inférieur, qui se révèle exceptionnellement riche et variée, avec une multitude de spécialisations intéressantes.

Les gisements des Siwaliks s'étendent le long des versants méridionaux de l'Himalaya et se subdivisent en deux groupes fondamentaux: les Siwaliks du Pendjab et les Siwaliks de sub-Himalaya. Ces derniers se placent près du piedmont de l'Himalaya et sont constitués de sédiments plus grossiers, un peu plus puissants. C'est une longue chaîne de collines s'étendant sur 1500 miles et constituant le dernier gradin de l'Himalaya, tourné vers la dépression pré-montagnouse considérable occupée par la vallée du Gange.

La puissance totale des dépôts des Siwaliks est colossale et dépasse 4500 m. Les sédiments prédominants sont les argiles, les grès, les conglomérats, s'accumulant dans la dépression pré-montagnouse à une cadence extrêmement rapide, par suite de l'apport intense de sédiments à partir de l'Himalaya qui continue à s'élever. En raison des conditions de sédimentation au pied des monts on voit de soulèvement, les faciès de la dépression pré-montagnouse et de l'énorme vallée alluviale accompagnant l'Himalaya, se sont déplacés vers le Sud, au fur et à mesure de la croissance de la chaîne de l'Himalaya, jusqu'à leur installation dans la vallée du Gange, où ils se déposent encore actuellement et y atteignent une épaisseur considérable. Si l'accroissement de hauteur de l'Himalaya continue encore un certain temps, la plaine alluviale et la région de la dépression pré-montagnouse se déplaceront encore plus vers le Sud, tandis qu'une partie des sédiments de la vallée du Gange sera mise à nu, par suite de son élévation jusqu'au ni-

veau du premier gradin de la chaîne. Une telle élévation d'une partie de la dépression pliocène a eu lieu au cours du Quaternaire. La partie septentrionale de la dépression était occupée par une élévation de l'Himalaya, probablement au cours de la seconde moitié du Post-Pliocène. Elle a formé le gradin de bordure inférieur de l'édifice montagneux, que l'érosion énergique prémontagneuse a rapidement dégradé en une série de degrés des Siwalik, mettant à nu les gisements de faune pliocène enfouis dans ces énormes niveaux sédimentaires. Si au cours du Quaternaire le soulèvement de l'Himalaya n'avait pas continué avec intensité, la dépression prémontagneuse des Siwalik ne se serait pas transformée en gradin prémontagneux et nous ne saurions rien des riches gisements de la faune pliocène, comme nous n'en savons rien pour d'autres régions du globe terrestre, où il n'y a pas eu de dépression prémontagneuse du Tertiaire supérieur. Il ne faut naturellement pas supposer que, pour des raisons inconnues, il existait ici un îlot de faune pliocène, n'existant pas à d'autres endroits. Cependant un enfouissement important de faune dans des curylithèmes analogues à ceux des Siwalik ne peut pas avoir une extension importante, en raison des conditions particulières qu'un tel enfouissement demande. Des curylithèmes analogues à ceux des Siwalik, mais non encore découverts dans les dépressions prémontagneuses des chaînes alpines, ne doivent pas être fréquents au Tertiaire supérieur sur l'ensemble du globe. Toute une série de dépressions prémontagneuses se remplissent de sédiments actuellement, mais elles sont situées le long des versants septentrionaux du Tian-Chan, en URSS, dans les Andes en Amérique du Sud, dans le Karakorum et le Kouen-Lun en Asie centrale, etc ..., c'est-à-dire dans des conditions désertiques, défavorables à un développement d'abondante faune de Mammifères et à la formation d'importantes accumulations de restes animaux. Il est très vraisemblable que les sédiments de ces dépressions sont très pauvres en gisements de faune terrestre. De telles conditions ne se présentaient probablement pas dans les Siwalik, où la zone de sédimentation correspondait à des conditions optimales pour l'existence d'une faune nombreuse et variée d'animaux terrestres. Les travaux effectués dans les grès fluviaux intercalés dans les argiles des Siwalik, sont très intéressants; ce sont des gisements de Crocodiles de dimension colossales, tout à fait inconnus dans les autres gisements pliocènes. Ceci démontre que l'enfouissement dans l'curylithème des Siwalik était relativement complet et différent des complexes faunistiques pauvres et accidentels de Vertébrés inférieurs des autres gisements du Tertiaire supérieur.

Les gisements quaternaires sont dispersés sur toute la superficie des continents actuels et se rencontrent dans des faciès continentaux très variés, qui étaient rares pour les périodes précédant le Tertiaire et tout à fait absents dans les gisements plus anciens. Des restes de Vertébrés terrestres sont déposés dans les formations morainiques, dans les tourbières et dans les lignites, dans des graviers fluviaux, dans le loess, dans les tufs volcaniques et les coulées (travertins), dans les phosphorites et les roches rouges, déposées dans les fontaines karstiques, dans les dépôts de versants. Caractéristiques du Quaternaire sont les accumulations importantes dans les cavernes et les grottes, dans les régions montagneuses, ainsi que dans les coulées d'asphalte et dans les mares de pétrole. Parmi les gisements quaternaires on ne trouve absolument pas d'importants curylithèmes ossifères, la majorité des gisements est déposée dans des séries de faible épaisseur et d'extension limitée. On y trouve des accumu-

lations peu importantes de restes dissociés et, moins souvent, des squelettes isolés. Dans ce dernier cas le gisement contient un seul individu, ou rarement, deux ou trois. L'absence, au cours du Quaternaire, de gisements contenant des formes aquatiques de Vertébrés, est encore plus étonnante. Elle est due aux mêmes causes que celles que nous avons mises en évidence pour le Pliocène, c'est-à-dire par la submersion actuelle des sédiments marins et des régions de sédimentation importante, où l'accumulation continue de nos jours. Les gisements quaternaires accessibles à l'étude sont de minces formations superficielles, se trouvant sur le point de disparaître en raison de l'érosion, dont les équivalents ont été entièrement détruits pour les périodes plus anciennes. Pour les gisements quaternaires plus importants le dépôt d'un matériel osseux sous forme de fragments dispersés dans les sédiments meubles, est courant. Ces gisements sont, en réalité, des restes d'autres gisements plus importants et correspondent à un stade donné de destruction des accumulations ossifères qui nécessairement doivent disparaître au cours du développement des processus géologiques, comme ont disparu, au cours de l'histoire de la Terre, des milliards d'autres gisements. Ces gisements se forment en général dans des lieux de destruction massive de troupeaux importants de Mammifères herbivores, comme par exemple celui des environs de Cincinnati (Kentucky, Etats-Unis), dit de Big Bone Lick. On y trouve plus de 100 Mastodon, plus de 20 Eléphants de Colombie, ainsi que quelques Bisons et quelques Cerfs. Grâce à l'intervalle de temps géologique relativement faible qui nous sépare du moment de l'accumulation des restes animaux, ces gisements n'ont pas eu le temps de subir une destruction totale. Ces mêmes considérations s'appliquent aux gisements de grottes, où les accumulations des restes d'animaux (assez nombreux) sont protégées contre l'érosion superficielle et ne disparaîtront qu'après la destruction des montagnes dans lesquelles se trouvent ces grottes; ceci demande naturellement un intervalle de temps beaucoup plus important.

On connaît d'importants gisements de Mammifères quaternaires, ainsi que d'Oiseaux, dans les marcs de pétrole et dans les coulées d'asphalte de Binagda, aux environs de Bakou (URSS) et au Rancho La Brea (Californie). Dans le gisement de Binagda, les lacs recouverts de pétrole servaient de lieu d'enfouissement pour une multitude de petits Mammifères et Oiseaux, protégés ensuite de la destruction subaérienne rapide par l'action conservatrice du pétrole. Mais une grande quantité de restes de Mammifères plus gros (Rhinocéros, Boeufs) sont déposés dans des alluvions fluviales de surface, d'origine non directement liée à des sources et à des lacs de pétrole. Dans ce cas, les coulées de pétrole superficielles, transformées à l'air en masses de cir ou d'asphalte, étant donné leur épaisseur insignifiante, ne se seraient pas du tout conservées. Ainsi, les coulées cirieuses de pétrole activent la lithification des dépôts continentaux meubles de surface.

Le gisement du Rancho La Brea s'est formé dans un marécage fangeux, recouvert de coulées de pétrole, ayant formé des marais, des lacs, alternant avec des espaces recouverts d'eau pure. Ces lacs et ces marais, où le pétrole se transformait à l'air en résines visqueuses, servaient de pièges naturels pour beaucoup d'Oiseaux et de petits Mammifères, comme certaines parties du gisement de Binagda et l'enfouissement observé actuellement dans les coulées de pétrole de la région de Bakou. L'accumulation des cadavres des animaux morts attirait des Carnivores, surtout aux premiers stades de la formation des gisements, quand de gros herbivores - Eléphants de Colombie, Paresseux, Bisons, Chevaux,

Chameaux, venant boire dans le lac s'y enlisaient et périssaient sur place. Il est curieux que la majorité des gros Herbivores enterrés soient des individus jeunes. Le nombre des Carnivores enterrés est considérable, par exemple on a trouvé 3000 individus de Tigre-Sabre. D'autre part, on a trouvé de grandes quantités de "Loups" de grande taille appartenant à des espèces disparues de Coyottes et d'Ours. Les Oiseaux appartiennent surtout à des types aquatiques: Canards, Oies, Pélicans, mais on a aussi des quantités importantes de Condors et d'Aigles, accumulés en masse au-dessus des cadavres, qui ont été tués par les produits d'oxydation visqueux des pétroles.

L'absence de restes de Mastodon et de Tapirs est intéressante à signaler; elle montre que la faune enfouie au Rancho La Brea a des caractères de faune de plaine ou de steppe découverte, qui entourait très probablement cet ancien lac d'asphalte, dans un terrain marécageux. Par la suite, les résidus visqueux des pétroles ayant imbibé toutes les couches, ont consolidé tout le niveau des dépôts, les transformant en cire et asphalte; ceci a assuré une conservation parfaite des os, d'aspect très frais et ayant conservé effectivement la plus grande partie de leurs substances organiques (Scott, 1937).

Un autre type important d'accumulations d'os se trouve dans les gisements quaternaires superficiels liés à la merzota perpétuelle et glaces enterrées des régions arctiques, correspondant à des faunes particulières, résidus de la glaciation. La merzota perpétuelle et la glace souterraine agissent conjointement pour la conservation de restes animaux et aussi comme facteur de consolidation des sédiments meubles, ce qui les préserve d'une érosion rapide. Leur rôle est donc comparable à celui des coulées superficielles de pétrole. A part quelques trouvailles de cadavres isolés de Mammouths, conservés dans les glaces fossiles, avec toutes les parties molles, les énormes accumulations d'os fossiles découverts, enrichis secondairement par l'érosion, sur le littoral arctique marin, sont extrêmement importantes. Telles sont par exemple les accumulations de restes de Mammouths et autres Herbivores des îles de Novosibirsk (URSS) qui, durant des siècles, ont fourni des os de Mammouths, de Mastodon, de Boeufs musqués, de Bison, d'Elan, de Castor et de Chevaux. Tous les os contenus dans de tels gisements arctiques se distinguent par la parfaite conservation de leur substance organique; ils ressemblent à des os d'animaux actuels. Souvent on trouve des fragments de chair et de peau conservés grâce aux basses températures du sol congelé en permanence. Les défenses de Mammouths provenant des gisements du N. de Sibérie ont toujours servi à la place de l'ivoire en raison de leur parfait état de conservation.

Ces importantes gisements se sont probablement formés sur les bordures des glaciers, en voie de fusion, où dans les mares gluantes, du type de la merzota permanente, se sont accumulés petit à petit les restes des animaux morts, principalement de gros herbivores: Mammouths, Bisons, Elans, etc ...

Après avoir achevé une brève étude des gisements de Vertébrés terrestres du Tertiaire, il faut maintenant dire quelques mots de formes rares des groupements faunistiques de ces gisements.

Il faut tout d'abord signaler la grande rareté, dans les gisements des Vertébrés inférieurs (Amphibiens et Reptiles), qui représentent la base fondamentale du matériel paléontologique dans les gisements du Paléozoïque et du Mésozoïque. Il serait erroné de supposer que ces formes étaient effectivement rares au Tertiaire, ne serait-ce qu'en se

basant sur la faune actuelle, où les Amphibiens et les Reptiles constituent un pourcentage appréciable de la totalité des Vertébrés terrestres, surtout dans la zone tropicale. La découverte de dépôts du Tertiaire dans des faciès de marécages et de forêts engendrant des charbons, nous permettrait de constater d'un seul coup la richesse de la faune de Vertébrés inférieurs au cours de cette ère.

Une autre catégorie importante de formes rares du Tertiaire correspond aux Mammifères aquatiques, trouvés dans les gisements sous forme de restes dissociés et isolés.

Enfin, parmi les nombreux restes appartenant à des animaux répandus dans des gisements importants, on rencontre des cas isolés (parfois sous forme de squelettes entiers, mais le plus souvent à l'état d'os dissociés) de formes à structure tout à fait particulière. Ce sont soit des représentants de groupes importants individualisés, ayant des caractères de spécialisation ancienne poussée, ou possédant des caractères intermédiaires entre des groupes répandus dans les gisements et reliant des genres, familles ou même des ordres fortement divergents. A titre d'exemple on peut citer: *Arsinoitherium* de l'Oligocène d'Egypte, *Barytherium* des horizons inférieurs des mêmes dépôts. Le premier est mieux connu et apparaît comme le seul représentant connu d'un ordre spécial - Embrithopoda. Le second n'est connu que par quelques os, montrant, que le *Barytherium* est voisin des Proboscidiens, mais possède de tels caractères de spécialisation qu'on est obligé d'en faire le type d'un sous-ordre particulier - les Barytheria. Des trouvailles analogues ont été faites dans les riches gisements d'Amérique du Sud, où *Astrapotheria* et *Pyrotheria* sont des animaux tout à fait particuliers, seuls représentants de groupes spéciaux inconnus ailleurs. La découverte de *Desmostylus* est aussi remarquable; c'est un Mammifère extraordinaire, vivant probablement sur le littoral, remarquable par la spécialisation des dents et possédant quelques caractères de Monotrèmes. On ne connaît de ce gros animal que de très rares restes. Même dans les dépôts quaternaires, dont la faune est déjà très voisine de l'actuelle, on a trouvé *Elasmootherium*. Ce gros animal à aspect de Rhinocéros est caractéristique des dépôts quaternaires d'URSS; dans d'autres pays on n'a trouvé que de rares fragments isolés (Chine, Iran, Europe occidentale). Les restes d'*Elasmootherium* sont toujours dissociés, ce sont toujours des os isolés et, bien que les *Elasmootherium* soient découverts depuis longtemps, leur squelette n'est pas, jusqu'à présent, connu intégralement. Cet animal est le représentant d'un groupe particulier, dont les autres représentants ne se sont conservés dans aucun des gisements connus. A cette catégorie des formes rares se rapportent encore les découvertes inattendues de Marsupiaux gigantesques, effectuées dans le Quaternaire d'Australie.

De petites formes, ayant des caractères intermédiaires, se rencontrent sous forme de trouvailles isolées, dans beaucoup de gisements importants du Tertiaire inférieur. Parmi ces dernières, citons les Pantolestidés et les Mixodectidés, provenant de l'Eocène d'Amérique du Nord, *Planctotherium* et *Pseudorhynchocyon*, provenant des mêmes dépôts, ce sont de petits Insectivores; *Paradoxonycteris*, qui est un Chiroptère du Tertiaire inférieur d'Europe; des représentants extrêmement rares des ordres particuliers des Tillodontia et des Taeniodontia, de l'Eocène des Etats-Unis. La rareté générale des Primates est remarquable et surtout celle des restes fossiles humains, dont les restes d'industries se rencontrent incomparablement plus souvent que les restes osseux.

Conclusions générales:

Cette brève étude des gisements nous permet de tirer quelques conclusions d'ordre général sur les conditions d'enfouissement des Vertébrés terrestres au cours des différentes époques géologiques:

1) Pour les plus anciennes périodes du Paléozoïque, on voit que tous les gisements de Poissons, tendant à s'adapter à des conditions continentales d'eaux douces et les gisements de flores terrestres sont déposés uniquement dans des sédiments marins.

2) Au cours du Paléozoïque supérieur, où l'existence de Vertébrés terrestres est connue avec certitude (Quadrupèdes), les gisements sont déposés dans des faciès prélittoraux marins, dans des faciès prélittoraux paraliques de marécages boisés, dans des régions de sédimentation laguno-continentale particulières, liées à des récifs-barrières et dans d'énormes dépressions prémontagneuses - "Vorticif", situées entre les plates-formes et les géosynclinaux comblés par l'orogénèse, représentant probablement, soit des régions de cours inférieur de deltas (Précoural), soit des plaines inondables, d'un niveau voisin de celui de la mer, mais d'un type différent de celui des plaines à inondations plus récentes (Karoo). En même temps il apparaît des gisements dans les sédiments des grandes dépressions intracontinentales, représentant des plaines marécageuses, de dimensions considérables, à processus de sédimentation de longue durée. Ces gisements de Vertébrés terrestres du Paléozoïque supérieur ne se présentent pas à l'état isolé. Ils sont déposés par séries d'accumulations, dans d'importants complexes de niveaux formés dans des conditions de faciès idéotiques - dans des eurylithèmes. La quantité des restes de Vertébrés terrestres déposés dans les eurylithèmes, ainsi que dans des gisements isolés, est considérable.

3) Au cours du Mésozoïque nous voyons que les principaux gisements sont également déposés dans les sédiments des grands deltas ou des grandes dépressions intracontinentales, mais à ces types de niveaux ossifères, s'ajoutent encore des formations lacustres, lacustro-marécageuses, subaérodeltaiques et littorales, qui étaient inconnues dans les périodes plus anciennes.

4) Au cours du Cénozoïque se manifeste l'apparition progressive de faciès continentaux nouveaux, qui atteignent leur maximum au cours du Quaternaire. Il est facile de voir que cette apparition de nouveaux faciès continentaux va de pair avec le développement des continents actuels et avec la délimitation actuelle des mers et des terres. Au fur à mesure de l'accroissement de la variété et de la quantité des sédiments typiquement continentaux, on trouve de moins en moins de gisements contenus dans des eurylithèmes puissants, liés par leur formation à des régions de bordure basse des continents. Pour cette raison, à mesure que l'on se rapproche de la période actuelle, les dimensions des gisements et la quantité des restes d'animaux contenus dans ces gisements diminuent de plus en plus.

Le Tertiaire se caractérise encore par la rareté des gisements contenant des restes d'animaux marins, qui, au contraire, sont de plus en plus abondants quand on descend l'échelle stratigraphique.

5) La quantité de gisements connus, de faunes et flores terrestres, diminue progressivement lorsqu'on remonte les époques géologiques, atteignant les valeurs-limites, extrêmement basses, pour les Tétrapodes, dans le Dévonien, pour les Poissons dans le Silurien (de même pour la végétation terrestre).

6) Presque tous les gisements de Vertébrés connus sont allochtones, car ils contiennent des restes de formes, déplacées, d'une façon ou d'une autre, de leur habitat originel. Des cas d'autochtonie extrêmement rares s'observent, soit pour les larves de Vertébrés terrestres (Amphibiens), soit pour des oeufs de Reptiles. Dans les gisements du Paléozoïque et du Mésozoïque l'enfouissement des restes des animaux ne coïncide même pas avec l'endroit de leur mort. Dans les grands gisements du Cénozoïque nous remarquons ces mêmes phénomènes. Ce n'est que pendant le Tertiaire supérieur, alors que ces types de petits gisements sont variés, qu'on observe des cas d'enfouissement des restes d'animaux directement à l'endroit de leur mort; ce phénomène est extrêmement rare pour les gisements plus anciens.

7) Les gisements du Paléozoïque se distinguent par une très grande uniformité, aussi bien de la flore que de la faune, même lorsque ces gisements se trouvent à des endroits extrêmement différents par leur disposition géographique.

Cette uniformité coïncide avec l'uniformité des roches encaissantes et de leurs faciès. Elle étonne les chercheurs car c'est un phénomène réellement exceptionnel, mais qui cependant se retrouve sur des territoires considérables.

8) De même, la composition des faunes enfouies dans les gisements paléozoïques se distingue par l'uniformité des adaptations, aquatiques pour la plupart. Cette prédominance des formes à adaptation marine est moins importante pour les gisements du Mésozoïque, tandis que dans les gisements du Tertiaire nous observons une prédominance des formes terrestres; les formes aquatiques étant devenues extrêmement rares.

9) Les deux phénomènes signalés sous les N° 7 et 8 sont liés aux conditions de faciès d'enfouissement, à l'uniformité étonnante des faciès qui renferment les gisements du Paléozoïque et à l'élimination de la majorité des faciès aquatiques des conditions de sédimentation pré-littorales et deltaïques, au cours du Cénozoïque.

10) Dans chaque important gisement de n'importe quel âge géologique on trouve des formes rares, pour ainsi dire "exotiques", rencontrées en exemplaires uniques, souvent sous forme d'os dissociés et différant nettement, par leur constitution, des formes dominantes de la faune enfouie dans le gisement considéré.

Ces formes "exotiques" sont; soit des représentants uniques de nouvelles catégories systématiques, non trouvées ailleurs jusqu'à ce moment, soit des formes intermédiaires entre d'importantes subdivisions de la classification. Dans les gisements paléozoïques les formes "exotiques" sont en général terrestres, très différentes des types aquatiques répandus. Parfois les formes "exotiques" sont des survivants de groupes anciens, disparus depuis longtemps, comme, par exemple, les Batrachosauria dans les groupes faunistiques du Permien. D'autres fois les formes exotiques possèdent des traits d'une organisation élevée, devançant de beaucoup le degré d'évolution de la faune dominante. Il est évident que ces formes sont enfouies dans ces lieux tout à fait accidentellement; elles proviennent de régions éloignées, situées en dehors de l'aire d'habitat de la faune typique peuplant les régions voisines du lieu de sédimentation et qui, pour cette raison, est la plus abondante dans le gisement. Ainsi, au cours du Paléozoïque, à mesure que les gisements se rapprochent de la région d'apport du matériel, le nombre des formes exotiques, représentant les formes d'adaptation terrestre, s'accroît; ceci sort d'indication caractéristique pour la détermination du faciès du niveau encaissant. Ces formes exotiques des gisements sont extrême-

ment importantes, car elles nous renseignent sur le caractère de la faune et de la flore des régions situées en dehors de la région de sédimentation, c'est-à-dire sur les régions intracontinentales pour les périodes géologiques anciennes et des régions continentales élevées pour les époques géologiques plus récentes; ces faunes et flores, en général, ne sont pas conservées, pour des causes que nous verrons plus loin.

11) Les formes exotiques de divers gisements montrant l'existence de formes terrestres variées et d'organisation plus ou moins poussée, à des époques géologiques relativement plus anciennes que cela ne s'observe dans les gisements typiques et riches. Ainsi, la découverte de spores de Végétaux supérieurs dans les couches cambriennes d'URSS, prouve l'existence de plantes de caractère terrestre, à organisation élevée, au cours de périodes aussi anciennes, ce dont on ne se doutait pas. Certaines formes exotiques, rencontrées dans les flores terrestres du Paléozoïque indiquent une apparition des plantes supérieures à une époque beaucoup plus précoce que n'auraient permis de le supposer les groupements floristiques habituels. Nous constatons les mêmes rapports dans les faunes de Vertébrés terrestres. De rares découvertes d'os isolés, sont en faveur de l'existence de Reptiles déjà au Carbonifère inférieur, de Reptiles volants au cours du Permien et de Mammifères également à cette époque.

12) Toutes les "apparitions" de formes telle ou telle importante catégorie systématique, sont représentées par de grosses formes, spécialisées, fortement divergentes et très nombreuses, ce qui nous fait supposer une longue période de développement antérieure.

13) Le caractère du gisement des couches ossifères, dans les niveaux encaissants, surtout au cours du Paléozoïque, donne l'impression d'une apparition soudaine des restes faunistiques, soudainement apportés de quelque part, dans un niveau parfaitement uniforme et antérieurement azoïque. Tous les gisements importants ne possèdent aucun prédécesseur annonçant leur apparition, sous forme de trouvailles rares, situées dans les couches sous-jacentes.

14) Dans certains cas, les gisements connus et étudiés, sont rapportés à des faciès contenant des substances fossiles utiles et sont industriellement exploités. Tels sont par exemple, la majorité des niveaux houillers, les grès et les schistes cuprifères, les pétroles et les colorants naturels, etc ... Ceci est particulièrement important pour les puissants niveaux de sédiments continentaux contenant des gisements du Primaire ou du Secondaire. Les faciès ne contenant pas de substances fossiles utiles - les puissants niveaux continentaux non houillers du Paléozoïque, sont très peu étudiés, par rapport aux niveaux houillers, ce qui est incontestablement la cause de la rareté beaucoup plus grande de découvertes de ces gisements.

15) Tous les eurylithènes ossifères du Paléozoïque se trouvent dans les très grandes zones de sédimentation, dans les "Vorticof", des zones orogéniques. Ces grandes dépressions se trouvent sur les bordures de plates-formes et se rattachent nécessairement à des bassins marins. Au cours des époques géologiques plus récentes, de tels eurylithènes se rencontrent aussi dans les dépressions prémontagnues du type local, mais ils sont moins importants et éloignés de la mer, vers l'intérieur des continents.

16) Les gisements reliques, formés par des fragments d'accumulations

détruites de restes d'animaux montrant un développement intéressant dans le temps. Au cours du Paléozoïque, nous ne trouvons pas de gisements reliques quelque peu importants. Au cours du Mésozoïque inférieur (Trias), d'importants gisements reliques (Bone-Beds) sont déposés dans les sédiments littoraux et se sont formés en raison de la transgression de la mer sur les régions d'enfouissement continental laguno-deltaïque. Au cours du Mésozoïque supérieur, de gigantesques gisements reliques de Dinosauriens se sont déposés au piedmont des édifices montagneux et dans les dépressions intermontagneuses, ils sont le résultat de l'érosion continentale de premiers gisements deltaïques.

Les gisements reliques du Cénozoïque, surtout du Cénozoïque supérieur, se forment, non par suite de la destruction de gisements fossilisés, mais par suite de la destruction des accumulations d'os non fossilisés, situés dans des dépôts superficiels. Au cours du Cénozoïque supérieur ces gisements jouissent d'une extension très grande, contrastant profondément avec les époques anciennes et liée à la présence de sédiments continentaux superficiels, absents au cours du Paléozoïque.

17) Les types d'enfouissement superficiel dans des milieux préservateurs ne se présentent pas au cours du Paléozoïque et du Mésozoïque, mais ils deviennent caractéristiques pour le Cénozoïque supérieur. Ce type est particulièrement caractérisé dans le cas des gisements asphaltiques.

18) Par suite d'un enfouissement plus complet de faunes de Mammifères terrestres au cours du Mésozoïque, nous parvenons à une meilleure délimitation de groupements faunistiques, ce qui était impossible pour le Primaire et le Secondaire. Telles sont, par exemple, les faunes tout à fait particulières d'Ongulés archaïques d'Amérique du Sud, ou la faune de gros Marsupiaux de la même région, qui donnent toute une série de formes convergentes par rapport aux Mammifères placentaires de l'Ancien Monde, y compris des Ongulés monodactyles analogues aux Chevaux ou des Tigres-sabres Marsupiaux. Il faut penser que, dans les diverses directions adaptatives des Vertébrés terrestres du Paléozoïque et Mésozoïque il y a développé parallèlement de différents groupes de Vertébrés inférieurs, dans différentes régions géographiques, mais dont les restes se sont totalement effacés des annales géologiques.

Chapitre III

DESTRUCTION et CONSERVATION au COURS des TEMPS GEOLOGIQUES des SEDIMENTS. LITHOLEIMONIE et TAPHONOMIE des FAUNES et FLORES TERRESTRES.

L'étude, effectuée dans les chapitres précédents, des principaux gisements de Vertébrés terrestres, montre que les régions anciennes d'enfouissement, coïncidant avec les régions de sédimentation, sont représentées par des faciès tout à fait uniformes, étroitement liés à la mer et situés très bas par rapport à son niveau, dans les régions bordières du littoral. Ce n'est qu'au cours des périodes géologiques plus récentes que nous rencontrons des gisements déposés dans des faciès typiquement continentaux. Ces formations appartiennent en réalité à de grandes régions basses (par rapport au niveau de la mer), à sédimentation active, et où le lien des couches ossifères avec les autres parties de la

surface subaérienne de l'ancien continent, s'observe très rarement. On ne commence à trouver une certaine diversité dans les faciès continentaux superficiels, avec faunes de Vertébrés terrestres, qu'au cours du Quaternaire, c'est-à-dire jusqu'à une époque très rapprochée de notre temps.

On sait qu'au cours de l'histoire géologique de la Terre les sédiments continentaux manquent dans les périodes anciennes. On aurait pu prévoir ce fait, par voie purement théorique, en partant de l'opposition fondamentale entre la mer et la terre comme régions d'accumulation et d'exportation.

Laisant de côté les niveaux précambriens, encore mal étudiés, signalons, pour le Cambrien, l'absence totale de dépôts pouvant être considérés comme continentaux. Les tillites connues en Australie appartiennent à des dépôts morainiques marins, de même que celles du Carbonifère du Gondwana. Dans le Silurien nous ne trouvons pas non plus de dépôts continentaux certains, sauf les dépôts de lagunes et les argiles salifères et gypsifères. Le développement ultérieur des faciès continentaux au cours du Paléozoïque, fut exposé plus haut.

L'explication (trop formaliste), de l'absence de faciès continentaux dans les annales géologiques des continents, généralement admise par les géologues s'occupant des dépôts continentaux peut se ramener à ce que nous ne savons pas distinguer les dépôts continentaux contemporains dans les séries puissantes de sédiments anciens.

Cette affirmation est contraire à la réalité que nous révèle l'histoire des gisements de Vertébrés terrestres, seuls indices précis des conditions de faciès du passé. L'étude de cette histoire nous permet de dégager une loi mettant en évidence la pénétration des régions d'enfouissement de plus en plus vers l'intérieur des continents à mesure qu'on s'élève dans la série stratigraphique.

En même temps, les formes exotiques des anciennes faunes et flores nous montrent l'existence de zones d'habitat et, par conséquent, l'existence de régions continentales qui ne se manifestent pas par des sédiments dans les annales géologiques. Nous parvenons ainsi à la notion de lois régissant l'absence, dans les annales géologiques, d'un certain nombre de faciès continentaux ayant certainement existé dans les niveaux correspondants, mais ne s'étant pas conservés au cours du temps. Dans ce cas la pénétration progressive des Vertébrés terrestres vers l'intérieur des continents serait confirmée entièrement par les données des annales géologiques. Cependant, d'une part, les annales géologiques traduisent le processus ayant réellement lieu avec un certain retard et, d'autre part, leur conservation est en relation avec la nature des sédiments où elles se trouvent.

Il est donc très important pour la taphonomie de connaître des lois d'enfouissement des niveaux continentaux au cours du temps; ces lois ne peuvent être connues que par l'étude des dépôts encaissant les gisements.

En effet, chaque processus géologique conduisant à la formation des niveaux de sédimentation en tant que résultat du développement tectonique de l'écorce terrestre, a toujours et inévitablement deux effets opposés: la destruction de certaines régions de la surface terrestre, placées en dehors de la région de sédimentation. La géologie s'est occupée, avec succès, de l'étude de l'aspect constructif des processus, mais en laissant de côté l'aspect destructif.

Toute personne s'occupant de géologie historique sait que plus les dépôts donnés sont anciens, moins ils fournissent de renseignements sur les processus géologiques de l'époque correspondante. Il y a cependant peu de personnes qui savent que cette absence de données

détruites est. non pas accidentelle, mais qu'elle obéit à des lois. Une fois connues, ces lois nous permettent de définir les pages effacées par l'action destructrice du temps, qui agit de façon sélective.

L'aspect destructeur des processus géologiques agit principalement à la surface subaérienne du continent, tendant avant tout à détruire cette surface, ensuite il s'attaque aux sédiments qui se sont déposés dans les régions élevées du continent car la principale force destructrice, à part les agents atmosphériques, est la pesanteur associée à l'action des eaux courantes. Pour cette raison, ce sont précisément les surfaces des continents qui subissent les premières destructions par les processus géologiques et ceci avec d'autant plus d'intensité que les régions de dénudation du continent sont placées plus haut par rapport à la mer. En partant de cette confrontation évidente, nous pouvons supposer que dans les différentes régions continentales la marche des processus destructeurs est de qualité différente et que certains faciès sont détruits plus rapidement que d'autres.

La durée considérable d'une époque géologique est également un facteur d'importance extrême pour fixer la puissance des processus destructeurs. La force des processus géologiques destructeurs se trouve multipliée plusieurs fois lorsqu'ils agissent pendant des intervalles de temps plus grands. Le temps, associé à la destruction, agissent toujours et inévitablement sur la surface du globe, intervenant dans le facteur comme agent très puissant. Cependant, le temps est particulièrement mal étudié en géologie, bien que la géologie et la paléontologie - avec l'astronomie - soient des sciences ayant toujours affaire avec des intervalles de temps considérables. En géologie, en général, la notion de temps est trop primitive. Pour illustrer les erreurs répandues au sujet de l'appréciation des processus de très longue durée il est bon de rappeler les idées de l'académicien Ber, qui déclare que l'échelle utilisée par l'homme pour mesurer et apprécier les différents phénomènes de la nature dans le temps est accordée sur la durée de vie humaine. Elle n'est pas du tout absolue. Le tableau des processus géologiques changerait complètement si la vie humaine était ralentie et prolongée ou si, au contraire, elle se trouvait accélérée et réduite de mille fois.

Au cours des centaines de millions d'années écoulées depuis l'apparition de la vie terrestre, les annales géologiques se sont formées par une succession infinie de processus constructifs et destructeurs, d'érosion et d'accumulation de sédiments. Ces phénomènes se sont succédés, aussi bien dans le temps que dans l'espace. En d'autres termes, les zones correspondantes se sont succédées non seulement les unes au-dessus des autres, mais elles se sont aussi déplacées sur la surface du globe. D'autre part, une partie des sédiments déjà déposés était détruite par les érosions ultérieures, une autre partie s'enfonçait dans les régions profondes de l'écorce terrestre et subissait le métamorphisme et l'anatexis; dans un cas comme dans l'autre ils se trouvent éliminés des annales géologiques renfermant des documents paléontologiques. D'autre part, les vastes superficies de développement des anciens sédiments restent enfouies sous d'épais niveaux de sédiments plus jeunes ou se trouvent sous la mer. Dans ce cas aussi, les processus de variation des faciès sur la surface du globe sortent du champ de notre étude pour d'importantes séries de sédiments.

Pour parvenir à s'orienter dans l'histoire complexe de la formation des annales géologiques des anciens continents, il faut faire une étude sérieuse des processus de destruction des surfaces continentales au cours du temps, afin de déterminer les lois de conservation dans les annales géologiques de certains types de sédiments. Ainsi, nous arriverons à

connaître les lois de formation des annales géologiques des continents. Ceux-ci représentent la somme des sédiments continentaux ayant pu se conserver jusqu'à nos jours. Nous arriverons également à expliquer l'absence de certains faciès dans les annales géologiques. On voit facilement que dans ce cas la géologie historique se trouve devant un ensemble de questions analogues à celles qui intéressent la taphonomie.

Si cette science se propose de connaître les lois de conservation des restes organiques dans les niveaux sédimentaires, la géologie historique doit se proposer comme but la connaissance des lois de conservation des niveaux sédimentaires eux-mêmes, dans les processus de variation de la surface du globe au cours du temps.

Cette tendance de la géologie historique, analogue à la taphonomie dans le domaine de la paléontologie, peut être appelée litholeimonomie (des mots grecs: pierre, débris, loi), c'est-à-dire la connaissance des lois de la conservation des sédiments, en considérant les dépôts connus dans les annales géologiques comme des restes de complexes sédimentaires ayant été réellement répandus dans le passé. ayant survécu aux processus destructeurs dans le temps, selon des lois données. D'une façon tout à fait parallèle, les objets étudiés par la taphonomie sont des restes d'accumulations de produits organiques végétaux ou animaux, vastes et variés, autrefois répandus sur la surface des anciens continents. L'étude taphonomique des processus d'enfouissement des restes organiques doit nécessairement être accompagnée d'une étude litholeimonomique, si on ne peut pas comprendre les résultats finaux de la formation des annales géologiques, non pas par ignorance au sujet des gisements, mais par ignorance des caractères des dépôts encaissant ces gisements.

Considérons certaines notions de la litholeimonomie découlant de l'étude des gisements que nous avons faite plus haut.

Une première loi apparaît tout d'abord, découlant manifestement des données des annales géologiques fournies par les sédiments continentaux. Tous les dépôts continentaux anciens se rencontrent sous forme de niveaux extrêmement puissants, d'eurylithèmes ossifères déposés dans d'importantes régions de sédimentation. Pour le Paléozoïque ce sont d'énormes dépressions du type des "Vorticife" situées entre des géosynclinaux ayant achevé leur existence après l'orogénie et les bordures de plates-formes continentales. Tels sont l'eurylithème du Karroo, entre les Gondwanides et la plate-forme d'Afrique du Sud; celui des Couches Rouges aux Etats-Unis, etc ... Dans d'autres cas, ce sont d'énormes eurylithèmes houillers, liés à des zones d'affaissement de bordure de géosynclinaux, ou de mégasynclinaux gigantesques, qui sont de vastes dépressions plates d'éléments géosynclinaux de plate-forme. Enfin, ce sont des dépôts de grandes dépressions, développées en tant que phase finale de l'orogénie des zones plissées, qui se sont décomposées en une série de districts de blocs affaissés ou soulevés.

On n'observe pas du tout de sédiments de petits bassins ou de lacs de petits deltas (on connaît uniquement des deltas considérables, analogues au delta du grès à meules dans le Carbonifère d'Angleterre); sans parler des faciès continentaux de surface, moins répandus et moins puissants.

A l'intérieur de ces énormes eurylithèmes on rencontre des faciès de différents types, constituant des faisceaux et des couches isolés, mais tous ces faciès, sans exception, sont soumis aux mêmes conditions générales de sédimentation. C'est pour cette raison que les fouilles

effectuées dans des faciès continentaux plus élevés de ces niveaux, restent sans résultats; ces fouilles sont basées, par exemple, sur la détermination des régions de deltas dans les formations lagunaires et sur la détermination de la direction de l'apport du matériel sédimentaire.

Un autre caractère remarquable des anciens dépôts continentaux est que les importants eurylithèmes, appartiennent à des régions physico-géographiques extrêmement basses (par rapport au niveau de la mer). Ces dépressions importantes - lieux de dépôt de la sédimentation paléozoïque du type continental, sont toujours disposées en bordure des continents et sont toujours liées à la mer - ce qui se manifeste par la pénétration directe des couches marines à l'intérieur des séries continentales de ces eurylithèmes. Les dépôts des régions de sédimentation d'un autre type, comme par exemple les dépressions intermontagnouses, où la sédimentation même importante, se trouve à l'intérieur du continent, sont inconnues, ou sont extrêmement rares au cours du Paléozoïque.

Ainsi, nous voyons que des dépôts continentaux du Paléozoïque se sont uniquement conservés, non seulement les plus importantes zones de sédimentation, mais aussi de toutes ces dernières se sont conservées seulement celles qui sont situées dans les régions basses (voisins du niveau de la mer) des bordures continentales. Au cours du Mésozoïque nous rencontrons des dépôts d'un autre type de sédimentation, se rapportant soit à des régions terrestres situées à l'intérieur des continents, soit à des zones de sédimentation moins importantes, situées sur la bordure basse des continents. Au cours du Géozoïque, nous constatons une augmentation progressive de la diversité des faciès continentaux, liée à des dépôts de sédiments dans des régions situées plus profondément à l'intérieur des terres, mais formant des accumulations de plus en plus petites quant à leur extension spatiale et à leur épaisseur.

Ce que nous venons d'exposer nous conduit à une conclusion intéressante: dans les processus de destruction des continents du passé, se conservent, au cours des temps, surtout les dépôts des plus importantes zones de sédimentation, liées aux plus importants éléments tectoniques, se manifestant dans les formes négatives du relief. L'importance de la région de sédimentation se manifestant dans le produit final de son existence, c'est-à-dire par un puissant eurylithème sédimentaire, dépend naturellement de l'extension dans l'espace et dans le temps du processus de dépôt des sédiments, qui s'exprime par l'extension et par l'épaisseur du type de sédiments considéré. Il se peut que dans le temps l'extension du processus de sédimentation ne soit pas très importante à condition que le dépôt des sédiments se fasse avec une intensité élevée.

Ce dernier mode de formation des niveaux sédimentaires puissants est extrêmement favorable à l'enfouissement de la faune et à la formation de nombreux gisements et, pour cette raison, on le rencontre souvent dans les régions intracontinentales des systèmes d'édifices montagneux. Une destruction énergique des couches sédimentaires est nécessaire à sa réalisation. En même temps, on pourra probablement démontrer que certains eurylithèmes ossifères du Paléozoïque et du Mésozoïque, ont pris naissance grâce au rapprochement des chaînes montagneuses des régions pré littorales des continents et l'accélération de la sédimentation dans les régions basses, qui, en général, se caractérisent par une sédimentation relativement lente, défavorable à la conservation des restes d'animaux terrestres.

Les régions de sédimentation de faible extension et de courte durée

(la vitesse de sédimentation étant moyenne) ne peuvent pas former des niveaux importants et puissants de sédiments continentaux et ceux-ci sont détruits entièrement au cours du temps, disparaissant ainsi totalement des annales géologiques. Cette loi concorde parfaitement avec l'analyse de la destruction au cours du temps du point de vue de la théorie des probabilités. Ici, agit la loi des grands nombres, qui prend une signification toute particulière au cours des millions de siècles des temps géologiques.

Le principe de la conservation par priorité des faciès importants (définissons, en évitant les notions erronées, le faciès en tant que conditions physico-géographiques de sédimentation liées à la tectogénèse de la région considérée et exprimées dans les annales géologiques par un complexe de roches sédimentaires) dans l'histoire de la Terre était mal défini du point de vue géologique et pour la première fois il fut explicité par les tectoniciens soviétiques. D'un autre côté, Poustovalov (1940) arrive à ces mêmes lois en se basant sur l'analyse du développement historique des faciès, après avoir mis en évidence la loi de périodicité de la formation des sédiments au cours de l'histoire de la Terre.

Les dimensions des faciès continentaux conservés dans les annales géologiques sont relatives et changent pour chaque niveau géologique.

Un autre aspect de cette même propriété de conservation des sédiments continentaux dans le temps, n'ayant pas encore été clairement expliqué, est la disparition, suivant une loi, des annales géologiques des faciès liés à des régions élevées (au-dessus du niveau de la mer) du continent. La définition du caractère de ce processus est le but direct des recherches effectuées sur la destruction de la surface des continents actuellement et au cours des époques géologiques passées. L'étude de la destruction actuelle des continents est la tendance actualiste des recherches lithostratigraphiques; mais malheureusement cette tendance est encore très peu développée. La géomorphologie, qui aurait dû accumuler une quantité importante de données dans ce domaine, comme la géologie s'occupe seulement du côté constructif des processus géomorphologiques, c'est-à-dire des formes de relief.

Étudions certaines notions découlant aussi bien des propriétés de conservation des faciès au cours des temps géologiques que des propriétés de destruction des faciès sur la surface des continents.

Les importants faciès uniformes restant des continents du Paléozoïque supérieur (du Paléozoïque inférieur il ne reste presque pas de faciès continentaux) sont répartis dans d'immenses éléments bas du relief. Au cours des périodes géologiques plus récentes, le nombre et la variété des faciès continentaux augmentent, atteignant son maximum aux niveaux les plus élevés du Cénozoïque. Cet accroissement du nombre et de la diversité des faciès va de pair avec la diminution de leurs dimensions, étant donné que les faciès les plus importants du Tertiaire supérieur qui doivent surtout se conserver au cours de la destruction géologique, des millions d'années après notre période, sont actuellement inaccessibles à la destruction (ainsi qu'à l'observation). Ce caractère des annales géologiques est connu depuis longtemps - dès les débuts de la géologie - mais jusqu'à présent il était interprété comme dû à la différence existant entre les processus de sédimentation anciens et plus récents. Il ne faut naturellement pas nier qu'au cours des diverses époques géologiques, le caractère général de la sédimentation a subi des changements réels, ces changements étant liés au développement géotectonique de la Terre. Mais ces variations ont non seulement déterminé la constitution des annales géologiques, mais aussi les lois de la lithostratigraphie, c'est-à-dire le

lois de la conservation des sédiments dans le temps et aussi de leur destruction.

La conservation par priorité des faciès continentaux petits et superficiels au cours du Paléozoïque supérieur, peut être comprise grâce à une étude comparative des dépôts glaciaires du Paléozoïque supérieur avec ceux du Quaternaire. Tandis que du Paléozoïque supérieur nous ne connaissons que des dépôts de moraines gigantesques, situées sur le littoral de la mer, s'entremêlant avec des sédiments marins, du Quaternaire il nous reste de très petites subdivisions de faciès glaciaires. Il est tout à fait probable que des faciès analogues aux tillites paléozoïques ont dû exister aussi au cours du Quaternaire (et existent encore actuellement) tout autour du continent antarctique, mais leurs sédiments sont cachés sous l'eau de la mer et n'apparaissent nulle part à la surface.

La liaison existant entre les tillites du Carbonifère supérieur et les sédiments marins est interprétée, en général, comme une preuve des conditions spéciales de la glaciation du Carbonifère, c'est-à-dire l'existence de continents bas. Cependant, cette explication est en contradiction évidente avec la possibilité de formation de glaciers à la surface de continents bas; pour l'admettre il faudrait faire intervenir des déplacements des pôles, des continents, etc ... Cependant, du point de vue de la lithoïmonomie, l'existence de tillites liées uniquement à la mer se révèle parfaitement conforme aux lois connues. Toute surface de continent élevé, avec ses faciès glaciaires, a entièrement disparu des annales géologiques, dans des conditions conformes aux lois de la destruction des régions élevées. Ont résisté à cette destruction les seuls faciès glaciaires qui étaient situés sur la bordure et dans les parties les plus basses du continent, c'est-à-dire les tillites. L'altitude appréciable des continents du Carbonifère et même du Cambrien, nécessaire à un développement de glaciation puissante, est en contradiction avec le faciès que l'on trouve dans les annales géologiques. Mais c'est précisément dans cette contradiction que se manifestent les lois générales de la lithoïmonomie, car les surfaces des continents élevés doivent nécessairement disparaître des annales géologiques du Paléozoïque, avec l'ensemble de leurs faciès. Cette conservation des faciès glaciaires carbonifères correspond très exactement aux types de faciès d'autres sédiments continentaux existant dans les annales géologiques à cette même époque.

On peut en dire autant des anciens sols, des surfaces de dénudation, du littoral marin, etc ... Au cours du Paléozoïque nous rencontrons uniquement des restes très rares des côtes marines, sous forme de surfaces d'abrasion, avec des dépôts marins grossiers déposés sur elles, ou des sols sous-aquatiques des forêts carbonifères. Au cours du Mésozoïque, les districts des anciennes surfaces de dénudation, appartenant aux districts de plaine du continent, se rencontrent un peu plus souvent, comme d'ailleurs les pistes d'animaux. On connaît des trouvailles rares de restes détruits de sols continentaux, qui se trouvent beaucoup plus souvent au cours du Cénozoïque supérieur, comme d'ailleurs toute une série d'autres formations de surface fossiles (karsts, fissures, etc ...), témoignant de la conservation de districts de surfaces continentales. La disparition, des annales géologiques, des anciens sols, est soumise aux mêmes conditions que celles que nous avons données plus haut pour les sédiments continentaux. Mais elle se rattache encore plus étroitement à la destruction zonale des sédiments et à leur conservation zonale à la surface des continents, que nous étudions plus loin.

Le schéma de conservation des sédiments des continents du passé, que nous venons d'exposer est encore trop schématisé, mais il faut penser qu'il reconstitue la réalité et peut servir de point de repère pour de futures recherches.

La disparition, parmi les annales géologiques, conformément à une loi déterminée, de la majorité des sédiments continentaux, déposés à la surface des anciens continents, montre, une fois de plus, que les submersions brusques des continents, comme par exemple, la légendaire Atlantide, n'ont en réalité jamais existé. Si non nous devrions observer toute une série de formations de surface des continents submergés, parfaitement conservées sous la couche de sédiments marins.

Nous observons un tableau analogue pour les sédiments marins aussi, avec cependant cette différence qu'ils se conservent mieux dans le temps que les sédiments continentaux. Ce fait dépend, premièrement des dimensions plus importantes des régions typiques de sédimentation marine, par rapport aux régions continentales, deuxièmement, de la probabilité plus faible d'érosion, si la région de dépôts des sédiments marins a été relativement stable dans le temps, étant donné que les faciès marins sont toujours déposés plus bas que le niveau de dénudation, déterminé par le niveau de la mer.

De nos jours aussi, nous pouvons observer partout les principes de conservation dans le temps des faciès importants. Prenons comme exemple les conditions de sédimentation en montagne, qui sont caractérisées par le dépôt de certains types de sédiments grossiers déterminés. Dans la masse de sédiments grossiers déposés dans la vallée de n'importe quelle rivière de montagne, nous pouvons trouver des districts, où le courant d'eau ^{est} très lent ou l'eau stagnante, dans lesquels se déposent des sédiments fins, souvent enrichis de substances organiques lorsque ces districts se couvrent de végétation. En principe, ces sédiments ne diffèrent pas des faciès lacustro-marécageux de la plaine, ou des districts correspondants des deltas. Toute la différence consiste dans les dimensions insignifiantes de l'extension de ces sédiments et dans la brièveté de leur durée d'existence, ne dépassant pas souvent quelques mois. Les faciès de caractère étrange pour une période donnée sont éphémères dans le temps aussi. Nous pouvons observer des faciès aussi peu stables dans le temps et dans l'espace, pour n'importe quelles conditions de sédimentation. Ainsi, dans les conditions deltaïques, ou méritiques, ou même de petits lacs nous pouvons trouver des faciès caractéristiques par leurs conditions de sédimentation hydro-dynamique de régions bathyales, ou abyssales de la mer. Mais l'existence de ces faciès est brève, même par rapport à la durée d'une vie humaine; elle est même insignifiante du point de vue spatial et leurs produits de sédimentation ne se conservent pas, ils disparaissent bien avant la lithification des sédiments eux-mêmes. Si quelque part dans la masse des roches encaissantes d'un type de sédimentation donné, des dépôts de faciès insignifiant réussissent à se conserver, les chances de les découvrir au cours de l'étude de ces niveaux sera aussi faible que la probabilité de conservation, c'est-à-dire, pratiquement nulle. Ainsi, nous pouvons admettre que les dimensions spatiales des complexes sédimentaires se conservant dans les annales géologiques peuvent être considérées comme fonction du temps (fig.19). Par conséquent, chaque niveau de roches sédimentaires possède, en ce qui concerne sa conservation dans l'écorce terrestre, sa caractéristique spatia-temporelle. L'étude ultérieure des temps géologiques, du point de vue des notions scientifiques actuelles, permettra probablement de découvrir des perspec-

tives très intéressantes de l'histoire de la Terre et de la Vie.

Nous ne connaissons pas encore les vrais rapports des dimensions spatio-temporelles des faciès se conservant dans les annales des différentes époques géologiques. Nous pouvons établir, par des observations faites sur les sédiments actuels, que les masses de quelques m² et de quelques cm d'épaisseur, situées dans des dépôts continentaux de surface, existent pendant très peu de temps. La durée d'existence des faciès abyssiques actuels serait de 20-30 millions d'années. Il est tout à fait possible que dans l'avenir il nous soit donné de définir certaines grandeurs de faciès pour la conservation depuis le Paléozoïque, depuis le Mésozoïque, ou depuis le Cénozoïque. Pour le moment on peut se représenter théoriquement le schéma de la diminution des dimensions des faciès conservés et l'accroissement de leur nombre à mesure que l'on remonte l'échelle géologique (fig.20).

Il est facile de voir que pour chaque intervalle de temps, il existera une valeur limite minima donnée de l'extension spatio-temporelle des faciès de l'époque considérée, qui se conserveront jusqu'à nos jours malgré les destructions ultérieures. Cette valeur limite inférieure variera en fonction du temps auquel elle se rapporte. Toutes les dimensions de faciès, supérieures à cette limite, se conserveront dans les annales géologiques, les dimensions de faciès inférieures à cette valeur ne laisseront pas de traces dans les annales géologiques. Je propose de nommer ultra-faciès ceux dont les dimensions spatio-temporelles sont supérieures à la valeur limite minima déterminant leur conservation depuis l'époque de leur formation jusqu'à nos jours. On peut appeler infra-faciès ceux qui, leurs dimensions étant inférieures à celles de la valeur moyenne nécessaire à leur conservation, disparaissent des annales géologiques. La valeur minima-limite, constante pour chaque période donnée, peut être appelée valeur moyenne de conservation. On voit, d'après la fig.19, que pour les faciès continentaux la valeur moyenne de conservation peut varier en dehors de la position dans le temps, c'est-à-dire qu'elle est aussi fonction de l'altitude absolue des continents. Le déplacement de la valeur moyenne de conservation détermine la périodicité et la spécificité du développement des époques de sédimentation continentale. Dans les sédiments marins, dont le dépôt est déterminé également par la dénudation des continents, toutes ces relations existent également.

La répartition sur le continent des faciès stables dans le temps est soumise à une loi que l'on peut appeler: loi des degrés de destruction (fig.21-22). Chaque continent détruit par dénudation montre une disposition des faciès en gradins, en zones, allant, par conséquent, des degrés les plus élevés du continent vers la base générale d'érosion, c'est-à-dire vers la mer. C'est dans ce sens également que croît le degré de fragmentation des produits de la destruction. Au cours des longs processus de dénudation continentale disparaissent les faciès des districts les plus élevés et se conservent les sédiments dont les conditions de sédimentation se trouvent les plus proches de la cause d'érosion générale. Pour cette raison, dans chaque intervalle de temps donné d'existence d'un continent les conditions de sédimentation sont d'autant plus stables et, par conséquent, de durée d'autant plus longue, qu'elles se trouvent plus près de la base d'érosion générale.

Dans le cas idéal où le continent subirait une élévation parfaitement régulière, allant de la périphérie vers le centre (segment de sphère) les faciès devraient avoir une disposition zonale, en anneaux concentriques (fig.21). Naturellement, on fait, nous ne rencontrons jamais une telle disposition des degrés de destruction, qui, par suite de l'ir-

régularité de l'élévation de la surface d'un continent, sont répartis en surfaces discontinues, disposées en taches (fig.25).

Cette règle s'applique particulièrement bien aux époques épirogéniques, c'est-à-dire aux élévations continentales de grandes surfaces et de longue durée. Ainsi, dans la formation des annales géologiques nous distinguons deux lois fondamentales sélectionnant les produits sédimentaires des faciès qui se conservent dans le temps. La première de ces lois est celle des dimensions des faciès se subdivisant, pour une époque géologique donnée, en un groupe se conservant dans les annales géologiques, ce sont les ultra-faciès, et en un groupe qui disparaît des annales géologiques, ce sont les infra-faciès. La seconde loi détermine la sélection des faciès selon les degrés de destruction, c'est-à-dire selon leur disposition par rapport à la base d'érosion, avec conservation des faciès situés le plus bas. Il est facile de voir que les deux lois sont l'expression de deux aspects d'un seul et même processus. Les dimensions et la durée d'existence des faciès s'accroissent à mesure que l'on se rapproche de la base d'érosion, la variété des types de sédiments diminue avec le degré de division des produits de l'érosion. Par exemple, dans une région de sédimentation montagneuse, à chaque instant, les sédiments à grain fin sont des infra-faciès, tandis que la région montagneuse elle-même est un ultra-faciès, mais, au cours de ces époques géologiques, la région montagneuse avec l'ensemble de ses sédiments devient un infra-faciès, tandis que les sédiments à grain fin se transforment en ultra-faciès deltaïques, les plus proches de la base d'érosion et, par conséquent, les plus stables dans le temps. La notion de degré de destruction, très importante en litho-stratigraphie et en taphonomie, concorde exactement avec la conception des autres chercheurs soviétiques sur la formation de dépôts des annales géologiques en tant que conséquences d'une réaction mutuelle complexe de processus opposés d'érosion et d'accumulation, de dépôt et de transport. Nalivkine (1933) a toujours regardé les faciès comme les unités d'un paysage donné de la surface terrestre. Dans son ouvrage sur la différenciation zonale des faciès suivant les zones topographiques (1947) Popov touche de plus près à la question qui nous intéresse. Parlant de la périodicité phasique du développement de la sédimentation, Popov écrit (p.137): "D'après le principe stadial, chaque zone facio-topographique correspond à l'un des stades du développement de la sédimentation, stades se succédant les uns les autres sur le chemin parcouru par les courants sédimentaires qui tendent, sous l'influence de leur énergie (énergie due avant tout au relief), à se déplacer des points les plus élevés du relief vers les points les plus bas, c'est-à-dire vers la base d'érosion".

En nous basant sur la loi des degrés de destruction, nous pouvons parler des zones spatiales de conservation prioritaires. Comme nous l'avons vu, ces zones de conservation sont disposées à proximité de la base d'érosion de chaque période de dénudation concrète d'un continent. Conformément au caractère périodique de la sédimentation, les zones de conservation des sédiments se déplacent, tantôt en pénétrant profondément dans le continent, tantôt au contraire en s'éloignant de ce dernier, en conformité avec les mouvements tectoniques généraux des districts considérés (fig.23-24). Les régions d'affaissement continu, y compris les vastes dépressions intra-continentales, élargissent considérablement les zones de conservation des sédiments, ce qui se répercute immédiatement par un accroissement brusque du nombre des restes de végétaux et d'animaux conservés. Les élévations accentuées conduisent au rétrécissement des zones de conservation, sauf dans les cas où

de vastes dépressions s'intercalent entre les élévations à l'intérieur du continent, comme par exemple les dépressions prémontagneuses. Dans ce cas s'accumulent très rapidement de très puissants niveaux de sédiments, mais souvent dépourvus de restes organiques, comme nous le verrons plus loin.

Dans le cas d'absence de vaste plato-forme continentale, dans une région littorale de grands deltas les sédiments de type continental peuvent avancer loin dans le domaine de développement des dépôts maritimes. A titre d'exemple on peut citer la vallée sous-marine du Congo, où de puissants courants d'eau douce pénètrent profondément dans la mer à des distances appréciables du littoral. Les sédiments de type continental (dans la mesure où on peut en juger d'après le grain des sédiments) pénètrent dans la région du delta du Congo à quelques centaines de km. à l'intérieur de la mer et à une profondeur supérieure à 1 km. On peut encore signaler la découverte de dépôts de grès actuels à de très grandes profondeurs, comme par exemple le sable que l'on trouve sur le fond du Cap à environ 5000 m de profondeur, ou bien les galets de quartz se trouvant dans l'Atlantique Sud à 4 km de profondeur. Il est probable que la profonde pénétration de dépôts deltaïques à l'intérieur de la mer, surtout lorsque les continents ont une altitude assez élevée, était un phénomène assez répandu, ayant largement contribué à la conservation de ces sédiments par leur position dans les degrés les plus bas des zones de conservation. Il est possible que beaucoup d'escarpements de sédiments de caractère continental dans le Paléozoïque inférieur appartiennent précisément à de tels districts de grands deltas, s'avancant fortement vers l'intérieur de la mer.

Voyons le devenir des sédiments continentaux, sur tout un continent ancien, à la lumière des conceptions exposées ci-dessus. On s'aperçoit facilement que les ultra-faciès conservés dans les annales géologiques seront, en même temps, les zones de conservation, c'est-à-dire les sédiments de régions de sédimentation situées près du niveau de base d'érosion. Dans les conditions de sédimentation continentale tels seront principalement les sédiments deltaïques et les sédiments des marécages paraliques, plus rarement les sédiments des importantes dépressions sans écoulement, des dépressions prémontagneuses ou des plaines alluviales. Des périodes de glaciation importantes il reste d'importantes zones morainiques pré-littorales. Tous les dépôts d'extension plus faible et plus variés de la surface subaérienne du continent se trouvent en dehors de la zone de conservation et sont détruits en tant qu'infra-faciès quand il s'agit d'intervalles de temps géologiques importants. Ainsi, la région d'exportation ou la surface subaérienne de l'ancien continent, région peuplée d'animaux terrestres, disparaît totalement des annales géologiques. Dans les annales géologiques il ne reste du continent qu'un vide, entouré d'une zone d'ultra-faciès, par conséquent une zone de régions de sédimentation de plaines. Les zones ultra-faciès - plus exactement des districts discontinus de zones de conservation coïncidant avec les ultra-faciès des anciens continents - sont précisément les dépôts qui sont connus chez nous sous le nom de dépôts continentaux. Beaucoup de dépôts considérés auparavant comme désertiques ou subaériens sont maintenant rapportés à des dépôts deltaïques, d'après les données obtenues grâce aux travaux détaillés sur les roches rouges permienues du Prédoural (Poustovalov, 1937), sur l'origine du grès bigarré (Brinkmann, 1926), des géologues américains sur la genèse des sédiments du Permien, du Carbonifère et du Dévonien (Barrel, 1906, 1912, 1913, 1916; Branson, 1912. etc...).

Twenhofel (1932) et Poustovalov (1940) montrent de façon probante que les anciens niveaux sédimentaires rapportés anciennement à divers milieux continentaux appartiennent très vraisemblablement au groupe des

sédiments deltaïques. Le caractère d'enfouissement des sédiments dans le temps, conformément à une loi, confirme cette hypothèse et montre que la grande majorité des sédiments continentaux, surtout ceux du Paléozoïque, doit être rapportée à des régions de sédimentation deltaïque. Les dimensions des deltas actuels et la durée de leur existence confirment également l'appartenance des deltas à d'importants ultra-faciès. D'après Twenhofel les plaines subaériennes des deltas actuels occupent une superficie de 1.290.000 km², tandis que les parties sub-aquatiques forment un total de 5.000.000 km².

Pour le Paléozoïque, de toute la variété des dépôts continentaux, il ne reste, dans les annales géologiques, que les zones de conservation de plaines de sédiments du type deltaïque ou proches. Ces zones sont en même temps des lieux d'enfouissement de flores et de faunes terrestres et peuvent naturellement être discontinues suivant la largeur réelle des zones de conservation de la période considérée. Les sédiments marins terrigènes des zones littorale et néritique forment le contour externe de la zone continentale. Les importants récifs-barrières avaient une grande signification pour la conservation dans le temps des sédiments continentaux. Ils étaient disposés aux ruptures de la courbe hypsométrique et formaient des masses empêchant le transport ultérieur des sédiments deltaïques dans les plates-formes continentales étroites. Ils préservaient aussi les dépôts de la destruction par la mer. Les vastes superficies de roches rouges du Permien inférieur des Etats-Unis se rattachent, par leur formation, à des récifs-barrières (Koyes, 1937), exactement comme les couches rouges permiannes du Fréoural. Les dimensions des récifs-barrières peuvent être données par analogie avec celles de la Grande Barrière australienne, dont les dépôts occupent une superficie supérieure à 205.000 km² (Saville, 1893; Jong, 1930).

Par suite de la diminution des dimensions minima limites des ultra-faciès au cours des temps géologiques plus jeunes, le contour interne de la zone d'enfouissement s'élargit et pénètre plus profondément dans la surface sub-aérienne du continent. Ainsi, pour les continents du Secondaire, les faciès des dépôts conservés dans les annales géologiques pénètrent en biseau profondément dans le continent, en suivant les régions des cours inférieurs et d'une façon générale les dépressions importantes. Au cours du Tertiaire, les ultra-faciès pénétrant déjà très profondément dans les continents. Ainsi, on peut dire que plus un continent est ancien, plus ses zones d'enfouissement de faunes terrestres sont étroites et plus près elles se trouvent de la base d'érosion.

Des zones des ultra-faciès continentaux des continents du Cambrien il ne reste que des fragments insignifiants des extrémités de deltas, profondément incrustés dans la mer. On peut en dire autant du Silurien et ce n'est qu'au cours du Dévonien que nous rencontrons des districts plus importants de zones d'ultra-faciès continentaux. Du Silurien, comme du Dévonien, il ne demeure que les parties sous-aquatiques des deltas et la région des importantes dépressions tectoniques s'étendant le long des élévations calédoniennes, ayant donné les faciès des Vieux Grès Rouges.

Il est facile de voir que le développement des processus géotectoniques constitue et définit aussi bien les dimensions des zones de conservation que le caractère des zones des ultra-faciès, intervenant ainsi directement dans l'enfouissement de la faune.

Selon le caractère accidenté du relief, l'importance et la rapidité des soulèvements, l'existence de zones d'affaissement vastes et

de longue durée, les diamètres des zones des ultra-faciès des anciens continents s'accroissent ou se réduisent, tandis que leur épaisseur augmente ou diminue, reflétant ainsi, tantôt des périodes de dénudation active, tantôt des périodes de sédimentation plus calmes.

On devine facilement que dans les zones d'ultra-faciès, ayant persisté sur les continents du Paléozoïque, nous rencontrons, non seulement des sédiments deltaïques, mais aussi des complexes entiers de dépôts ne se rattachant pas directement aux deltas. Tels sont les eury-lithèmes des lagunes et des marécages du Dévonien et du Carbonifère, les vastes plaines inondées du Karroo au cours du Permien. Mais le trait commun de tous les ultra-faciès paléozoïques est leur disposition dans les régions de bordure et de plaine des continents.

Une propriété probablement spécifique des anciens continents est le développement de côtes extraordinairement plates, très différentes des plates-formes continentales actuelles, que nous pouvons regarder comme de gigantesques terrasses d'abrasion marine, se développant dans des continents d'altitude élevée et de côtes bien dessinées. De long des côtes plates des continents paléozoïques se sont développées de vastes zones marines peu profondes, contenant des faciès laguno-marécageux principalement saurâtres, mais comprenant aussi de nombreux courants d'eau douce, déposant des sédiments du type fluvial. Ainsi, les deltas eux-mêmes des anciens fleuves n'étaient souvent pas nettement séparés des conditions marines, s'étendant parmi de vastes marécages et lagunes pré-maritimes.

Pour les annales géologiques des continents du Mésozoïque et du Cénozoïque, les ultra-faciès se rattachent à des zones de conservation basses, localisées dans des régions pré-littorales. Dans la formation des annales géologiques du Cénozoïque une plus grande part revient aux types d'ultra-faciès liés à des chaînes de montagnes, à l'intérieur du continent et se déplaçant dans les éléments négatifs du relief continental. Tels sont la majorité des gisements tertiaires, sans tenir compte de ceux déposés dans les conches deltaïques et laguno-marines; les plus caractéristiques sont les gisements formés sur de vastes plaines alluviales (Etats-Unis, Bélouchistan, partie du Kazakhstan, Mongolie), ou ceux formés dans les dépressions pré-montagneuses se rattachant tout de même directement aux plaines alluviales, comme par exemple les Siwaliks.

Les ultra-faciès du type des Siwaliks du Cénozoïque se trouvent en relation directe avec la hauteur et l'intensité de la croissance des édifices montagneux, auxquels ils sont nécessairement liés. Plus les montagnes sont hautes, plus l'extension des ultra-faciès du type des Siwaliks est large et puissante. Ce n'est pas par hasard que les Siwaliks aux Indes sont en rapport avec les chaînes de montagnes les plus hautes du monde: l'Himalaya. C'est en cela que consiste la différence entre ces ultra-faciès et ceux, plus anciens, qui bien que liés à des montagnes sont situés sur la bordure des continents, dans les limites de la mer. Probablement qu'avec le développement géotectonique ultérieur de la surface terrestre et l'apparition des continents de caractères plus nettement opposés à ceux du domaine marin (la courbe hypsométrique terrestre ayant varié) les ultra-faciès du type paléozoïque sont devenus extrêmement rares.

Les roches sédimentaires représentent le réservoir des restes organiques fossilisés et, pour cette raison, l'avenir des documents paléontologiques est irrévocablement lié au sort des sédiments dans le temps. Plus haut, nous avons étudié les propriétés générales de la conservation des niveaux continentaux sédimentaires dans les annales géologiques; ces propriétés nous montrent que les restes enfouis et fossilisés dans

les infra-faciès de chaque époque donnée ne se conservent pas jusqu'à nous. Les ultra-faciès nous transmettant les documents paléontologiques possèdent de grandes superficies d'extension et de grandes épaisseurs. Les gisements contenus dans ces ultra-faciès doivent également posséder des dimensions appréciables pour ne pas se perdre dans les masses considérables des roches et pouvoir affleurer à la surface subaérienne actuelle. La formation de gisements importants demande très probablement de très grandes quantités de faune et de flore, comme nous le verrons en détail plus loin. De même, les ultra-faciès, en particulier ceux du Paléozoïque, sont formés de niveaux situés près de la base d'érosion, dont d'immenses superficies demeurent jusqu'aujourd'hui au-dessous de l'eau de la mer et au-dessous de puissantes couches marines. Ces districts submergés, bien que non effacés des annales géologiques et pouvant au cours des processus géotectoniques futurs, se découvrir et devenir accessibles à l'observation, doivent être considérés, pour les annales géologiques, comme disparus.

Notre exposé nous conduit aux conclusions suivantes:

1) La destruction et l'élimination des infra-faciès des pages des annales géologiques, conditionnent l'élimination de ces annales d'un nombre considérable de restes de la faune et de la flore s'y trouvant enfouis. Ceci est particulièrement important pour la faune et la flore terrestres. Pour le Paléozoïque, presque tous les faciès de la surface subaérienne sont des infra-faciès. Au cours du Mésozoïque aussi, la partie dominante de la surface subaérienne des continents est la région de développement des infra-faciès et ce n'est qu'au cours du Cénozoïque que les ultra-faciès occupent des superficies considérables de la surface continentale. Pour cette raison, on peut considérer, comme une règle générale, l'élimination des annales géologiques d'une très importante partie de la flore et de la faune terrestres, pour le Paléozoïque, cette partie étant moins importante pour le Mésozoïque et encore moins pour le Cénozoïque.

2) Pratiquement il est inutile de rechercher des faunes et des flores dans les niveaux anciens dans des dépôts qui, théoriquement auraient dû en contenir, mais qui appartiennent à des faciès non dominants.

3) Les ultra-faciès des continents du Paléozoïque se rapportent à des régions du même type de la bordure continentale, contenant une flore de caractère domé. Les restes d'animaux enfouis dans ces faciès reflètent avant tout les peuplements des régions de plaines. La faune (et la flore) habitant l'intérieur du continent s'y trouvent enfouis accidentellement, sous forme de restes rares d'animaux qui, dans la réalité étaient très nombreux. Ces restes de faunes et de flores provenant des régions internes des continents sont dispersés dans la majorité des cas dans la masse des sédiments des ultra-faciès et échappent à notre observation. Pendant les époques d'apport intense, les cas d'enfouissement des faunes provenant de l'intérieur des continents peuvent devenir plus fréquents, mais ce sont toujours des restes fragmentaires, isolés, car le transport sur une grande distance provoque la destruction de ces restes. Les rares cas où des restes de faunes et de flores d'infra-faciès tombent accidentellement dans un gisement d'ultra-faciès et ainsi se conservent au cours du temps, ne peuvent naturellement pas donner une idée exacte de la variété et de la quantité des formes peuplant les régions d'infra-fa-

ciès. Par eux-mêmes les ultra-faciès donnent une image assez exacte de la flore et de la faune terrestres, peuplant la zone d'extension des régions de sédimentation de ces faciès, étant donné que les conditions de conservation des sédiments accumulés contenant des restes organiques y sont tout à fait favorables. Mais, par suite de l'importance des quantités de sédiments d'ultra-faciès, les restes d'animaux et de végétaux formeront des gisements importants, seulement dans les périodes où le nombre des formes sera élevé, où la faune sera florissante.

Dans les recherches futures sur les gisements, nous devons résoudre la très importante question de la situation des gisements à l'intérieur des divers ultra-faciès, en d'autres termes, de la répartition des districts ossifères dans la masse des roches "vides". Dans certains cas, la quantité maxima des restes organiques peut ne pas coïncider du tout avec l'épaisseur maxima, comme par exemple, dans le cas des ultra-faciès des dépressions prémontagneuses. Souvent, ces dernières se remplissent de sédiments dans des conditions ne favorisant pas une grande densité de peuplement. Comme exemple nous pouvons citer l'enfouissement actuel dans la région d'Alma-Ata au Kazakhstan, où le profond affaissement prémontagneux en forme de "cuve", situé au Nord de la chaîne de Zaïlie, avec des sédiments actuels accumulés sur une épaisseur de 1 km., se trouve dans une région désertique avec des peuplements faunistiques et floristiques rares. Vers le Nord, les épaisseurs diminuent rapidement sur l'autre côté de l'affaissement prémontagneux. Sur ce côté se trouve le lac Balkhash, avec le delta de l'importante riv. Il et un peuplement abondant. Il est probable que dans ce cas et dans certains autres, lorsque des deltas de rivières se trouvent sur l'autre côté des dépressions prémontagneuses, les gisements les plus riches peuvent prendre naissance dans les régions de sédiments très peu épais, sur la bordure de la région de sédimentation, tandis que les masses beaucoup plus importantes de dépôts meubles peuvent contenir une très faible concentration en restes d'animaux et de végétaux. A.V.Khabakov fait une comparaison très heureuse entre l'exemple de la dépression prémontagneuse de la chaîne de Zaïlie et les faciès artinskiens (Permien inférieur) du Prédoural occidental. En effet, malgré les très grandes épaisseurs et le caractère continental très net de ces dépôts, nous n'y trouvons presque pas de gisements de faunes et de flores continentales, tandis que dans les dépôts deltaïques, moins épais et un peu plus récents (grès cuprifères, etc...), situés loin vers l'Ouest, on trouve un très grand nombre de gisements. Notre exposé montre, une fois de plus, la nécessité de l'emploi permanent de l'analyse tectonique dans la détermination du caractère ossifère des ultra-faciès.

4) Les ultra-faciès des régions intra-continetales sont extrêmement importants pour la connaissance de la flore et de la faune spécifiquement terrestre, en particulier, du Paléozoïque. Tels peuvent être les sédiments des grandes dépressions sans écoulement, des lacs, des dépressions prémontagneuses des systèmes montagneux situés à l'intérieur du continent. Dans les ultra-faciès intra-continetaux la composition de la faune et de la flore peut différer très nettement de celle des ultra-faciès des plaines pré littorales, malgré la synchronisme de la formation des gisements.

Comme conséquence de l'étude des propriétés litholoimonomiques de la conservation des niveaux sédimentaires dans les annales géologiques, il faut supposer que la diversité de la vie terrestre, pendant les époques géologiques anciennes, à commencer par le Paléozoïque supérieur,

était incomparablement plus grande que ne permettent de le deviner les données géologiques existantes. Il n'y a pas de doute que des millions de formes très variées d'animaux terrestres (et de Végétaux) furent éliminés des annales géologiques par des processus complexes que nous venons d'esquisser grossièrement ci-dessus. Cependant, au cours des recherches paléontologiques nous oublions souvent les rapports véritables entre le nombre insignifiant des formes connues et la composition de la faune terrestre du passé. Si, pour le Tertiaire, ce rapport n'est pas trop réduit, pour les périodes plus anciennes, et surtout pour la Paléozoïque, le nombre des formes enfouies, par rapport au nombre réel des composants de la faune doit être regardé comme extrêmement faible.

La stratigraphie des niveaux continentaux étant peu détaillée et comme il est difficile d'établir une corrélation entre les différentes coupes, nous nous trouvons devant un phénomène répandu dans les usages géologiques et paléontologiques et qui consiste en une contraction apparente du temps (fig.26). Ce phénomène se ramène au fait que divers horizons, chacun ayant une durée donnée dans le temps se confondent, pour nous, en un seul stratigraphiquement bien défini. Pour cette raison, il y a réduction, ou accroissement, de la période et toute la flore - ou faune - connues de ces horizons semblent se condenser en une unité, caractérisant un intervalle de temps sensiblement plus court. On aboutit à une richesse apparente des formes qui n'existe pas en fait. Cette condensation perspective du temps s'observe non seulement pour des subdivisions stratigraphiques insignifiantes, mais aussi pour des périodes géologiques entières. Lorsque nous analysons par exemple la flore ou la faune terrestres permienne d'Amérique, d'URSS et d'Afrique du Sud, nous sommes frappés par l'abondance et la variété des formes et la richesse des gisements. Mais si on disloque cette riche flore en petits horizons ou strates du Permien, ayant au total une durée de 15 à 20 millions d'années, il devient clair que chaque petit intervalle de temps géologique correspond à 100 générations - ou plus - d'animaux de durée pluriannuelle de vie, ce qui fait que nous trouvons devant des formes isolées (ce mot étant pris dans son sens littéral), avec un nombre insignifiant d'individus.

Nous sommes sûrs qu'avec les progrès de la géologie et de la paléontologie, le nombre des formes nouvellement découvertes ira en croissant. L'accroissement rapide de nos connaissances, ne serait-ce que dans le domaine de la faune continentale du Paléozoïque, au cours des 50 dernières années, est tout à fait significatif.

Sur la base de l'analyse litho-stratigraphique et des données de la taphonomie, au sujet des causes de la destruction et de la conservation des animaux, comme sur la prédominance des adaptations typiques nous avons des raisons d'espérer pouvoir fournir toute une série de pronostics sur les fouilles de gisements contenant des formes qui ont peuplé l'intérieur des continents. Mais avec le développement de nos connaissances sur la surface terrestre, la découverte de nouvelles formes nous permettra d'accroître aussi les superficies de niveaux ossifères connus. Pour cette raison, en principe, le caractère général des rapports signalés ci-dessus demeure le même. Le progrès de nos fouilles et recherches de faunes va, dans l'avenir, augmenter de 10 ou 100 fois les nombres des formes anciennes connues. Les conditions d'enfouissement, dont nous venons de parler, nous le prouvent et, si on en tient compte, on s'imagino difficilement des niveaux continentaux réellement azoïques. Cependant, ces mêmes conditions montrent qu'au cas d'un tel progrès de nos connaissances, l'accrois-

sement du nombre des formes dans les annales géologiques se fera aux dépens des gisements encore non découverts, c'est-à-dire à partir les réserves se trouvant dans de nombreux niveaux non encore étudiés ou non découverts. Cependant la plus grande partie de la faune paléozoïque a disparu de notre champ d'observation définitivement et le progrès de nos connaissances ne pourra que modifier le nombre des formes trouvées, qui actuellement est très bas. La loi générale de l'élimination de la plus grande partie de la faune demeure naturellement inchangée.

En fait, l'image de telle ou telle "faune" fossile de Vertébrés terrestres d'une région importante quelconque représente seulement la somme des faciès dominants (et conservés) dans cette région. En d'autres termes, la "faune" conservée, par sa composition et sa quantité est définie entièrement par le caractère des processus géologiques dans la région et l'intervalle de temps considérés.

C'est seulement ainsi que l'on doit considérer les "faunes" que nous fournissent les annales géologiques. Ainsi, par exemple, la prédominance des formes fluviales ou terrestres dans une "faune" donnée ne signifie pas obligatoirement qu'à l'époque considérée ces formes dominaient; cette apparence peut être due à une sélection des faciès ossifères ou des restes d'animaux qui seuls se sont fossilisés car ils ont résisté à la destruction.

A part les lois générales d'élimination, au cours des temps géologiques, de certains types de sédiments donnés (ou de faciès), constituant pour ainsi dire les gros plans de la formation des "faunes" fossiles, les processus de passage direct des restes organiques de la biosphère à la lithosphère sont aussi très importants pour la formation des annales paléontologiques. Dans le chapitre suivant nous entreprendrons l'étude de ce processus

Chapitre IV

PRINCIPAUX FACTEURS de la FORMATION des GISEMENTS de FAUNE et de FLORE FOSSILES

Le processus de formation de n'importe quel gisement doit être considéré comme la transformation des restes organiques de composants de la biosphère en composants de la lithosphère. Les produits de la biosphère en passant dans la lithosphère deviennent des membres d'associations minérales de roches sédimentaires et, en tant que tels, subissent toutes les lois des processus de la lithosphère. Ce passage de restes de la biosphère à la lithosphère s'appelle, enfouissement.

Pour comprendre les propriétés d'enfouissement des restes organiques dans les dépôts sédimentaires, le facteur fondamental, dont il faut tenir compte, est que les dimensions des objets organiques enfouis ne correspondent pas du tout aux dimensions des particules clastiques des sédiments. Pour cette raison, dans les conditions de sédimentation normale, les restes d'animaux terrestres et de végétaux plus ou moins importants, ne peuvent pas traverser le filtre, ou, plus exactement, le tamis, ayant les dimensions des particules clastiques des types répandus de roches sédimentaires (ce sont les seules roches assurant la conservation des restes organiques).

Les conditions dans lesquelles les restes organiques peuvent traverser le filtre de la méconogénèse des sédiments clastiques, se ramènent aux suivantes :

1) Les dimensions des particules organiques coïncident, du point de vue de leur volume et de leur poids avec les dimensions des particules des sédiments répandus, disons le sable et les argiles. Dans ce cas, dans les sédiments sont enfouis seulement des restes organiques extrêmement petites, qui, cependant, doivent se rencontrer dans chaque roche sédimentaire habituelle. En effet, "la fréquence" des gisements de spores de Végétaux, de Foraminifères, de Diatomées et autres microfoules, est extrêmement grande et ne correspond pas du tout au nombre de gisements de grandes formes.

2) Les autres objets susceptibles de subir l'enfouissement - les os et squelettes de Vertébrés, les troncs et branches de Végétaux, ont des volumes et poids considérablement supérieurs à ceux des particules des sédiments dans lesquels ils peuvent se conserver (en effet, des sédiments à grain trop gros les useraient). Il est donc clair que l'enfouissement de tels restes ne peut pas être permanent et la fréquence de ces gisements ne peut pas être grande. L'enfouissement des gros restes a besoin de conditions particulières, pour qu'ils puissent être incorporés au processus de méconogénèse de la roche en voie de dépôt et en faire ainsi partie.

Ces conditions sont générales et s'appliquent à tous les gisements. Les restes organiques gros (en tant que fraction dense des apports aquatiques), sont retenus en général dans les régions d'exportation et n'arrivent pas dans la région de sédimentation. Ils sont inévitablement détruits.

L'ensemble des processus de formation des gisements se subdivise en trois étapes successives (fig.27). La première étape, dans l'ordre chronologique, comprend l'ensemble des processus de la biosphère, préparant ses éléments à l'enfouissement. La seconde étape est l'enfouissement à proprement parler, comprenant l'ensemble des processus assurant le transport des restes organiques de la biosphère dans le domaine de la lithosphère, plus précisément, dans des sédiments mous, non lithifiés. La troisième étape, finale, est la fossilisation des restes organiques, coïncidant avec le processus de la lithification (diagenèse) de la roche, elle-même étant une conséquence de ce processus. Ces trois étapes doivent se succéder, sans intervalle important dans le temps. Cette nécessité est la cause de la rareté relative des phénomènes de passage de la biosphère à la lithosphère. Il est tout à fait évident que si les restes animaux accumulés dans la biosphère ne sont pas enfouis assez rapidement dans les sédiments sous-aquatiques, ils sont inévitablement détruits par les agents biogènes et sub-aériens. De même, si les restes déjà enfouis dans des sédiments mous ne sont pas fossilisés, c'est-à-dire, si leur substance organique n'est pas rapidement remplacée par de la substance minérale, ces restes seront dissous et disparaîtront. D'après des observations faites sur la destruction des restes organiques situés sur la surface sub-aérienne et dans des sédiments mous actuels, ou sous l'eau, nous pouvons affirmer que l'intervalle de temps entre les deux premières étapes de formation des gisements doit être considérablement moindre que l'intervalle de temps entre la seconde et la troisième (fig.27). En d'autres termes, si pour la destruction complète des restes des animaux à la surface sub-aérienne il faut, selon les climats, de uno à quelques années pour la destruction de ces mêmes restes enfouis sous l'eau, ou dans les sédiments mous, il faudra un temps

beaucoup plus considérable. Cependant, la destruction sous-aquatique peut elle aussi être souvent rapide: par exemple, les travaux de Hecht (1933) montrent une destruction extrêmement rapide des restes animaux situés dans des conditions sous-aquatiques marines. Il faut supposer que dans les faciès d'eau douce la vitesse de destruction n'est pas moins grande.

La nécessité de coïncidences dans la succession des étapes pour la formation des gisements définit encore une cause d'élimination des formes terrestres des annales géologiques. D'autre part, chaque étape de genèse garde encore ses propriétés sélectives spécifiques. Le caractère sélectif des processus de formation des gisements, que j'appelle sélectivité de l'enfouissement consiste en ce que l'action successive des facteurs des trois étapes intervenant dans la formation des gisements, détermine la composition des faunes et flores enfouies. Ainsi, dans chaque gisement nous trouvons une composition faunistique reflétant, non pas tellement la faune originale de la région et de l'époque considérées, que les processus ayant créé le gisement. Chaque étape de morphogénèse des gisements possède, pour ainsi dire, ses tamis, laissant passer certains restes et détruisant les autres. Si pour la première étape les facteurs déterminants sont les facteurs biologiques, pour la seconde étape les facteurs déterminants seront les facteurs physico-mécaniques et pour la troisième ce sont les facteurs chimiques.

La sélectivité de l'enfouissement est un phénomène extrêmement important, qui déforme nos conceptions sur les faunes terrestres authentiques des anciennes époques géologiques et, surtout, sur les rapports réels entre les organismes primitifs. Quelques lois définissant le caractère sélectif de l'enfouissement seront étudiées plus loin, au cours de la description des différentes étapes de la formation des gisements.

Pour la faune marine, les étapes fondamentales de la formation des gisements ont des caractères profondément différents. La première étape, celle d'accumulation des restes dans la biosphère, se confond presque entièrement avec la seconde et l'importante destruction sub-aérienne, dans l'intervalle séparant ces deux étapes, n'a pas lieu. D'autre part, souvent il n'y a pas de transport des restes organiques dans la région de sédimentation, c'est-à-dire, déplacement de ces restes de la biosphère dans la lithosphère. La lithosphère recouvre, pour ainsi dire, elle-même le district considéré de la biosphère, qui s'enfonce dans le niveau sédimentaire sans déplacement spatial important. Ce processus d'enfouissement permet d'aboutir à une composition faunique des gisements marins incomparablement plus complète et élargit considérablement les mailles du tamis de sélection de l'enfouissement. Ce que nous venons de dire est particulièrement vrai pour la faune marine du fond. Les biocénoses des formes mobiles ne se soumettent pas complètement à ces lois. De plus, l'immobilité de la faune, créant des conditions favorables à la conservation complète des restes, limite la diversité et l'extension de la faune enfouie, à son minimum.

1- Facteurs biologiques de la formation des gisements.

La première étape de formation des gisements est l'accumulation des restes organiques - produits de la biosphère. Les causes d'accumulation sont créées à la suite de processus ayant lieu dans la biosphère, ainsi, toute la première étape se détermine par les lois de la dynamique des peuplements animaux et végétaux, de l'intervalle de temps considéré. Nous nous contenterons d'étudier les facteurs agissant sur la

monde animal, étant donné que les lois d'accumulation des restes de flores, pour les associations végétales, qui sont immobiles, sont plus simples et mieux étudiées, par exemple en raison des recherches effectuées sur la genèse des caustobiolithes. La dynamique des populations animales terrestres est encore mal connue. Il est incontestable que les lois générales de la variation du nombre, des destructions massives et les autres facteurs déterminant la dynamique des troupeaux animaux, ont une signification de premier ordre pour la taphonomie. Mais les données correspondantes, qui commencent seulement à s'accumuler à la suite des recherches nouvellement entreprises, sont encore trop insuffisantes et ne peuvent pas être utilisées dans l'analyse des lois de l'étape biotique de la formation des gisements. Ce n'est que dans les recherches de l'avenir que ces données pourront servir. Dans notre étude nous nous contenterons d'un exposé général des facteurs que nous pouvons observer directement dans la biosphère du passé et dans l'actuelle, sans entreprendre l'étude des causes qui les ont provoquées.

Une différence réelle entre la faune terrestre et la faune marine (plus exactement aquatique), du point de vue de l'enfouissement des restes, est que cette faune peuplée, soit la région d'érosion, soit la région d'infra-faciès de durée très brève. Pour cette raison, les restes de la faune terrestre subissent une intense décomposition par les facteurs biogènes et une destruction intense par les facteurs sub-aériens. Ils ne peuvent être enfouis qu'exceptionnellement. D'autre part, la faune terrestre se compose uniquement d'organismes se déplaçant librement sur la surface de la terre. Les accumulations d'organismes terrestres mobiles, même dans le cas d'une mortalité élevée, donnent des restes disséminés sur la surface du sol. Même si ces restes se trouvent enfouis, étant donné qu'ils sont en exemplaires isolés, ils seront disséminés dans des masses de sédiments des infra-faciès et, pratiquement ce sera comme s'ils étaient disparus. Il est évident que pour créer des accumulations de restes en nombre suffisant pour former des gisements, il faut que la concentration des restes animaux se fasse dans le domaine de la biosphère. La concentration des restes animaux est le premier degré nécessaire à la création de chaque gisement.

Les conditions favorisant des accumulations de restes animaux sont assez variées, mais comme on doit s'y attendre, le point de départ de toutes ces conditions est le nombre élevé d'individus peuplant telle ou telle région. Ceci montre qu'on ne peut obtenir de concentrations importantes de restes que dans le cas de faunes ayant atteint un grand épanouissement numérique, de faunes prospères ou migrantes. Dans la composition de chaque faune nous trouvons des formes à nombre très variable d'individus; il y a des formes très rares et des formes très abondantes. L'accumulation des restes fauniques sera composée de formes à nombre d'individus élevé, susceptibles de donner une telle accumulation. Les formes rares ne peuvent pas donner d'accumulations et échappent à l'enfouissement, dès le début de la formation des gisements. Ainsi, la nature sélective de l'enfouissement intervient dès le premier processus, pour ainsi dire le stade préliminaire, de la formation des accumulations de restes. Des faunes de composition variée, mais peu nombreuses par le nombre d'individus constituant chaque espèce, peuvent ne pas laisser du tout d'accumulations de restes suffisantes pour la formation de gisement et, en conséquence, échapper aux annales géologiques.

Le second facteur de la formation de concentrations de restes

animaux, associé au nombre total d'individus, est la densité du peuplement. Si celle-ci est grande, elle représente un facteur favorable à la formation des accumulations de ces restes. Une population peu dense peut ne pas laisser de traces, malgré une longue durée de peuplement sur une superficie importante. Comme on le sait, les formes fertiles et de courte durée d'existence, se distinguent par une densité de population élevée et peuvent, par conséquent, donner plus facilement des accumulations. Les formes de longue durée de vie et peu fertiles, ont une faible densité de population et, étant exceptionnellement enfouies, sont une autre cause de déviation par rapport à la composition effective de la faune. La formation d'accumulations de restes d'animaux pour des formes terrestres se déplaçant librement sur la surface du sol, sur laquelle les restes sont en général dispersés, peut être due à deux causes principales, qui peuvent se présenter sous des formes très variées, en fonction de la diversité des processus externes de la biosphère eux-mêmes. La première cause est la mort massive des animaux, qui, comme nous le verrons plus loin, ne se rattache absolument pas à des catastrophes de la nature des transformations géologiques brusques, des cataclysmes, comme on le supposait autrefois et comme, encore maintenant, on continue à le penser de façon plus viciée. Les catastrophes conduisant à une destruction massive des animaux, se révèlent telles, dans la majorité des cas, uniquement pour des régions et des biocénoses déterminées et n'ont pas de signification universelle. Des phénomènes de ce genre sont, par exemple, les épizooties, les inondations périodiques des plaines, les dessèchements de bassins aquatiques, l'engloutissement de marécages, les tempêtes inattendues de neige, etc ... Souvent, l'accumulation de circonstances mortelles pour certaines formes de biocénoses données, ne touche pas du tout les autres formes de cette même biocénose. Comme exemple, citons l'épizootie catastrophique qui a sévi sur les Antilopes en Afrique du Sud et orientale, qui, au cours de la seconde moitié du siècle dernier a détruit des millions d'individus, mais qui n'a eu aucun effet sur les Rhinocéros, les Eléphants et sur d'autres éléments de la biocénose des savanes d'Afrique (Elton, 1931). Les inondations, en hiver, des régions basses du bassin de l'Amazonie et de celui de l'Orénoque, ou du Limpopo et du Congo, provoquent la destruction massive de petites formes, ou des individus jeunes de la faune, sans atteindre les formes de grande taille. On peut citer un grand nombre d'exemples de catastrophes ayant un caractère sélectif (Weigelt, 1927; Zelikov, 1936). Pour les biocénoses à grand nombre d'individus, les destructions massives périodiques provoquées par la famine et les épizooties, sont un phénomène régulier et représentent un facteur régularisant l'équilibre biotique (Nicholson, 1933; Severtzov, 1941). La seconde cause de formation d'accumulations de restes de faune terrestre est l'entassement progressif des restes, les conditions demeurant identiques pendant très longtemps, par exemple dans les lacs, les marécages, les deltas des rivières, où les restes des animaux peuvent être apportés pendant de très longs intervalles de temps. L'accumulation progressive des restes (en quantités suffisantes pour former des gisements) se rencontre plus rarement que les destructions massives d'animaux, mais au cours de longues périodes géologiques elle a eu lieu assez fréquemment. Il est facile de voir que la quantité des restes d'animaux nécessaire à la formation de gisements, dans des infra-faciès, peut-être sensiblement moindre que celle nécessaire à la formation de gisements dans les ultra-faciès. En effet, pour le Cénozoïque supérieur et pour le Quaternaire, nous rencontrons un très grand nombre de petits gisements de ce type. Pour cette raison, dans

les périodes géologiques plus récentes, l'accumulation progressive des restes acquiert une signification croissante, car plus on avance dans le temps, moins il faut de restes pour la formation de gisements situés dans de petits infra-faciès accessibles à l'observation (fig.28).

Quelles que soient les causes ayant intervenu dans la formation des accumulations de restes d'animaux et si importantes qu'aient pu être ces concentrations, la destruction des restes organiques est inévitable, si cette concentration ne se trouve pas dans une région de sédimentation importante, ou à son voisinage. Si l'accumulation des restes animaux s'est formée dans les limites d'une région de sédimentation d'ultra-faciès, ou, tout au moins a pu être apportée dans une telle région assez rapidement pour éviter sa destruction par l'érosion et par le transport, à ce moment commence la seconde étape (fig.29). Il ne faut pas oublier que chaque gisement de formes terrestres est formé dans des conditions étrangères aux conditions de vie des formes considérées. Tous les gisements, sans exception, de faune (ou de flore) terrestre sont, d'après l'ancienne terminologie, des thanatocénoses (Wasmund, 1926). Pour cette raison chaque accumulation de restes animaux, préparés par les processus de la biosphère, contient la notion inévitable d'animaux vivants, fixe, l'accumulation à l'endroit considéré réalisant ainsi la première étape de la formation des gisements.

Pour les formes adaptées à la vie aquatique, pouvant habiter directement dans les conditions de sédimentation, la mort apparaît comme un facteur les fixant dans ces conditions et excluant pour eux la possibilité de sortie de la région d'enfouissement. Pour cette raison, les concentrations de formes aquatiques n'ont pas besoin de facteur de transport des restes dans le milieu de sédimentation, facteur qui est indispensable pour les formes tout à fait terrestres. Mais, dans ce cas aussi, toutes les autres conditions restent valables. Dans certaines conditions les cas d'accumulation progressive des restes de formes aquatiques peuvent être beaucoup plus fréquents. Pour ces mêmes raisons les représentants des formes à adaptations aquatiques, ou à tendance à cette adaptation, doivent être enfouis beaucoup plus fréquemment et former des gisements plus souvent.

Les facteurs biologiques de la formation des gisements de flores terrestres, ont un caractère un peu différent. Tous les facteurs de dispersion des restes et de la nécessité d'un nombre élevé d'individus, avec une forte densité de population, restent valables au même titre. Cependant, les concentrations de formes végétales vivantes, sont immobiles et, pour cette raison, la possibilité d'accumulation de restes complets, dans les conditions de sédimentation d'ultra-faciès, est limitée. Si la concentration végétale se trouve elle-même dans une région d'ultra-faciès, elle peut donner lieu à un gisement important, représentant de façon beaucoup plus complète la composition locale de la flore; que les thanatocénoses d'une faune enfouie. De ce point de vue, les conditions d'enfouissement de la flore se rapprochent des conditions d'enfouissement de la faune marine. Cependant, les accumulations de flores situées en dehors des conditions de sédimentation d'ultra-faciès, par exemple dans des conditions d'infra-faciès, parviennent dans les premiers à un état fortement détérioré et incomplet, étant donné que les déplacements accidentels dans la biosphère sont exclus pour des plantes. Pour cette raison, la flore continentale située dans des régions d'infra-faciès, est beaucoup moins connue dans les annales géologiques que les faunes; elle est

beaucoup moins complète, surtout pour le Paléozoïque et pour le Mésozoïque. Pour le Secondaire supérieur et le Tertiaire, la flore étant tout à fait identique à l'actuelle, avec seulement des restes insignifiants, on peut reconstituer l'aspect général d'une plante et, pour cette raison, les annales donnent l'impression d'être plus complètes.

L'exposé des facteurs biologiques de la formation des gisements de faune terrestre, que nous venons de faire, n'a nullement la prétention d'être complet. Notre but était de montrer le plan général des processus agissant dans la biosphère et de trouver ainsi de nouvelles voies de recherche dans ce domaine. Quelques conséquences importantes découlant de là seront données dans le chapitre de conclusions générales sur les facteurs de la formation des gisements.

2- Principaux facteurs des processus d'enfouissement.

La seconde étape de formation des gisements - l'enfouissement des restes organiques accumulés - coïncide, en fait, avec le processus de sédimentation. Les transformations subies par les organismes animaux et végétaux morts en voie d'enfouissement, donnent l'explication de l'influence des conditions d'enfouissement sur la composition de la faune (ou la flore) incluse dans le gisement considéré et, par conséquent, sur le caractère plus ou moins complet des annales géologiques. Dans les processus d'enfouissement, les restes organiques représentent une partie du sédiment déposé et obéissent à toutes les lois de sédimentation des roches clastiques. Pour cette raison, l'étude des roches constituant le gisement, ainsi que les données génétiques générales sur le niveau ossifère, nous fournissent des faits permettant la reconstitution des traits les plus caractéristiques de l'enfouissement considéré. Une étude parallèle de la répartition des restes à l'intérieur d'une couche, des dimensions et des indices d'usure des restes organiques, c'est-à-dire de l'ensemble des caractères de l'état des restes d'animaux et végétaux du gisement avant la fossilisation, permet de reconstituer le caractère des transformations de l'accumulation initiale des restes animaux (la thanatocénose) et, associée aux données fournies par l'étude des roches du gisement, elle donne l'image de la genèse de la "faune" (c'est-à-dire de la taphocénose - Quenstedt, 1931), dont les restes sont enfouis dans le gisement.

Un important facteur d'enfouissement déterminant la composition en restes organiques est l'ensemble des lois hydrodynamiques du transport des sédiments. Pour le déplacement de chaque particule mécanique dans le courant d'eau il faut une certaine vitesse, que l'on appelle force du courant. Plus les particules déplacées sont grosses, plus la vitesse du courant doit être grande et, au contraire, des particules très légères pourront se déplacer sous l'action d'un mouvement à peine perceptible de l'eau. L'application de l'hydraulique à l'étude de la sédimentation permet de calculer et de définir toutes les relations existant entre la vitesse du courant, le poids et les dimensions des particules déplacées. Les rapports restent vrais pour toutes les périodes géologiques, étant donné que la densité de l'eau et la pesanteur, principaux facteurs de l'hydromécanique des sédiments, n'ont pas varié au cours des époques géologiques. Connaissant la densité et les dimensions des particules, nous pouvons définir la force du courant qui les a déposées. Le caractère fortement sélectif des processus hydrodynamiques de dépôt des sédiments, a une importance extrêmement grande pour la taphonomie. Cette sélectivité hydrodynamique de l'enfouissement définit la composition de la "faune" dans les gisements et dans la région considérée d'accumulation des sédiments. En effet,

un courant d'eau d'une force donnée laissera sur place toutes les particules dont le poids est supérieur à la force du courant, il déposera en un lieu où sa vitesse est diminuée toutes les particules qu'il transporte difficilement et emportera sans difficulté toutes les particules plus légères, pouvant se déplacer librement, même pour une vitesse plus petite de l'eau. Ainsi, tout matériel transporté par un courant d'eau se trouvera naturellement calibré suivant trois zones principales, dans le cas d'un cours d'eau de force constante, ou, plus exactement, diminuant très faiblement (fig.30). La partie supérieure du cours d'eau occupera la région d'érosion, où resteront toutes les grosses particules, ne pouvant pas être déplacées par un cours d'eau de cette force. Les os et les crânes de formes particulièrement grosses resteront également sur place et le matériel emporté par le courant ne pourra contenir que des fragments provenant de la destruction des restes de ces formes. Dans la région d'enfouissement, dans le cours moyen et inférieur du cours d'eau, s'installera l'essentiel du matériel déposé dans la région considérée. Tous les restes organiques dont le poids est insuffisant pour qu'ils se trouvent retenus dans cette région de sédimentation, seront emportés plus loin, souvent en dehors de la région de sédimentation. Les restes possédant une grande capacité pour flotter, comme par exemple les cadavres qui surnagent, les troncs d'arbres et d'autres restes végétaux, peuvent être emportés de très petites formes du courant. Sous forme fortement schématisée, chaque cours d'eau transportant une accumulation de restes organiques subdivise le matériel en trois catégories fondamentales:

- 1) la fraction lourde, restant sur place;
- 2) la fraction moyenne, se déposant dans la région de sédimentation propre au cours d'eau;
- 3) la fraction légère ou surnageante, emportée au-delà des limites de la région de sédimentation. Si nous supposons une accumulation de restes animaux constituée par les os de formes grosses, moyennes et petites, il est évident qu'un premier assortiment laissera sur place les grosses formes, qui, non enfouies se trouveront détruites; les petites formes seront emportées au-delà de la région de sédimentation et échapperont également à l'enfouissement. Dans les conditions de sédimentation considérées ne se conserveront que des formes de certaines dimensions et la composition de la faune du gisement ainsi considéré nous frappera par l'uniformité des dimensions des formes ou des individus.

Nous avons étudié un schéma de l'action, sur la composition de la faune enfouie, de l'intervalle du cours d'eau à vitesse approximativement constante, diminuant à peine dans la région de sédimentation. En fait, la force de chaque cours d'eau diminue progressivement, ou par sauts brusques, à mesure que l'on se rapproche de la base d'érosion. Pour cette raison, les particules mécaniquement déplacées dans un tel cours d'eau, se déposeront progressivement et zonalement, on partant des particules les plus grosses, déposées dans le cours supérieur, jusqu'aux plus petites qui le seront près de la base d'érosion. Le schéma de sélection dans l'enfouissement des restes d'animaux dans un tel courant est donné sur la fig.31.

Chaque cours d'eau possède une vitesse différente dans n'importe quelle section de son courant et sur différents points de sa section transversale. Dans chaque cours d'eau nous observerons des filets d'eau de forces (de vitesses) différentes. Ainsi, dans le voisinage des rives la vitesse sera plus faible que dans le chenal; les vi-

tesses au fond et en surface seront également différentes. Plus la masse d'eau est importante et plus sa vitesse moyenne est faible, plus il y aura de filets d'eau de vitesses différentes. En d'autres termes, dans les importantes artères d'eau, au voisinage de la base d'érosion il y a un nombre plus élevé de filets d'eau de vitesse différente. Ainsi, en section transversale, peuvent exister des conditions différentes de transport des sédiments, ce qui s'observe d'ailleurs partout actuellement. Par conséquent, la sélectivité de l'enfouissement dépend aussi de la force des différents filets d'eau situés à l'intérieur du cours (fig.32), selon la répartition desquels se dépose le matériel sédimentaire et sont sélectionnés les restes organiques. Dans les cours d'eaux très importants, surtout dans les régions deltaïques et dans les cas de grandes crues, il peut y avoir d'importantes accumulations de restes organiques groupés sélectivement selon la vitesse des filets d'eau importants, dans les limites d'une même section du cours d'eau et, par conséquent, dans les limites d'une même zone de sédimentation du cours d'eau considéré.

Toutes ces propriétés du déplacement hydrodynamique des restes organiques sont valables pour les déplacements par entraînement sur le fond du cours d'eau. Dans ce mode de transport les particules déplacées roulent sur le fond, ou se déplacent par sauts, tantôt tombant sur le fond, tantôt s'élevant de nouveau, entraînés par un courant plus fort. Les recherches d'Airy montrent que la masse des particules solides se déplaçant sur le fond par entraînement est directement proportionnelle à la sixième puissance de la vitesse du cours d'eau. Ainsi, un accroissement, même imperceptible de la force du courant, provoque un accroissement considérable des dimensions de particules entraînées. Les différences des vitesses de courant existant entre celui du fond et celui situé à une certaine distance au-dessus, créent des conditions de déplacement différentes, de sorte que des particules de dimensions plus importantes peuvent être entraînées, tandis que du matériel très fin situé sur le fond même du cours d'eau reste immobile. Les restes organiques, qui, avant leur minéralisation, ont une très faible densité, subissent, en vertu du principe d'Archimède, une perte relative de poids considérable. Pour cette raison, les os et les autres restes animaux, sans parler des restes de végétaux, peuvent être plus gros que les particules minérales transportées par le même courant; c'est bien ce qu'on observe dans la réalité. Les restes animaux frais, ou déjà sensiblement décomposés, seront entraînés pour des vitesses différentes du courant. Ainsi, des os ayant séjourné très peu de temps à l'air et au soleil, conservant encore leurs substances grasses, auront une densité plus faible que les os dont la substance organique est détruite. Au contraire, les restes organiques desséchés ont une grande capacité de flottaison. Pour les restes animaux peu décomposés et pour la plupart des restes végétaux, le transport sous forme de suspensions, comme par exemple de cadavres flottants, de troncs d'arbres, etc ... est un mode de déplacement extrêmement important. Le transport par flottaison peut se faire pour n'importe quelle vitesse de courant et sur un très long trajet. La limite du trajet parcouru se détermine par la vitesse de décomposition des cadavres et des restes végétaux, qui, à un stade avancé de leur décomposition s'enfoncent et tombent sur le fond. Après cette submersion, si la force du courant est encore suffisante, les restes se déplacent par entraînement sur le fond et sont progressivement dissociés et répartis selon la densité des divers éléments. Si au contraire, la vitesse du cours d'eau est déjà très faible, comme par exemple dans les régions de deltas, les cadavres et

autres restes, demeurent sur le fond et sont enfouis dans les sédiments.

Un autre facteur non moins important des processus d'enfouissement est la vitesse de transport, qui détermine l'état de conservation des restes organiques. Si le transport se fait par entraînement sur de longues distances, les restes organiques sont roulés, usés et, en même temps, décomposés. Souvent le transport sur de longues distances conduit à la destruction totale des substances organiques; mais, comme nous l'avons vu, la distance de transport des restes organiques par flottaison dépend du degré de décomposition des restes organiques. Pour cette raison nous pouvons affirmer que, dans certains cas, la distance de transport dépend de l'état des restes organiques tombés dans le cours d'eau.

Actuellement, on a des exemples assez fréquents de transports exceptionnellement longs de corps flottants sous forme d'îles flottantes dans la mer et d'amis de végétaux forestiers dans les fleuves. D'après Krümmel (1912), au cours de recherches entreprises dans les parties profondes de la mer des Caraïbes et le long du littoral pacifique d'Amérique, il a été trouvé dans les sédiments hémipélagiques, des branches, des troncs et des fruits d'arbres. De même les découvertes d'une forêt japonaise emportée par le courant marin jusqu'aux côtes de l'Alaska et d'une forêt de Sibérie atteinte sur les côtes d'Islande, sont des exemples extrêmement intéressants. Mais si ces restes se trouvent dans des sédiments sableux, ils peuvent être la source d'erreurs grossières dans la détermination des caractères des dépôts (Berry, 1922).

On peut faire des erreurs encore plus graves si on interprète sans le moindre discernement le fait de découverte de pollens dans des conditions surprenantes: des recherches récentes ont montré que les pollens des espèces arboréennes actuelles peuvent être transportés par le vent en quantités appréciables à des latitudes arctiques, recouvrant de grandes superficies de glaces et de toundras.

L'ordre des processus d'enfouissement de la faune terrestre par les cours d'eaux, commun pour des régions entières des continents, a subi des variations périodiques, se manifestant dans les annales géologiques par la prédominance de tel ou tel type d'enfouissement. Au cours des périodes épirogéniques intenses (périodes diastrophiques) prédominent les grandes vitesses de courants aquatiques, l'accumulation rapide d'un matériel moins soigneusement calibré et, par conséquent, une vitesse d'enfouissement élevé. Les périodes de calme sur les continents bas, fortement pénéplainisés, se distinguent par un courant lent des cours d'eaux, par une sédimentation lente des dépôts fins et par un enfouissement lent. Chaque pulsation de la force des courants se reflète inévitablement sur l'enfouissement, par un déplacement des zones de dépôt des sédiments, aussi bien suivant la direction axiale (sens du courant) que suivant la direction transversale, selon les divagations latérales des filots d'eau transporteurs.

Le changement de la marche générale des processus de la seconde étape de formation des gisements, se manifeste aussi sur la composition de la faune enfouie, aussi bien en ce qui concerne le passage des accumulations de la biosphère dans le milieu d'enfouissement, que sur les processus de transport et de dépôt. Pour cette raison, le caractère de sélection exercé par les processus d'enfouissement en général (pour une région entière) au cours de périodes d'orogénèse et de périodes de calme, était différent, ce qui s'est manifesté sur la composition faunistique des gisements des périodes de calme et des périodes de diastrophisme.

Les lois fondamentales de la répartition des restes organiques dans les cours d'eau constituent un important groupe de phénomènes d'enfouissement de la faune terrestre, étant donné que la grande majorité des gisements est formée par sédimentation aquatique. Pour les petites formes volantes, par exemple des Insectes, ou, beaucoup plus rarement, des Oiseaux, les courants d'air peuvent être un important facteur de transport et de mort massive. L'énergie du vent, pour des vitesses supérieures à 11 m/sec. est suffisante pour emporter au loin les organismes légers. D'énormes vols d'Insectes ou d'Oiseaux sont emportés par un vent fort en dehors de leur région d'habitat et s'ils tombent dans l'eau ils forment à la suite de leur mort massive, d'importantes accumulations de restes qui sont enfouis par la suite. Le vent, en tant que facteur d'enfouissement, a une grande signification pour les Insectes en particulier, ainsi que pour les spores, les pollens et les graines, moins pour les feuilles, moins encore pour les autres restes de faune et de flore terrestres, le rôle du vent devenant alors minime. En tout cas, l'enfouissement des animaux terrestres - les Insectes mis à part - sous l'action du vent est un phénomène rare, même pour les Oiseaux.

De même je ne donnerai pas ici d'exemples des autres facteurs d'enfouissement possibles, tels que le transport des restes organiques par la glace, le déplacement assez fréquent de pièces dissociées, tous cas isolés, sans signification générale et ne donnant pas lieu à des accumulations quelque peu importantes. Un cas particulier d'enfouissement des faunes terrestres, différent de ceux qui sont décrits précédemment, est l'enfouissement dans les régions désertiques. Dans la plupart des cas, les dépôts désertiques n'atteignent pas une épaisseur importante et, par ce caractère ils doivent être rapportés aux infra-faciès. Par contre, souvent les surfaces d'extension des dépôts désertiques sont exceptionnellement larges et peuvent se conserver pendant de longues périodes géologiques, ce qui est un caractère d'ultra-faciès. Etant donné la faible puissance des dépôts désertiques, dans les annales géologiques, il ne doit s'en conserver que des fragments sans développement spatial important.

Dans les caux des déserts les facteurs d'enfouissement sont exactement ceux que nous avons exposés ci-dessus pour les sédiments aquatiques. Les processus d'enfouissement dans les dépôts éoliens des anciens déserts possèdent un caractère différent. Les accumulations de restes organiques (thanatocénoses) formées lors de la première étape biosphérique, ne peuvent pas être emportées dans une région de sédimentation active. Pour cette raison, l'enfouissement dans les conditions désertiques se ramène au recouvrement de l'accumulation des restes par des particules de roches transportées par le vent. Il est évident que dans la majorité des cas, l'accumulation des restes subit une destruction sub-aérienne, même lorsqu'elle est déjà recouverte par une mince couche de dépôts. La formation de sédiments dans des dépôts éoliens a lieu beaucoup plus rarement que dans les sédiments aquatiques, précisément à cause de la destruction préliminaire trop importante. Pour cette raison, dans la formation des gisements de désert, tous les facteurs de la seconde étape se trouvent absents; ainsi ces gisements reproduisent fidèlement la composition faunistique de l'accumulation de restes, c'est-à-dire, de la thanatocénose. Pour les gisements éoliens de végétaux ce processus de dépôt et d'enfouissement peut, en même temps, être considéré comme facteur de destruction massive des organismes végétaux; c'est ce qui s'observe, par exemple, lorsque le désert envahit un district couvert de végétation. Une tel

réunion de toutes les étapes fondamentales de la genèse des gisements en un seul processus serait très favorable pour l'obtention d'une vue complète sur la composition de la flore, si, en raison du mauvais état de conservation ultérieure des restes, les faciès désertiques n'étaient que de peu d'utilité pour les annales géologiques.

En terminant l'étude rapide des facteurs de la seconde étape de formation des gisements, nous devons ne pas oublier de signaler la loi générale de la formation des niveaux continentaux énoncée par Barrell. L'ensemble des roches de n'importe quel ultra-faciès est obtenu à la suite d'érosions internes nombreuses et complexes et n'est pas le simple bilan du seul processus d'accumulation. Les processus complexes liés et opposés de l'érosion et de l'accumulation, de la précipitation et de la dissolution, déterminent le résultat final et visible d'entremêlement et de substitution suivant l'horizontale et la verticale de lentilles isolées, déposées dans des conditions différentes. La vitesse de sédimentation qui influe, à la fois pour arrêter la destruction des thanatocénoses et pour conserver les taphocénoses, a une grande signification pour l'enfouissement. La vitesse de sédimentation est particulièrement importante pour les faciès continentaux. En fin de compte nous voyons que les restes organiques entrent dans le grand processus de différenciation mécanique de la matière, qui a lieu sur la surface du globe au cours d'un intervalle de temps considérable. La connaissance des principaux facteurs de la mécanogénèse des gisements constitue une des plus importantes sections de la taphonomie.

3- Principaux facteurs de fossilisation (minéralisation) des restes organiques.

La troisième étape, terminant le cycle des processus de la formation des gisements de faune terrestre, consiste en la transformation des restes organiques en formations minérales en équilibre avec l'ensemble des minéraux de la roche encaissante. Si la seconde étape de la formation des sédiments - l'enfouissement, se rattache étroitement au processus d'accumulation des sédiments meubles, la dernière étape - la fossilisation, est également étroitement liée aux processus de lithification (diagénèse et syngénèse) du sédiment. La connaissance des processus de lithification est très incomplète et, par conséquent, le développement du processus de transformation du sédiment moule en une roche sédimentaire dure est encore très obscur, surtout dans ses stades précoces.

Dans ce domaine, des recherches détaillées sur les modes de fossilisation des restes organiques, si importantes pour la taphonomie, peuvent être d'un grand secours pour la pétrographie sédimentaire. En découvrant la nature et le caractère de la métagénèse des substances organiques dans les restes de squelettes, nous expliquons par la même occasion les traits principaux du processus de minéralisation de la roche encaissante elle-même. La présence dans une roche de restes organiques servant d'indicateurs du degré et du caractère de la minéralisation de la roche, est extrêmement importante pour l'étude des processus de lithogénèse. Citons comme exemple, des sédiments considérés comme n'ayant pas été minéralisés, mais contenant des restes organiques minéralisés. C'est le cas des argiles bleues parfaitement plastiques du Cambrien de la région de Leningrad, contenant des restes animaux totalement minéralisés, ou les sables permians des bassins de la Kama et de la Volga, contenant des os de Vertébrés parfaitement minéralisés. De même, tous les processus de l'opigénèse ul-

térieure de la roche sédimentaire (lessivage, cimentation secondaire, etc ...) doivent nécessairement se manifester sur les gros restes organiques qu'elle renferme, sous forme de corrosion de surface, de silicification secondaire, des encroûtements, des remplissages de crevasse secondaires, etc ... Vu le parfait état de conservation des os de Vertébrés contenus dans certaines roches permienues de la République tartare, on doit rejeter l'opinion de L.I. Miropolskii qui considère qu'ils ont dû subir un lessivage secondaire.

La loi d'hérédité physico-chimique des roches sédimentaires, proposée par Poustovalov, a une très grande signification pour l'analyse générale des processus de fossilisation. D'après cette loi, dans chaque roche sédimentaire, formée des composants syngénétiques initiaux, continuent à subsister des conditions physico-chimiques voisines de celles ayant régné au moment de la formation de la roche sédimentaire. Cette loi se trouve confirmée par un très grand nombre d'exemples de parfaite conservation de restes animaux dans des roches anciennes et marque une limite à l'hypothèse d'une vaste extension des processus métasomatiques tardifs dans les roches sédimentaires. L'hérédité physico-chimique des roches sédimentaires permet de faire une analyse concrète du développement des processus de fossilisation dans chaque cas particulier, par reconstitution des conditions physico-chimiques de la syngénèse de la roche.

Parmi le grand nombre de facteurs déterminant la fossilisation complète des restes organiques enfouis on peut signaler principaux, qui sont les suivants:

a) la vitesse de minéralisation des restes organiques (lithification) et de la roche, suffisante pour éviter la dissolution ou tout autre procédé de destruction des restes enfouis;

b) l'absence d'influence des agents sub-aériens, se définissant par une position suffisamment profonde du sédiment subissant la lithification. Les restes organiques étant situés dans des zones assez superficielles des sédiments accumulés et sous une mince couche d'eau, une rapide destruction des restes est possible, en fonction du pH et de l'oxydation ultérieure, lorsque ces restes se trouvent exposés à une insolation énergétique. Dans ce cas, naturellement, le climat du lieu d'enfouissement a aussi une grande importance.

c) l'état général (la fraîcheur) des restes au moment de l'enfouissement. Des restes fortement détériorés et ayant subi une forte insolation et une érosion énergétique, surtout si ce sont des restes d'animaux contiennent sensiblement moins de matière organique que des restes enfouis sous forme de cadavres ou d'os frais non encore altérés. Une teneur élevée en substances organiques active souvent la minéralisation des restes, la rendant totale, ou accélérant les réactions chimiques se produisant à l'intérieur de la roche en voie de formation.

d) le degré de concentration des sédiments encore fluides, avec la flore et la faune qu'ils renferment. La compaction des sédiments, accompagnant toujours la lithification dans les cas normaux moyens, conduit à une déformation des restes fossiles, en particulier des restes d'animaux. Une contraction poussée du sédiment conduit à une destruction totale des objets, les transformant en fines couches intercalaires, conservant juste une certaine analogie de structure microscopique avec la substance initiale des restes organiques, substance qui est osseuse, chitineuse ou calcaire. Souvent les caractères de la déformation des restes fossiles nous renseignent sur la vitesse de fossilisation des restes en fonction de la vitesse de lithification du sédiment oncaissant. Les déformations des os fossiles, avec fractures et déplacement

des différentes parties les unes par rapport aux autres, indiquent une grande vitesse de fossilisation, se terminant pour l'essentiel avant la lithification totale de la roche. Les déformations plastiques, l'aplatissement et l'étirement des os, sans brisures, indiquent une fossilisation lente, n'ayant pas pu suivre la lithification.

e) Le caractère de la roche encaissante. Les sédiments à grain grossier ont, non seulement le défaut d'user les restes organiques au moment de l'enfouissement, mais aussi au cours des processus de lithification ils participent à la destruction des restes organiques fins et fragiles. Les recherches de Paine (1937) ont montré que l'état de conservation d'un os fossile dépend avant tout de la roche encaissante. L'influence de l'âge géologique se fait sentir uniquement sur des roches du même type, mais non pas sur l'ordre général de succession des phénomènes. Par exemple, un os contenu dans un grès grossier du Permien est plus fortement modifié qu'un os contenu dans un conglomérat tertiaire. Dans un schiste dévonien à grain fin, l'état de conservation d'un os et, en général, d'un reste organique, est sensiblement meilleur que dans les deux cas sus-indiqués. Dans beaucoup de cas, dans l'os se conserve du collophane sans structure. Les précipités chimiques, tels que les sels halogénés, les gypses et dolomies, en général, ne conservent pas du tout les restes organiques, ils détruisent entièrement la substance organique sans la remplacer par des sels minéraux.

f) Le caractère du ciment (plus exactement des exsudations syn-génétiques) de la roche sédimentaire, défini par la composition et la concentration des solutions minérales au cours de la période de lithification des sédiments fluides. Une concentration suffisante en sels minéraux du sédiment fluide assure une minéralisation rapide et profonde des os ou des autres restes organiques. Au contraire, si ce sédiment est pauvre en sels minéraux, la fossilisation et la cimentation de la roche sont lentes, ce qui favorise une destruction ultérieure des restes organiques mal minéralisés, ou leur destruction au cours des processus de contraction et de deshydratation du sédiment fluide.

g) Le caractère général du sédiment et son évolution au cours du processus de diagenèse permettant au sédiment de conserver un faciès presque mou, non lithifié, malgré la très grande ancienneté du dépôt. Comme par exemple les argiles bleues déjà citées du Cambrien, les sables siluriens inférieurs et permien, etc ... Les processus de diagenèse de ces roches ne sont pas encore connus, mais en tout état de cause, ces sédiments conservent dans un état parfait les restes d'animaux et de végétaux bien minéralisés.

h) Des processus secondaires à l'intérieur des roches encaissantes des gisements de roches organiques. Ces processus peuvent conduire à une dissolution complète des restes de faune et de flore minéralisés, mais dans de plus rares cas ils peuvent également conduire à une plus forte minéralisation par métasomatose. Tels sont les cas de silicification secondaire, de transformation en composés du fer ou du manganèse et autres formes de minéralisation secondaire des restes organiques.

Les facteurs exposés ci-dessus, définissant dans ses traits généraux le caractère de fossilisation des restes de faune et de flore terrestres enfouis, sont en même temps des facteurs de sélection de la troisième étape de formation des gisements (fig.33). Chacun des facteurs semble constituer une sorte de tamis laissant passer un seul

type de restes organiques et détruisant les autres. D'après notre exposé on voit qu'une lithification de vitesse faible peut conduire à la destruction de toute la faune et de toute la flore enfouies, mais peut aussi exercer une sélection et conserver les restes enfouis en dernier. Dans le cas d'une accumulation progressive des restes animaux par des cours d'eau ou par d'autres facteurs (sables mouvants, étangs) dans la région d'enfouissement, le facteur vitesse de sédimentation peut avoir une grande importance sélective, conservant dans la composition de la faune du gisement les restes enfouis en dernier. Dans la plupart des cas le facteur décrit a une signification universelle. Le second facteur - influence des agents supérieurs (climat du lieu d'enfouissement) peut se manifester dans la sélection des restes organiques situés dans la zone supérieure du gisement, déposés en dernier lieu, à la fin de l'étape d'enfouissement. Si ceci est dû à la décroissance de la force du cours d'eau transportant les restes, comme par exemple cela s'observe à la fin des grandes crues, ce facteur peut détruire sélectivement (surtout au cours de la baisse des eaux) les plus petites formes de la faune enfouie. Si la vitesse du courant est suffisamment grande, ces formes emportées se déposent dans les couches supérieures des sédiments qui se déposent au moment de la diminution de vitesse des eaux et peuvent subir une destruction sélective, les petits représentants disparaissant totalement. Un facteur de sélection très important, intervenant avant la fossilisation, est l'état de fraîcheur des restes organiques. Dans chaque accumulation de restes destinée à être enfouie et fossilisée, on peut trouver des restes à divers états de décomposition, ayant séjourné pendant des temps différents dans les conditions d'altération sub-aérienne. La fossilisation peut conserver des restes frais, éliminant les restes décomposés, ne contenant que des substances organiques non ou peu minéralisées. Par la suite, la plupart des restes organiques mal fossilisés des roches sédimentaires, sont détruits. La sélection d'après la fraîcheur des restes a de l'importance pour la sélection des modes d'adaptation des formes enfouies. Les restes des formes habitant dans des régions éloignées de la zone d'enfouissement, arrivent dans les sédiments, dans la très grande majorité des cas, dans un état moins frais que les restes des formes peuplant des régions voisines de la zone d'enfouissement et de sédimentation. Pour cette raison, souvent dans les gisements les formes provenant de régions d'habitat éloignées se trouvent éliminées par la sélection avant la fossilisation. Les autres facteurs de sélection de la troisième étape de formation des gisements, ne sont pas tellement importants et se manifestent dans des cas particuliers des processus de lithification. Le grain de la roche, le degré de compaction des sédiments, le caractère et la saturation des exsudations syngénétiques, ainsi que les processus tardifs d'alcalinisation ont une importance universelle pour les restes fossilisés. Cependant, dans certains cas, la grande taille des grains du sédiment peut favoriser la conservation des gros restes (os), on détruisant sélectivement les petits (Insectes, Végétaux). Une compaction extrême du sédiment peut au contraire détruire des objets gros en conservant les petits, surtout ceux de forme plate (feuilles, ailes d'Insectes). La composition des exsudats syngénétiques de la roche et le degré de leur saturation déterminent, au cours de la période de diagenèse, la destruction des restes organiques altérés, si le milieu est pauvre en sels minéraux, les restes frais se conservant assez bien. Dans ces mêmes conditions sont détruits encore les restes végétaux et les coquilles, tandis que les restes animaux exerçant une influence chimique importante sur la cimentation, sont conservés. Les processus de lessivage,

quand ils ne sont pas trop accentués, peuvent détruire sélectivement des restes faiblement minéralisés ou de faibles dimensions, en conservant les restes gros et bien minéralisés.

L'ensemble des facteurs de fossilisation influe sur la composition faunistique d'un gisement, assurant sa détermination définitive au cours de la troisième étape du cycle génétique du gisement. La connaissance des processus de fossilisation est donc primordiale pour la taphonomie, car ils représentent un des facteurs fondamentaux, conditionnant les lacunes des annales géologiques.

Conclusions générales:

Il est évident que les facteurs fondamentaux de la formation des gisements que nous venons de voir, ne reproduisent que très grossièrement l'infinie complication des processus réels. Mais une connaissance même préliminaire de ces processus nous autorise à tirer deux importantes conclusions, essentielles pour la connaissance de la richesse réelle de la vie terrestre au cours des périodes géologiques anciennes.

Nous avons vu que pour la formation d'un gisement accessible à l'étude, il faut toute une série de coïncidences de processus de nature différentes, aussi bien de la biosphère que de la lithosphère. Ce n'est que la succession continue de ces coïncidences qui peut conduire à la formation de gisements de faunes et de flores riches et, par conséquent, accessibles à l'observation. Nous donnons à la fig. 34 un schéma de la succession de l'ensemble de ces coïncidences. Si malgré toute la complexité de ces coïncidences nécessaires à la formation des gisements nous rencontrons assez souvent des gisements importants, contenant une faune terrestre, cela prouve que la faune primitive de ces époques était exceptionnellement riche pendant la longue durée de son existence. La présence de gisements importants de Vertébrés terrestres au Paléozoïque supérieur, montre que, déjà à cette époque, l'abondance et la variété de la faune terrestre étaient très élevées. Chaque découverte de gisement important, ou contenant un petit nombre d'espèces uniformes, prouve, sans contestation possible, que dans cet intervalle de temps la faune terrestre fut extrêmement riche, car chaque gisement formé a derrière lui un nombre considérable de coïncidences incompatibles. Par conséquent, si nous trouvons des gisements importants situés dans d'anciens dépôts, toutes les anciennes conceptions sur le faible développement et sur la pauvreté de la faune terrestre doivent être considérées comme erronées et reportées à des niveaux plus anciens encore. D'autre part, l'absence dans un gisement de telle ou telle forme, ou même de telle ou telle classe entière, ne nous permet pas de conclure à leur apparition plus tardive et de considérer qu'elles n'existaient pas dans la faune de l'âge considéré. Pour pouvoir conclure dans ce sens il faut au préalable résoudre le problème de la présence ou de l'absence dans le groupe considéré, des formes absentes dans le gisement considéré et faire une analyse taphonomique générale de tous les gisements remontant à cet intervalle de temps.

Chaque groupe de formes terrestres, présent dans la faune d'un intervalle de temps géologique, ne peut être enfoui et se retrouver dans les gisements que s'il a atteint un épanouissement numérique et une densité de peuplement suffisants. À la lumière de ces nouvelles notions, on comprend parfaitement les cas fréquents d'apparition brusque de "faunes nouvelles" dans de riches gisements, faunes qui n'ont pas de "racines" dans les couches plus anciennes.

Dans la littérature géologique on suppose généralement que les données aux niveaux stratigraphiques d'après la faune terrestre sont inexactes. Les accumulations de restes de faunes terrestres dans des gisements importants sont considérées comme la conséquence de "destructions" catastrophiques, de "migrations", de "survivances" accidentelles, etc ... Pour cette raison, on suppose que de tels cas exceptionnels ne peuvent pas servir pour dater différentes séries et surtout pour rechercher des corrélations des coupes entre elles. Nous avons vu plus haut que des gisements riches ne peuvent se former que s'il y a une faune abondante, qui, naturellement, a dû être typique pour l'intervalle de temps considéré. La disparition des formes rares dans les gisements est beaucoup plus rapide que la disparition de ces formes dans les complexes faunistiques ayant réellement existé, de sorte que leur nombre d'individus diminuant, elles ne peuvent plus former de gisements. Il faut penser que les déterminations stratigraphiques basées sur des faunes et flores terrestres (en tenant naturellement compte des corrections taphonomiques) ne sont absolument pas moins précises et même, dans certains cas, elles sont plus précises que les déterminations faites à l'aide des faunes marines.

La seconde conclusion que l'on peut tirer de l'analyse du processus de formation des gisements est que les facteurs de sélection sont largement répandus dans la constitution des niveaux géologiques. Tous les facteurs de sélection au cours de l'enfouissement énumérés dans ce chapitre^{no} sont pas les seuls et les recherches futures vont naturellement augmenter leur nombre, tout en précisant leur signification. Cependant, il semble qu'on puisse conclure dès maintenant qu'aucun gisement ne reproduit la composition réelle de la faune du lieu de sa formation et aucune accumulation de restes fossilisés de faune terrestre n'est complète.

La succession des étapes de formation des gisements montre que les termes généralement utilisés en paléontologie et désignant des déviations de composition par rapport à la faune réelle - thanatocénose, taphocénose, ne sont pas tout à fait exacts. Si on étudie les principaux facteurs faisant varier la composition de la faune au cours du processus de formation d'un gisement, on comprend que le terme de thanatocénose doit désigner l'accumulation de restes d'animaux morts, situés encore dans le domaine de la biosphère. Le terme de taphocénose doit désigner l'accumulation des restes immédiatement après l'étape d'enfouissement. Etant donné que l'étape de fossilisation fait varier également la composition de la faune formant la taphocénose, le produit final de l'ensemble des processus, c'est-à-dire l'ensemble des restes minéralisés de la faune contenue dans le gisement, doit prendre un nom particulier, soulignant cette différence de composition faunistique. Je propose le terme d'oryctocénose pour désigner l'ensemble des restes fossilisés, situés dans le gisement.

Le processus de formation de chaque gisement possède ses propriétés spécifiques et ce sont elles qui déterminent la composition faunique finale du gisement (oryctocénose). On ne peut définir le sens de l'enfouissement sélectif qu'en faisant l'analyse détaillée de l'ensemble des processus ayant concouru à la formation du gisement. Seules des recherches taphonomiques peuvent nous faire connaître la place et la signification, dans la faune et dans les biocénoses ayant réellement existé dans un intervalle de temps considéré, des formes enfouies sélectivement dans le gisement. A côté des facteurs de sélection individuels, pour chaque gisement il existe des facteurs plus importants de signification générale, plus exactement des ensembles de facteurs pour

chaque étape de formation de ce gisement. A la suite de la sélection de chacune des étapes (fig.35), la faune passe dans la lithosphère, dans le gisement, en perdant progressivement une partie importante des formes qui la constituent. La biocénose vivante passe d'abord par l'accumulation des organismes détruits de façon massive ou morts, au stade de thanatocénose - accumulation de restes encore non enfouis et situés dans la biosphère (étape I). La thanatocénose transportée et enfouie (déposée) passe au stade de taphocénose - accumulation de restes enfouis dans des sédiments fluides et encore non fossilisés (étape II). Après le processus de fossilisation des restes et lithification des sédiments encaissants la taphocénose se transforme en oryctocénose - accumulation de restes minéralisés dans les roches sédimentaires (étape III).

Sont d'abord éliminées toutes les formes rares et ayant un nombre restreint d'individus (thanatocénose), ensuite, les formes habitant normalement des régions éloignées des importants bassins d'eau et des régions de sédimentation importantes (taphocénose) et, enfin, toutes les formes sans pièces squelettiques dures, ou à squelette de conservation difficile, les individus jeunes, les larves, etc ... (oryctocénose). Souvent, ces éliminations conduisent à une "faune artificiellement créée", composée d'individus adultes des formes les plus nombreuses dans la faune réelle; sélectionnées d'après leur degré d'adaptation à la vie aquatique. Ceci est particulièrement important pour les gisements des ultra-faciès terrestres du paléozoïque, situés assez bas, dans le voisinage de la base d'érosion. Les dimensions des formes et des individus enfouis dans la taphocénose peuvent varier dans un sens ou dans un autre, mais la moyenne des dimensions des formes enfouies, uniquement petites, uniquement modérées ou uniquement grandes, est spécifique des taphocénoses de presque tous les gisements, à l'exception de ceux qui se sont formés par apport de restes par flottaison et par amoncellement sous l'action des cours d'eau de type proluvial.

Dans l'ensemble des processus d'érosion et de remaniement de dépôts, à l'intérieur des formations au cours de la sédimentation des niveaux continentaux, la présence de squelettes entiers, ou de parties non dissociées totalement, est une confirmation du caractère anormal initial du gisement. D'autre part, l'existence de restes éparpillés n'est pas une preuve de dispersion primitive dans la taphocénose, dans le processus d'enfouissement. Ces restes ont pu être éparpillés et roulés secondairement, au cours d'érosion intraformationnelles tardives. La conclusion générale que nous tirons de l'ensemble de notre exposé est la nécessité de distinguer les restes déposés "syngénétiquement" et les restes déposés secondairement avant et après la fossilisation. Une étude détaillée des processus de la troisième étape de la formation des gisements est, par conséquent, une chose indispensable.

Chapitre V

MISE À NU des GISEMENTS

La formation des gisements, que nous venons d'étudier dans le chapitre précédent, n'épuise pas tous les éléments nécessaires pour que les documents enfouis dans un gisement soient accessibles à notre observation. Nous appellerons, processus de mise à nu d'un gisement le soulèvement des sédiments anciens contenant le gisement, au-dessus du niveau de base d'érosion actuel, l'ablation des sédiments plus jeunes et, enfin, la coupe par l'érosion du gisement lui-même. Il est évident que le processus de mise à nu des gisements n'a rien de commun avec celui de leur formation et de leur conservation, bien plus, il s'oppose directement à lui. Cependant, la mise à nu des gisements possède également ses facteurs, influant sur les caractères des annales géologiques et, par suite, on doit également la placer dans le domaine des questions éclairées par la taphonomie.

La mise à nu des gisements n'est rien d'autre que la suite des grands processus de destruction des anciens dépôts continentaux, ayant lieu à notre époque. De ce point de vue, les processus de dénudation des gisements sont très instructifs, car ils nous renseignent sur la quantité colossale des anciens gisements détruits par des actions analogues au cours des millions d'années et siècles, sur lesquels s'étend l'histoire de la faune continentale.

D'autre part, la mise à nu des gisements nous permet d'avancer des pronostics et d'évaluer les réserves en documents paléontologiques sur les superficies non encore étudiées des niveaux continentaux. Si importantes que soient les lacunes des annales géologiques, l'existence même de ces lacunes est régie par des lois, dont les facteurs fondamentaux seront très certainement déterminés par des recherches taphonomiques et l'étude future des sédiments continentaux nous fera découvrir un nombre considérable de nouvelles faunes et flores terrestres. Celles-ci ayant incontestablement été extrêmement abondantes et variées depuis le Paléozoïque supérieur, les innombrables générations qui se sont succédées sur d'immenses continents, ont laissé dans les dépôts continentaux une multitude de restes fossilisés, dont une partie, conservée jusqu'à nos jours, sera pour longtemps encore le point de départ d'un grand nombre de découvertes extrêmement intéressantes. Le fragment de la vie terrestre que nous connaissons actuellement est insignifiant et nous nous trouvons pour ainsi dire au seuil d'un pays inconnu. Pour la faune terrestre du Paléozoïque, ainsi que pour celle du Mésozoïque inférieur, nous pouvons espérer faire encore un grand nombre de découvertes, beaucoup plus grand que sur celle du Cénozoïque, qui est mieux conservée. Comme nous l'avons vu plus haut, l'énorme intervalle de temps conditionne l'élimination d'un pourcentage considérable des formes enfouies, mais ce même intervalle de temps comprend un nombre beaucoup plus grand de générations successives, ayant accumulé leurs restes dans la lithosphère. La mise à nu de gisements importants est parfois très longue à se réaliser. Naturellement nous ne parlons pas des cas de dénudation exceptionnels très intenses, qui, également, peuvent se produire dans les processus de dénudation des différents gisements.

Pour simplifier nous considérerons le cas d'une dénudation d'intensité moyenne. Des superficies considérables occupées par des ultra-faciès du Paléozoïque d'Afrique du Sud et d'URSS, les ultra-faciès du

Cénozoïque inférieur d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie, sont arrivés à l'affleurement grâce à une dénudation active depuis plusieurs millions d'années et renferment un grand nombre de gisements extrêmement riches, non encore étudiés. Nous observons l'inverse dans les infra-faciès du Cénozoïque. Les gisements de dimensions peu importantes ne résistent pas à la moindre cause de destruction, les gisements venus à l'affleurement sont très rapidement détruits et disparaissent des annales géologiques. Ceci conduit au fait curieux suivant: bien qu'en ce qui concerne la vie continentale, celle de l'intérieur des continents y soit plus complète, beaucoup de représentants typiquement terrestres de la faune de Mammifères du Cénozoïque supérieur, sont encore connus que de façon très incomplète. L'absence de matériel abondant provenant de gisements importants conditionne les lacunes de nos connaissances sur certaines formes. Comme exemple il suffira de citer l'*Elasmotherium*, forme mystérieuse tout à fait continentale du Quaternaire inférieur. Malgré son existence à une époque relativement récente, nous ne connaissons pas complètement *Elasmotherium*, en raison de l'absence de squelettes entiers. Les ultra-faciès du Cénozoïque nous fournissent d'abondants gisements importants, contenant de nombreux restes de faune terrestre. A leurs débuts les recherches paléontologiques s'intéressaient aux restes des Mammifères du Quaternaire-Tertiaire supérieur, situés dans des infra-faciès, au moment de l'affleurement de petits gisements. La faible quantité de restes rencontrés dans les gisements de ce type et leur état dissocié, ont donné naissance à des notions qui, jusqu'à présent, sont répandues chez les paléontologistes. Ces conceptions consistent à considérer les gisements de la faune terrestre des plus anciennes périodes de la vie, comme semblables aux gisements des infra-faciès cénozoïques. C'est cette conception erronée qui, naturellement, a conduit à négliger en tant que document des annales géologiques, à une estimation erronée des lacunes de ces annales, à une perte de temps et, enfin, aux méthodes impropres employées dans les fouilles paléontologiques, faisant tort, jusqu'à aujourd'hui, à la paléontologie.

Actuellement, la mise à nu des gisements est due à trois facteurs principaux: érosion profonde, dénudation superficielle et travail de l'homme. Les cas les plus fréquents de mise à nu sont ceux de creusement de vallées et de ravins dans des niveaux contenant des gisements. Dans ce cas, en général, le gisement est ouvert suivant une coupe verticale et on peut le trouver facilement, si on effectue des recherches géologiques attentives, mais, étant donné que l'affleurement s'étend sur une superficie relativement faible du niveau contenant le gisement, un pourcentage considérable de gisements existants peut demeurer caché et échapper à notre observation (fig. 36). Ce n'est pas par hasard que dans les ultra-faciès puissants, les gisements les plus importants, les plus riches et fréquents, sont ceux situés dans des régions à relief accentué et à affleurements importants. Tels sont les "bad-lands" de différents pays, connus dans l'histoire paléontologique et ayant fourni à la science des données extrêmement riches sur la faune terrestre du Cénozoïque inférieur et le Pénion inférieur (Kazakhstan, Mongolie, Montana, Oklahoma, etc...). Si le réseau des grandes vallées et des ravins fluviaux est rare, même des gisements importants peuvent demeurer cachés.

Il est facile de voir que les zones de climat aride sont celles qui donnent le plus d'affleurements de gisements, surtout si elles coïncident avec des régions de hauts plateaux, comme cela est fréquemment le cas.

L'absence de couverture végétale conduit à une forte dislocation des niveaux sédimentaires, avec formation d'un réseau dense de ravins, de lits secs, de ravins profonds assurant l'affleurement de lentilles ossifères déposées en flots. Telles sont les zones désertiques du type des "bad-lands" du Kazakhstan, d'Asie Centrale, et des Etats-Unis.

Des coupes rares et importantes de grands gisements donnent souvent une image apparente du taux de mortalité et de déficience de la faune dans les gisements et ont fourni la base de conceptions erronées très répandues en paléontologie sur la mort de la faune suivant des lois bien déterminées. Comme on le sait d'après les lois de la formation des gisements, la mortalité de la faune ne peut pas s'exprimer directement dans tel ou tel gisement; elle ne se manifeste qu'indirectement dans une série de gisements d'âges différents. Une coupe, du type de celle représentée à la fig. 37, passant à la bordure d'un gisement important, donne souvent, suivant la verticale, deux ou plusieurs couches intercalaires, alternant avec des roches "stériles" de l'ultra-faciès. La couche intercalaire supérieure appartenant tout à fait à la bordure du gisement, contenant des restes rares et en mauvais état, est souvent considérée comme une couche intercalaire à faune déficiente, en voie de disparition et son remplacement par des roches azoïques est, soi-disant, la preuve de sa disparition totale. En fait, une coupe plus proche du centre du gisement donnerait des rapports encore plus compliqués et une coupe passant par la partie centrale elle-même montrerait la richesse réelle de la faune, sans aucune sorte de dépréciation. Une coupe passant loin du gisement nous ferait considérer ce niveau comme pauvre en faune, ou simplement comme azoïque désertique ou "sous-aquatique". La profondeur de l'affleurement du gisement a également son importance. Si nous découvrons uniquement les couches supérieures du gisement nous pouvons observer des rapports tout à fait différents et avoir une conception inexacte sur l'ensemble du gisement et de sa faune.

L'affleurement des gisements dans une section horizontale, par déflation, est en général caractéristique des régions d'aspect désertique, sans couverture végétale, le rôle de la déflation étant assez important. Un tel affleurement nous renseigne sur un district assez important, mais la coupe suivant la verticale est alors incomplète. Ces gisements affleurant suivant une coupe horizontale se détruisent plus rapidement que ceux mis à nu par creusement de profondes vallées fluviales; les restes organiques situés dans ces gisements subissent des variations secondaires, la patine désertique, l'usure par le sable, des fractures, etc... Ce type d'affleurement de gisements permet de connaître avec plus de détail la bioturbation et la répartition en strates des sédiments encaissants. Mais les restes de faune contenus dans de tels gisements à affleurement horizontal sont en général fortement altérés par l'érosion, rendant difficile l'étude directe de la faune des gisements. Les niveaux temporaires des coupes d'érosion de la période actuelle de la vie de la Torre, sont distribués tout à fait au hasard, dans l'espace, comme le montre n'importe quelle carte géologique (fig. 38). La construction des cartes des niveaux temporaires de la dénudation actuelle des zones d'extension des ultra-faciès continentaux du passé, est extrêmement importante pour les pronostics et la recherche de nouveaux gisements de faune terrestre et pour l'estimation générale des réserves et des superficies des dépôts continentaux des époques géologiques anciennes, ayant résisté à l'épreuve du temps. Dans nos futures recherches sur les niveaux continentaux nous pouvons faire un relevé cartographique assez précis des niveaux des coupes de

dénudation pour les différentes époques de l'histoire géologique et passer de là à l'évaluation des masses des dépôts continentaux détruites par les dénudations importantes de ces époques. Cette dernière est extrêmement importante pour définir le pourcentage relatif de faune détruite par la dénudation ancienne des gisements et par la destruction des sédiments continentaux.

Avec le développement de la technique, encore un facteur de mise à nu des gisements, devient de plus en plus important et il n'a rien de commun avec les activités des processus géologiques, c'est le travail de l'homme. Les puits profonds et les galeries d'exploitation et les autres travaux miniers, conduisent au-dessous de la couverture des niveaux supérieurs et font découvrir des gisements situés profondément, au-dessous des coupes de dénudation de l'époque actuelle. Il suffit de rappeler le rôle des exploitations houillères dans la connaissance de la faune du Paléozoïque supérieur. Les faunes anciennes d'Amphibiens du Carbonifère d'Angleterre, du Canada, de Tchécoslovaquie, des Etats-Unis, n'auraient jamais été connues si l'exploitation des gisements houillers n'avait conduit à la découverte des plus riches gisements. Certains gisements de houille en Angleterre se trouvent au-dessous du niveau de la mer (Ecosse occidentale, Irlande). Une faune permienne extrêmement intéressante de Vertébrés terrestres du Préoural a été extraite des mines de cuivre, se trouvant dans les grès cuprifères. Récemment on a fait une découverte remarquable de faune terrestre éocène dans les puits de charbon brun d'Allemagne (Gaiseltal). La liste des gisements découverts par le travail de l'homme peut être extrêmement longue. Il faut encore rappeler les travaux d'un autre type - les installations de barrages; de canaux, de voies ferrées, mettant à nu des gisements qui n'étaient connus que par de mauvais affleurements, alors que là ils sont seulement faiblement érodés.

La mise à nu de gisements au cours d'exploitations minières nous permet d'élargir le champ de nos recherches, car nous pouvons observer des gisements encore loin d'être découverts par la dénudation. Ce mode de mise à nu des gisements permettant à l'homme de combler, dans une certaine mesure, les lacunes des annales géologiques, ouvre devant nous un vaste champ de possibilités. Les difficultés d'observation rencontrées dans les conditions souterraines sont diminuées grâce au développement de la technique. Théoriquement, grâce aux travaux miniers, dans l'avenir, nous pourrions étendre le champ de nos recherches sur toutes les superficies considérables des anciens niveaux continentaux, cachés sous des dépôts plus jeunes et peut-être dans l'avenir, ceux qui sont submergés sous la mer, comblant ainsi les lacunes des annales géologiques, qui, actuellement, sont déterminées par la répartition accidentelle des niveaux de la dénudation présente.

Chapitre VI

TYPES de GISEMENTS de VERTEBRÉS TERRESTRES

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, plus d'une fois la taphonomie s'est montrée importante pour la détermination des lois d'enfouissement des Vertébrés terrestres, lois beaucoup plus compliquées

que celles qui s'appliquent à toutes les autres formes de vie sur les continents des anciennes époques géologiques.

Étudions à la lumière des lois taphonomiques la structure de certains des importants gisements de Vertébrés terrestres connus actuellement.

La diversité structurale des gros gisements situés dans les ultra-faciès peut être ramenée aux groupes fondamentaux suivants:

1) Par leurs caractères pétrographiques les couches ossifères diffèrent peu, ou pas, des roches encaissantes de l'ultra-faciès (toit et mur du gisement).

2) Les couches ossifères sont nettement différentes des roches encaissantes du toit et du mur du gisement.

Le premier groupe de gisements montre que les processus de la formation du gisement sont surtout situés dans le domaine de la biosphère et ne sont pas liés aux variations des processus de sédimentation de la région d'enfouissement. Le second groupe de gisements, plus fréquent, se rattache par sa formation, non seulement aux processus de la biosphère, mais aussi à certaines variations données des processus de sédimentation. Par suite de ces variations, les restes faunistiques provenant des thanatocénoses voisines sont antérieurement accumulés, soit demeurés sur place, commencent à s'accumuler dans la région de sédimentation de l'ultra-faciès considéré. Les gisements de l'un et l'autre groupe possèdent leur propriétés caractéristiques en ce qui concerne la répartition des restes faunistiques.

Dans le premier groupe, on peut observer un enrichissement progressif des restes organiques de strato en strato, atteignant son point culminant dans l'une quelconque des couches. En remontant la vorticale, la quantité des restes diminue progressivement (fig.39a), ou, dans d'autres cas, diminue d'un seul coup jusqu'à la disparition totale (fig.39b). Dans les gisements du premier groupe on rencontre plus rarement le cas d'enrichissement en restes organiques uniquement d'une seule des couches pétrographiquement identiques dans toute la série (fig.39c), ce type de gisement se formant par l'enfouissement en une seule fois d'une accumulation faunistique donnée. L'enrichissement progressif des couches en restes organiques montre que le caractère du processus d'enfouissement était lent, ou que dans la région de sédimentation il y avait plusieurs accumulations de restes. Au premier type de gisements se rapportent ceux formés par une accumulation progressive des restes, c'est-à-dire, sans thanatocénoses importantes.

Les gisements du second groupe sont nécessairement liés, par leur formation, à des variations des conditions de sédimentation dans la zone d'enfouissement. Si la couche contenant les restes faunistiques diffère des roches encaissantes de l'ultra-faciès par son grain plus fin, ce gisement a dû se former par suite de la diminution de la vitesse des courants d'eau. Par conséquent, les restes antérieurement emportés, se sont déposés et ont formé le gisement. La plupart des gisements deltaïques formés d'après ce schéma, contiennent des squelettes complets, de très petits os et des végétaux apportés là par flottaison. Si les couches ossifères du gisement sont formées de roches à grains plus gros que ceux des roches encaissantes; ce gisement s'est formé par suite de l'accroissement de la vitesse des courants d'eau, assurant le transport des restes enfouis, restant dans des régions plus proches de la région d'érosion. A ce type appartient l'immense majorité des gisements de faune terrestre, surtout ancienne, car les ultra-faciès du Précambrien, d'après la loi de conservation dans le temps, appartiennent à des régions très voisines de la base d'érosion et sont, pour cette raison, principalement représentés par des addi-

ments clastiques à grain fin.

Dans les gisements du second groupe, indépendamment du caractère des roches ossifères par rapport aux roches encaissantes, on peut distinguer trois types fondamentaux (fig.40a, b, c). Dans le premier type, le toit et le mur, c'est-à-dire les dépôts encaissants "morts", sont représentés par des roches pétrographiquement identiques. Ce caractère du gisement montre qu'il s'est formé sans grand changement des conditions de sédimentation générale, ou d'autres termes, il indique l'apparition d'un cours d'eau d'une vitesse différente, dont l'existence fut de courte durée. Dans le cas considéré il s'agit d'une sélection mécanique, d'après les forces des filets d'eau. Dans les cours d'eau larges, surtout dans les fleuves deltaïques, les filets d'eau de forces différentes "errent", en changeant de position et de direction. Le premier type de gisement (fig.40a) se forme par l'apparition temporaire de filets d'eau de vitesse différente, permettant le dépôt de restes faunistiques, dépôt qui cesse dès que la vitesse du filet d'eau change de nouveau, tandis que la masse fondamentale des sédiments caractéristiques du faciès continue à se déposer, encore pendant longtemps. Les gisements de ce type appartiennent principalement à des lits deltaïques sous-aquatiques, sont peu larges et peu épais, dans le plan ils prennent la forme de rubans longs ou de lentilles étroites. Le second type de gisements (fig.40b) se caractérise par le dépôt des couches ossifères à la limite de deux séries lithologiquement différentes. Dans la formation de ces gisements le changement du régime du filet d'eau procurant l'enfouissement des restes, coïncide avec des changements généraux des conditions de sédimentation. Le plus souvent, nous observons une décroissance progressive de la force des filets d'eau déposant le sédiment, la série inférieure se distinguant par des sédiments à grains plus gros, tandis que la série supérieure est représentée par des sédiments fins, par exemple des grès ou argiles, ou des calcaires. Les restes faunistiques peuvent être enfouis dans la couche la plus supérieure de la série inférieure, sans passer dans la série supérieure, ni se trouver dans des couches situées plus bas dans la série inférieure. Dans ce cas les couches supérieures de la série inférieure sont représentées par un matériel clastique un peu plus fin, tandis que la série supérieure est déposée sur la série inférieure sans passage progressif, nettement différente de la précédente par le caractère pétrographique des roches. La durée de formation de ces gisements est brève et a lieu au moment d'un brusque changement du processus de sédimentation, les restes faunistiques antérieurement transportés commençant à se déposer dans la zone de sédimentation considérée. Le changement des conditions continuant, le dépôt des restes faunistiques s'arrête. Si dans une tharacénose en voie d'enfouissement les restes des petites formes prédominent, les restes faunistiques passent dans la série supérieure, formant gisement dans les couches inférieures de cette dernière. Mais dans ce cas, il y a une accumulation sélective uniquement des restes des formes les plus petites, formant souvent une "faune" nettement différente de celle du gisement fondamental. Si entre deux séries de caractère différent se trouve une série de nature intermédiaire, contenant des restes faunistiques, le gisement peut dans ce cas être rapporté au troisième type (fig.40c). Dans des gisements de ce type, la série supérieure étant constituée de sédiments à grain plus fins, on observe une accumulation progressive des restes, qui, rares dans les couches inférieures de la série ossifère, atteignent leur maximum à la limite de la série supérieure, par suite d'un accroissement progressif (et non brusque comme dans les cas précédents) des conditions favorables au dépôt

des restes de faune. Il est facile de voir que dans les couches inférieures de la série ossifère du gisement, nous trouverons soit les os les plus gros, soit de mauvais fragments, tandis que dans la couche la plus élevée on peut déjà rencontrer des squelettes complets, apportés sous forme de squelettes flottants au cours de la dernière phase de l'enfouissement.

Dans le cas où le gisement aura une coupe inverse de celle que nous venons d'envisager, c'est-à-dire que les couches supérieures sont représentées par des sédiments plus grossiers que les couches inférieures, l'ordre d'accumulation des restes faunistiques sera également inversé. Les restes en bon état de conservation s'accumuleront dans les couches inférieures, au-dessus les os seront plus rares et en mauvais état, pour finalement disparaître totalement, ce qui montre que les conditions de sédimentation ont changé à tel point que tous les restes faunistiques ont été emportés dans une autre zone de sédimentation. On observe souvent des cas où la série supérieure recouvre le gisement, bien que représentée par des sédiments plus grossiers que ceux de la série inférieure, la couche ossifère est constituée elle-même par un matériel encore plus grossier. Les gisements de ce type sont en général constitués par des galets et des conglomérats et se distinguant par un entassement abondant de restes abîmés, cet amoncellement étant la conséquence de l'intrusion d'un courant d'eau très puissant dans la région de sédimentation calme, provoquant un déplacement rapide et désordonné de la grande masse de restes organiques. Dans ces gisements on ne rencontre presque pas de squelettes complets, les restes des formes petites sont soit entièrement emportés, soit détruits et ne pouvant être trouvés que dans des poches, qui sont de profondes ravines situées dans la série inférieure, sous-jacente au gisement. Elles sont dues à l'érosion intense provoquée par un courant d'eau puissant dans les sédiments antérieurement déposés. Dans ces "poches" sont apportés et, parfois retenus, les restes des formes petites et quelques fois même des squelettes complets.

Le type de gisement le plus fréquemment rencontré est celui du dépôt des os à la limite de deux couches ou niveaux de caractères différents. Dans la majorité des cas, la couche ou le niveau inférieur, est constitué de sédiments plus grossiers que les couches supérieures. La genèse des gisements de ce type présente trois phases successives très semblables à celles des inondations périodiques des plaines inondables actuelles des régions tropicales:

Première phase: Inondation totale, avec lessivage des sédiments sous-jacents déposés précédemment et apport d'un matériel à grain grossier.

Seconde phase: La vitesse du cours d'eau tombe brusquement, l'apport intense de sédiments à grain grossier s'arrête et à ce moment précis se déposent les cadavres flottants, à l'endroit même où se déposent les sédiments grossiers.

Troisième phase: La vitesse du courant s'étant ralentie il se dépose uniquement du matériel fin, formant le niveau supérieur de la roche.

Les caractères de la répartition des restes de faune à l'intérieur de la couche fossilifère, est d'une grande importance pour l'aspect d'un gisement (fig.41). Parmi les gisements connus on peut, de ce point de vue, distinguer deux types fondamentaux: les stratifiés et ceux qui sont à disposition désordonnée. Dans les gisements à répartition stratifiée des restes organiques ceux-ci s'accumulent suivant des couches, on accorde en général avec les plans de stratification (fig.41a). Dans les gisements désordonnés les restes de faune sont dispersés à l'intérieur de la couche, formant une sorte de mélange avec la roche. La genèse de ces gisements correspond à des conditions d'érosion intense

du continent, les cours d'eau étant rapides, de même que la sédimentation. Les gisements du type stratifié se sont formés dans des cours d'eau tout à fait calmes, la différenciation mécanique des produits de la sédimentation s'étant faite régulièrement. La température relative en restes de faune des couches ossifères des gisements permet de déterminer également différents types (fig.41). On trouve des gisements concentrés, ou dispersés. Dans ces derniers (fig. 41c) les restes de faune sont relativement rares et disséminés à l'intérieur de la couche ossifère, alternant avec de larges districts sans fossiles. Dans les gisements concentrés les fossiles sont étroitement serrés les uns contre les autres (fig.41d). On rencontre non moins souvent que les deux précédents, un type intermédiaire (fig.41e), où d'importantes accumulations sont dispersées sur la superficie de la couche ossifère, sous forme de taches séparées par de larges intervalles n'ayant que de rares restes fossiles.

Cette description des types de gisements ne peut pas être considérée comme une classification des gisements. L'établissement d'une classification génétique des gisements est d'une nécessité immédiate et elle attendra beaucoup les recherches taphonomiques.

Cependant jusqu'à maintenant on n'a étudié en détail qu'un petit nombre de gisements et le moment n'est pas encore venu de donner une telle classification. Après des recherches particulières effectuées, notamment dans les immenses gisements d'Amérique du Nord, d'Afrique du Sud, d'Asie, d'Amérique du Sud, qui jusqu'à présent n'ont pratiquement pas été étudiés, il sera possible de donner une classification des gisements connus d'après leurs caractères génétiques. Il faut espérer que les lacunes considérables qui existent dans nos connaissances sur les gisements, seront rapidement comblées, car les savants de tous les pays ont pris conscience de l'intérêt que présentent ces données des annales géologiques.

Les types de gisements que nous venons d'indiquer, quoique ne traduisant pas toute leur diversité, nous renseignent sur la structure caractéristique de formations analogues. La structure des gisements joue un rôle non moins important dans le domaine des conceptions faunistiques et floristiques. Des conclusions erronées sur la destruction, l'apparition brusque, la déficience de certaines faunes, sur les niveaux azoïques, toutes ces conceptions fausses s'expliquent par une ignorance totale des processus de formation des gisements.

En fait, les gisements du second groupe se présentant sous leur premier type - (fig.40a) - couche à faune abondante comprise dans une roche encaissante azoïque - sont en général interprétés comme étant le résultat de l'apparition soudaine d'une faune migrante, venant de quelque part et qui fut détruite en masse au cours de cette migration. La formation de gisements du second type (fig.40b) est interprétée comme due à des variations intervenues dans le caractère des roches encaissantes, qui, soi-disant, provoquerait une destruction massive de la faune vivant dans des conditions physico-géographiques changées. On oublie cependant complètement ce caractère allochtone de la faune enfouie dans les gisements. On oublie également que les variations du caractère de sédimentation observées dans un gisement se rattachent principalement à des variations du régime hydrodynamique des cours d'eau. Ceci a très peu d'influence directe sur la faune terrestre habitant en dehors de la région de sédimentation encaissant le gisement. Il est facile de voir que l'apparition brusque de faune dans les niveaux continentaux est tout à fait normale

dans un grand nombre de cas de formation de gisements et ne signifie pas des changements des conditions physico-géographiques ayant amené des catastrophes, c'est-à-dire la destruction massive de la faune. De même, la disparition brusque - la "mort subite", de la faune s'explique parfaitement par l'ordre normal du développement du processus de formation d'un gisement et ne peut signifier que l'arrêt d'apport des restes provoqué par toute une série de causes, n'ayant rien de commun avec la mort effective de la faune. De plus tout gisement important est un témoin de l'épanouissement numérique de la faune à l'époque considérée, puisqu'une faune déficiente en voie de disparition ne forme pas de gisements et cesse d'être enfouie. Ainsi, cette disparition apparente se produit beaucoup plus tôt.

Les couches inférieures des gisements, avec saturation progressive en restes de faune, ces couches étant considérées en dehors des plus riches, peuvent nous renseigner, dans le cas d'une dénudation partielle, sur la déficience de la faune. Une image encore plus éclatante, mais fautive, de la déficience de la faune, nous est fournie par les gisements dont la quantité de restes diminue progressivement en remontant la verticale, ce qui s'explique par l'épuisement de la thanatocénose enfouie, ou la diminution progressive de la force du cours d'eau.

L'existence de grandes érosions internes au milieu de faisceaux de strates du gisement, complique encore plus l'interprétation des principales questions stratigraphiques de la paléofaunistique et peut nous conduire à des déductions erronées.

On rencontre des difficultés appréciables dans l'interprétation, par les procédés habituels, des données fournies par des gisements où la concentration des restes faunistiques varie dans les limites d'une même couche ossifère. Si pour des gisements de type concentré on dispose nous pouvons faire les erreurs habituelles sur la soi-disant "abondance", ou "rareté" d'une faune, pour les gisements du type mixte peut être commise, tout à fait au hasard, selon l'endroit où sera faite la coupe de la couche ossifère. Il est évident que l'existence de restes faunistiques étroitement concentrés, ou, au contraire disséminés dans la masse de la couche, n'est pas une preuve de la richesse ou de la rareté de la faune, car elle dépend exclusivement des conditions d'enfouissement, dont la conséquence est le caractère biostratonomique de la couche ossifère. En tout cas, toute analyse plus ou moins précise d'un gisement nécessite l'observation d'une superficie appréciable de la couche ossifère pour pouvoir faire une étude détaillée de son caractère pétrographique et de la répartition des restes faunistiques à l'intérieur de cette couche.

Les différents types structuraux de gisements nous autorisent à faire encore deux déductions importantes:

1) Dans beaucoup de cas les restes faunistiques sont des indications sur les variations du processus de sédimentation plus sensibles que les roches ennaissantes. La réflexion des variations du régime de dépôt des sédiments prend, dans la roche, un certain retard par rapport aux variations du dépôt des restes faunistiques. Très souvent la présence même d'une faune enfouie, c'est-à-dire d'un gisement, est un indice du changement de faciès, ce changement provoque le dépôt de roches d'un autre type au toit du gisement et dans les couches supérieures suivantes.

2) Dans les dépôts continentaux, à partir du Paléozoïque, il n'y a pas de niveaux azoïques, au sens strict du terme. Ces niveaux azoïques sont simplement des districts vides compris entre les gise-

ments, aussi bien en suivant la verticale que le plan. Par conséquent, toutes les conclusions concernant le caractère particulier de dépôt des niveaux apparaissant comme azoïques, sont prématurées.

Chapitre VII

EXEMPLES de CORRECTIONS TAPHONOMIQUES APPLIQUEES à des QUESTIONS d'EVOLUTION des VERTEBRES TERRESTRES

Dans l'exposé précédent, nous avons vu que l'ensemble des données des annales géologiques ne s'est pas constitué au hasard. Quelles peuvent être la signification et l'influence des lois taphonomiques pour nos conceptions sur la vie des époques géologiques anciennes.

Il faut avant tout remarquer que les lacunes régulières de nos connaissances sur la vie terrestre du passé éloigné apparaissent comme unilatérales. De l'ensemble des formes terrestres anciennes variées, sont éliminées sélectivement tous les "petits nombres", c'est-à-dire les formes représentées par peu d'individus, peuplant incomplètement l'aire de leur habitat. Il est facile de voir que toutes les formes "intermédiaires" possibles sont détruites, selon les lois de la formation des annales géologiques. Si on considère une faune quelconque de Vertébrés terrestres, habitant une région proche de la région de sédimentation, les formes constituant cette faune donneront les groupes principaux suivants, lorsqu'elles passeront dans les annales géologiques :

1) Des formes à adaptation aquatique ou d'habitat voisin des régions aquatiques, dominantes quantitativement au moment considéré. Leur densité de peuplement étant suffisante, ces formes passeront dans les annales géologiques.

2) Formes les plus évoluées, ayant conquis au début de leur évolution adaptative de nouvelles aires d'habitat et, par conséquent, soit peu nombreuses, soit trop éloignées de la région d'enfouissement. Ces formes s'élimineront des annales géologiques, tout au moins dans la majorité des cas.

3) Formes archaïques, déjà retirées de la scène et des groupes déficients, rares par conséquent. Dans ce cas ils échapperont aussi aux annales géologiques, mais pour les très anciennes époques de la vie terrestre il y a des exceptions, que nous verrons plus loin.

Ainsi, au cours de son passage dans les annales géologiques, toute faune terrestre, se divise en trois groupes de formes, dont un seul est enfoui dans la très grande majorité des cas. Ce groupe de formes, ayant atteint un grand épanouissement numérique, sera composé de formes souvent différentes par leur degré d'évolution, avec des spécialisations nettement marquées, qui sont à la base de leur prospérité et de leurs chances dans la sélection naturelle du moment, en somme de leur prédominance quantitative dans la faune. D'autre part, ce sont des formes capables de peupler leur aire d'extension avec une densité de population assez élevée, ou de former périodiquement d'importantes accumulations d'individus - des troupeaux. Le caractère d'adaptation du groupe de formes enfouies sera également sélectionné dans le sens d'une prédominance des formes adaptées à la vie dans des régions prélittorales, ou, d'une façon

générale, dans des régions de sédimentation importante (fig.42).

Ainsi, l'absence dans les annales géologiques de formes possédant une structure intermédiaire entre des groupes de formes grosses et petites est un phénomène tout à fait régulier et ne peut, en aucun cas, signifier leur absence réelle, il s'agit des formes "intermédiaires" des annales géologiques, c'est-à-dire des unités taxonomiques plus grosses que l'espèce, n'excluant pas les possibilités de discontinuités (saut) dans l'ordre phylogénétique. La disparition des annales géologiques, des formes particulièrement intéressantes par leur signification évolutive, ainsi que la disparition d'un nombre considérable des formes, entrant dans la diversité du monde animal terrestre ne importe quelle époque géologique ancienne, conduit à des déformations particulières de nos conceptions sur l'évolution.

Considérons dans ses traits généraux la documentation géologique relative aux variations faunistiques d'après l'exemple de l'évolution des Vertébrés du Paléozoïque à nos jours.

Dans la zone des ultra-faciès, la seule assurée de conservation au cours du temps, au moment du passage à l'état continental, toute la partie activement évoluée de la faune se trouvera dans le contour interne (pour les terrestres), ou externe (pour les marins). Dans les limites de la zone elle-même, dans les ultra-faciès constituant cette zone, seront enfouies les biocénoses les plus nombreuses constituées, depuis longtemps et contenant des formes fortement spécialisées.

Dans les ultra-faciès du Silurien et du Dévonien inférieur, nous trouvons des Poissons fortement spécialisés, comme certains formes cuirassés. Les ancêtres des genres ou les formes primitives de ces Poissons ne possédant pas de cuirasse ou de squelette interne ossifié, ne se conserveront pas, en raison, non seulement de leur rareté, mais aussi à cause des conditions de fossilisation. Les autres formes de Poissons ayant incontestablement existé en même temps que les Poissons à cuirasse, mais ayant évolué dans un sens les conduisant à conquérir la mer, se disperseront dans le contour externe de la zone d'enfouissement, ne formant pas de concentrations suffisantes, soit en raison de trop faibles concentrations en individus, soit par suite du mode de vie mobile en dehors des zones de sédimentation fondementales. Un exemple d'exclusion des annales géologiques de Poissons de dimensions importantes habitant le contour externe de la zone d'enfouissement, est Latimeria. Comme on le sait cet énorme Crossoptérygien de la famille des Undinidae, fut capturé tout récemment près des côtes d'Afrique du Sud. D'après les données des annales géologiques, les derniers représentants de cette famille ont disparu au cours du Crétacé supérieur. Cependant Latimeria a survécu jusqu'à nos jours. Le cas de Latimeria montre que, pour pouvoir évaluer le degré d'évolution et le caractère général de la faune de Poissons anciens, on doit faire des corrections importantes relativement aux groupes de formes se trouvant éliminés des annales en raison de leur mobilité ou de leur petit nombre d'individus. Ces formes constituent les parties les plus évoluées de la faune et sont les ancêtres des Vertébrés terrestres. Dans les zones d'ultra-faciès continentaux du Paléozoïque supérieur, le contour interne de la zone pénètre à l'intérieur du continent en englobant la région d'habitat de la faune terrestre, la plus nombreuse dans les deltas, dans les cours inférieurs des grands fleuves. Toutes les périodes des annales géologiques, à l'exception des plus anciennes, se caractérisent par la disparition du cycle d'enfouissement de toutes les branches phylogéniques pénétrant profondément à l'intérieur des continents.

Au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque, le cercle des formes terrestres du contour interne enfoui, s'élargit relativement, surtout au

cours du Cénozoïque, grâce à la conservation dans le temps des dépôts continentaux, susceptibles d'être des infra-faciès pour des époques plus anciennes. Par conséquent, pour le Mésozoïque et le Cénozoïque, la diversité des formes terrestres croît, ce qui est parfaitement naturel, étant donné que les continents furent progressivement conquis par les Vertébrés terrestres. Mais ce caractère progressif de la conquête, soit-disant lié au progrès général, sera dans une certaine mesure, apparent, car il est la conséquence des lois générales de la conservation des sédiments dans le temps. En fait, dès l'Eocène nous observons l'apparition de tous les principaux types de Mammifères. Les formes plus anciennes, comme par exemple les Sauriens et les Ophidiens, habitent les régions intra-contininentales actuelles, les plus diverses, tandis que les genres d'Amphibiens actuels sont connus dès l'Eocène moyen (lignites du Lutétien supérieur de Gaiseltal). Il ne faut pas oublier non plus, que plus le nombre des formes connues dans les annales géologiques est grand, plus s'éloignent dans les temps les "racines" - les formes initiales, non seulement pour des classes entières, mais aussi pour différents grands groupes isolés. Tous ces phénomènes peuvent être réunis dans la conclusion suivante: Le peuplement des continents et la diversification de la vie animale et végétale sur les continents remontent à une époque bien plus ancienne que nous permettent de le supposer les données des annales géologiques, dans les anciennes pages desquelles disparaît la plus grande partie du monde animal terrestre (fig.43). Ce tracé d'une frontière historique entre la première conquête de la terre et le "vide" apparent des anciens continents est l'un des problèmes fondamentaux de la paléontologie pour son développement futur.

Les variations périodiques du développement des processus géologiques influent sur l'aspect général de la documentation géologique relative à la vie terrestre. Les changements des périodes de calme en périodes d'orogénèse, introduit inévitablement des variations dans l'ensemble des processus de formation des gisements. Au cours des périodes de calme, le niveau des continents étant bas, l'érosion faible et l'accumulation lente, l'épaisseur de la zone d'ultra-faciès contenant les faunes enfouies, sera relativement faible, mais cette zone se situera plus près des continents et aura une largeur un peu plus grande, car les régions de plaines littorales pénétreront profondément dans les continents. Les processus d'enfouissement, au cours des périodes de calme, seront sensiblement plus lents, par rapport à la sédimentation, ce qui conduira à une plus grande destruction des restes enfouis. Pour cette raison, la quantité totale (surtout pour les régions intra-contininentales) de faunes terrestres enfouies au cours d'une période de calme, sera relativement faible, contenant un moins grand nombre de gisements par unité de volume de roches encaissantes.

Les périodes de diastrophisme se traduisent par une érosion énergique et un accroissement de la vitesse de sédimentation. Grâce au transport et à l'enfouissement rapides des restes, malgré des lessivages intra-formationnels plus fréquents, la quantité de faune enfouie et le nombre de gisements, sont relativement plus élevés. De même, le nombre de formes à adaptation purement terrestre est plus élevé, grâce à l'apport plus rapide venant des régions profondes du continent. Les zones d'ultra-faciès de bordure sont importantes par leur épaisseur et pénétrant plus profondément dans la mer. Les parties sub-aériennes des deltas, au cours des périodes de diastrophisme, sont relativement plus étroites (fig.44).

Selon les conditions de sédimentation, les périodes de diastrophisme se manifestent, dans les annales géologiques, par une quantité élevée de restes de faune terrestre, dans lesquels nous rencontrons un nombre plus élevé de formes purement terrestres. Pendant ces périodes, le nombre élevé des gisements, contenant des quantités importantes de restes de faune terrestre, crée une impression tout à fait compréhensible de "recrudescences" particulières de la morphogénèse, d'activation des processus d'évolution, et, en même temps, une impression de destruction massive d'un grand nombre de formes, sous l'influence d'importants événements diastrophiques ou changements climatiques, à la surface du globe. Alors, nous ne sommes pas bien loin d'admettre des destructions massives de faunes terrestres en relation avec des catastrophes diastrophiques, d'autant plus que dans les gisements relativement pauvres de la période de calme qui suit nous ne trouvons pas beaucoup des formes enfouies pendant la période d'agitation. Cependant les formes réunies des deux époques - de diastrophisme et de calme - correspond à une durée suffisante pour que le cours de l'évolution normale s'y traduise par un changement. Nous ne pouvons naturellement pas nier que les époques épirogéniques, en augmentant le nombre des biotopes terrestres et en accentuant les contrastes entre la mer et la terre, peuvent activer, dans une certaine mesure, l'évolution de la faune terrestre, en accroissant la diversité des adaptations. Malgré tout cela, la différence entre les périodes de diastrophisme et de calme, pour la faune terrestre déjà développée, n'est pas aussi considérable qu'elle paraît dans les annales géologiques. L'étude des lois de formation de ces annales nous oblige à nier l'influence critique exercée par les périodes épirogéniques sur l'évolution de la faune terrestre et, surtout, sur la disparition massive et le changement tranché de ces faunes.

Remarquons à ce propos, que les époques épirogéniques coïncident avec la formation d'énormes massifs de niveaux continentaux, dont les divisions stratigraphiques formant une série continue, ne coïncident pas avec les subdivisions admises et développées par les géologues modernes, qui, elles sont basées uniquement sur le continent européen. Ainsi, par exemple, pour les dépôts continentaux de l'Hémisphère Sud, il serait commode de considérer comme dernière division du Primaire, une période comprenant le sommet du Carbonifère, le Permien et le Trias inférieur, car ces trois termes sont inséparables dans le cycle d'épirogénèse de la sédimentation continentale et dans le développement de la faune terrestre. Pour l'ensemble des niveaux continentaux des continents de l'Hémisphère Nord, il est plus commode de faire partir le Secondaire du Trias supérieur et de terminer le Carbonifère au Stéphanien. Ces exemples montrent à quel point les cycles épirogéniques sont nets dans les annales géologiques.

Les gros gisements de Vertébrés terrestres, avec leur apparition "brusque" dans les roches encaissantes et, ensuite, leur déplacement aussi brusque, donnant l'impression de véritables "champs de mort", prouvant, soi-disant, la réalité des catastrophes, détruisant en masse certaines formes. La fréquence élevée des gisements au cours des époques orogéniques, permet de parler de mortalité élevée ou de migrations des faunes terrestres au cours des périodes de diastrophisme. Le processus de formation des gisements étudiés par la taphonomie, nous permettent d'interpréter de façon concrète les "champs de mort", qui, dans la plupart des cas, ne se rattachent à aucune sorte de catastrophe d'ordre général.

Ainsi, les recherches taphonomiques corrigent les conceptions sur le développement général de la vie terrestre; elles réfutent toute

signification d'ordre universel des brusques variations apparentes de la faune terrestre, des tendances de néocatastrophisme, qui continuent à exister en paléontologie.

La sélection particulière des formes dans les annales géologiques, orientée par l'ensemble des lois taphonomiques et compliquée par l'alternance des époques de calme et de tectogénèse, est également une base de simplification des conceptions sur l'évolution. L'élimination des annales géologiques de toutes les formes de caractère intermédiaire, de caractère très évolué ou très différent, représentées par un nombre réduit d'individus, crée un type particulier de "faunos" fossiles spécialement not pour les plus anciennes époques de la vie terrestre. Il faut encore ajouter l'absence dans les oryctocénoses d'individus très jeunes ou très âgés retrécissant souvent nos conceptions sur la variabilité avec l'âge des formes fossiles et conduisant à la création de subdivisions systématiques, qui, en fait, ne comprennent que les stades adultes. Chaque "faune fossile" se compose de formes spécialisées dans un sens ou dans un autre, adaptées à leur manière à des conditions d'existence d'un même milieu externe.

L'analogie des types écologiques ayant atteint l'épanouissement dans un milieu biologique donné, toujours situé à proximité de la région de sédimentation, conditionne aussi les différences insignifiantes des importants indices morphologiques chez les différents formes provenant de gisements différents. En d'autres termes, dans les oryctocénoses des gisements nous trouvons des groupes de formes sténobiontes, différent les uns des autres par des écarts d'adaptation relativement insignifiants, tendant à remplir les différentes niches écologiques d'une même région d'habitat importante. Ceci est tout à fait analogue à l'uniformité générale des faciès conservés. Sur un fond de telles formes fortement prédominantes dans toute "faune fossile", les rares trouvailles de formes provenant d'autres régions écologiques révèlent en général des différences appréciables dans le degré d'évolution, ou la parenté génétique. Les formes "exotiques", accidentelles, possèdent soit une structure archaïque, primitive, représentant des restes de branches d'adaptation anciennes, soit se distinguent par des caractères structuraux extrêmement avancés, déterminant une eurybiontie marquée et une possibilité de pénétration plus profonde dans des stations biologiques intracontinentales. Parfois, tous les types de formes rares appartiennent à des groupes systématiques tout à fait différents de ceux prédominants dans la faune, très éloignés du point de vue parenté des formes typiques de la faune considérée. Une interprétation simplifiée, mais malheureusement répandue, de l'évolution des "faunos" décrites ci-dessus est de subdiviser le processus d'évolution en deux catégories, ou, mieux, en deux tendances. Les rares formes avancées évolueraient par la voie particulièrement rapide des anamorphoses, tandis que tous le reste de la faune, évoluerait dans le sens de l'idioadaptation. Ces deux tendances se distinguent assez nettement dans la composition de presque toutes les faunes d'anciens vertébrés terrestres et, ainsi, elles sont basées sur des données de la paléontologie.

Cependant l'étude taphonomique des lois des annales géologiques montre que la composition des faunos fossiles est sélectionnée par le caractère des adaptations et la prédominance numérique des formes et par conséquent, elle ne représente qu'une partie du monde animal terrestre. Dans les faunos complètes, si celles-ci se trouvaient enfouies dans les annales géologiques, nous trouverions en si grand

nombre des formes représentant les gradations progressives entre les variations aromorphiques et d'adaptation, que toute subdivision du processus d'évolution en deux tendances, paraîtrait artificielle. Nous reviendrons sur cette question en fin de chapitre. Nous devons nous arrêter une fois de plus sur le rôle des rares éléments "exotiques" des faunes anciennes, bien que nous en ayons déjà parlé plusieurs fois dans les chapitres précédents.

Le développement de la technique des fouilles paléontologiques au cours de notre siècle a augmenté la fréquence des formes "exotiques" contenues dans les faunes anciennes. La découverte de grandes superficies de couches ossifères accroît naturellement la probabilité de découverte d'éléments nouveaux, rares, de la faune. A côté des restes en bon état de conservation, permettant de reconstituer avec exactitude les principaux caractères morphologiques de l'animal, on a trouvé aussi une certaine quantité de restes très incomplets, ne permettant que d'émettre des hypothèses, parfois tout à fait paradoxales. Telles sont, par exemple, les hypothèses sur l'existence de Reptiles volants dans le Permien inférieur d'Amérique du Nord, la découverte d'un soi-disant vertébré tout à fait particulier dans les calcaires de Solnhofen en Allemagne (*Pelonechasma*), des restes d'*Anthracosaurus rancipis* Goldenb. du Carbonifère supérieur de Sarrebruck (Broili, 1932 et 1938; Goldenberg, 1973), une assez grande quantité de fragments rarement rencontrés dans les dépôts permians du Prédoural, en Amérique du Nord et en Afrique du Sud, montrant une évolution de la structure trop avancée pour l'époque considérée ou des adaptations extraordinaires, mais en général non mentionnées dans la littérature scientifique, vu l'impossibilité de donner une détermination de ces fragments quelque peu précise. Quelles que soient les erreurs de détermination de la signification de ces fragments, il est indiscutable que certains nous révèlent l'existence de cette partie du monde animal du passé qui nous est cachée et nous font entrevoir une suite de transformations beaucoup plus nombreuses et beaucoup plus variées des formes terrestres que nous fournissent les annales géologiques. Les cas d'enfouissement de formes isolées, dispersées dans les masses de niveaux sédimentaires, dont la probabilité de découverte est extrêmement faible, doivent être de ce point de vue extrêmement intéressantes et, comme la découverte de l'*Archaeopteryx*, sont appelés à marquer de véritables étapes dans le développement des idées paléontologiques.

Une illustration parfaite de ce qui précède est la découverte de *Latimeria*, énorme *Crossoptérygien* appartenant à la famille des *Undinidae*, considérée comme disparue dans les annales géologiques depuis le Crétacé et dont les restes n'ont pas été enregistrés pendant toute une grande partie de l'histoire géologique. Cependant, actuellement nous avons la certitude que les *Crossoptérygiens* ont vécu jusqu'à nos jours et *Latimeria* vit près des côtes orientales de l'Afrique du Sud, dans le contour externe de la zone d'enfouissement continental. La découverte de *Latimeria* est une preuve excellente de l'élimination des annales géologiques de formes rares, constituées d'un petit nombre d'individus. La même preuve est fournie par les indices de présence de Dinosauriens dans les dépôts tertiaires d'Amérique du Sud. Dernièrement en Equateur, on a trouvé un squelette de Mastodon, parmi des restes culinaires de l'homme primitif, avec traces de cuisson et morcellement des os (Eislooy, 1945). Les tessons d'un vase d'argile trouvés en même temps que le Mastodon permettent de rapporter cette trouvaille aux premiers siècles.

Ainsi, l'Amérique, si l'analyse de la trouvaille est exacte, était encore peuplée de Mastodon dans la partie septentrionale d'Amérique du

Sud jusqu'à l'époque historique des temps actuels. Ceci ne correspond absolument pas à ce que la paléontologie pouvait laisser prévoir et montre une fois de plus, le caractère incomplet, même pour des sections très récentes, des annales géologiques. A ce groupe de découvertes "inattendues" appartient la trouvaille récente des restes d'un "tigre-sabre" marsupial, dans les dépôts d'un lit fluvial du Quaternaire inférieur du Nebraska (Zuidema, 1947). Cette découverte parle en faveur de la pénétration profonde des représentants de la faune de Mammifères marsupiaux d'Amérique du Sud vers l'Amérique du Nord, dans le domaine du développement des Mammifères placentaires et indique que les rapports des faunes des deux principales régions zoogéographiques étaient différents de ce que nous semblait être d'après les simples données d'un enfouissement incomplet.

Il est évident que pour les faunes terrestres cénozoïques, plus complètement représentées dans les annales géologiques, les formes rares, anormales, offrent plus de possibilité pour l'étude des adaptations variées. Pour les époques initiales de la vie terrestre les formes rares indiquent les voies de développement des principaux groupes de Vertébrés terrestres. Ceci concorde parfaitement avec le caractère moins complet de la vie terrestre au cours de ses plus anciennes périodes. Les formes rares rencontrées dans les "faunes" des gisements nous renseignent également sur la partie disparue du monde animal et ce sont des indices de la durée du processus d'évolution dans la diversité considérable des adaptations. Le nombre des familles et ordres monotypiques, de telle ou telle faune ancienne, est directement proportionnel à la fraction connue de la partie disparue du monde animal.

En analysant cette propriété des gisements importants, nous pouvons trouver une loi générale découlant directement des observations géologiques. Plus le nombre des documents paléontologiques accumulés augmente, plus reculent dans le temps les trouvailles de formes (ou plus exactement de groupes) ancestrales. Telle est la découverte par Naoumova (1948) de spores de Végétaux terrestres dans le Cambrien. Des Végétaux vasculaires à organisation assez élevée furent découverts récemment dans le Silurien (Walton, 1940).

Des traces de Reptiles (pistes) furent trouvées dans le Carbonifère inférieur, des Stégocéphales dans le Dévonien, tandis que dans le Jurassique supérieur des Etats-Unis on a trouvé des restes incomplets de Dinosauriens gigantesques (Saurophagus), dépassant par leurs dimensions les Tyrannosaurus, apparus seulement au Crétacé supérieur et considérés comme les plus gros de tous les Dinosauriens carnivores. Des découvertes massives de restes en parfait état de conservation, comme à Gaiseltal, ont montré l'existence de genres d'Amphibiens actuels dès l'Eocène. Probablement que le développement ultérieur de nos connaissances dans beaucoup de cas transformera nos conceptions sur l'époque d'apparition des différents groupes d'animaux et végétaux.

Pour l'analyse de la partie dominante des anciennes "faunes" terrestres, possédant des types écologiques analogues, les différences de durée d'existence des différents faciès est d'une grande importance. En même temps, chaque région de sédimentation correspond à une région écologiquement déterminée et à un biotope. Nous interprétons la stabilité et la durée d'existence des différents faciès, comme des conditions du milieu extérieur permettant la sélection de niches écologiques et de types écologiques, quantitativement dominantes, au cours de toutes les périodes de l'histoire de la vie terrestre. Des lois de conservation et de durée d'existence des divers faciès, on

peut conclure que les biotopes les plus stables dans le temps seront les ensembles de régions de sédimentation situés aux gradins les plus bas de l'érosion, c'est-à-dire le plus près de la base d'érosion. Pour cette raison les régions deltaïques, les régions de grandes plaines littorales et les plaines de grandes dépressions intra-continentales, auront la plus longue durée d'existence et constitueront des milieux biotiques identiques au cours de toutes les périodes de la vie de la Terre. Ces milieux semblent être les réservoirs des anciens types écologiques, conservés ici et répandus à partir de là dans tous les nouveaux faciès analogues et à courte durée d'existence, entrant dans la composition de biocénoses nouvelles. Ce n'est pas par hasard que le type écologique "crocodiliforme" est un des plus anciens et des mieux conservés. Il existe actuellement aussi, dans la même faune deltaïque que celle dans laquelle il a pris naissance dans un passé très éloigné. Les gros Stégocéphales du Carbonifère inférieur, les Pelycosauriens, de la base du Permien, les Stégocéphales aquatiques plus récents du Permien supérieur et du Trias, les gros Thécodontidés (Eosuchus) du Trias, les Pseudosuchia du Jurassique et, enfin, les Crocodiles actuels, constituent tous un même type écologique. Il est curieux que toutes les subdivisions plus petites de ce type, comme les Gavialidés actuels, se retrouvent dans le Permien et le Trias chez les Stégocéphales, dans le Trias et le Jurassique chez les Eosuchia et les Pseudosuchia. La prédominance du type écologique "crocodiliforme" parmi les autres types faunistiques se manifeste, avec le plus d'intensité chez les "faunes" deltaïques paléozoïques et chez les faunes terrestres plus tardives il devient progressivement moins important. Il est curieux que dans leurs types d'adaptation variés, les Mammifères n'aient pas donné naissance à des types écologiques identiques aux Crocodiles. Ces Crocodiles eux-mêmes, représentant un groupe de Reptiles extrêmement ancien, prospèrent au mieux dans les conditions physico-géographiques nouvelles les plus anciennes par leur caractère de faciès. Ces mêmes conditions de faciès servaient dans le passé et, souvent encore maintenant, de régions de conservation du type écologique "salamandriiforme", encore plus ancien que le type "crocodiliforme". C'est à partir de ces régions que se sont répandus les Salamandres et les autres Amphibiens dans la composition de différentes biocénoses dans les régions les plus variées des continents, jusqu'aux plateaux y compris.

Les anciens types écologiques deltaïques sont en régression dans toutes les couches plus jeunes, car les zones de conservation sont situées bas et la majorité des deltas jeunes se trouve, soit profondément au-dessous des sédiments les plus récents, soit n'ayant pas encore achevé sa formation, se trouve au-dessous de l'eau et continue à exister sous forme de deltas actuels. Une telle régression des anciens types écologiques en remontant la verticale du temps, conduit à leur raréfaction comme dans les sédiments jeunes du Cénozoïque. Les plus importants gisements des types anciens sont encore enfouis profondément dans les continents actuels. C'est pour cette raison que les découvertes "inattendues" de Crocodiles de dimensions invraisemblables, dont les restes se rencontrent rarement dans les gisements des Sivaliks aux Indes, ou dans les dépôts du Tertiaire supérieur aux Etats-Unis, comme le Pholeosuchus trouvé récemment, ou les os isolés de Monotremata gigantesques, etc ... nous étonnent à tel point. On peut supposer que l'étude de gisements importants contenus dans les ultra-faciès du Cénozoïque, nous fourniront des types écologiques anciens, tels que nos conceptions actuelles sur la balance faunistique générale du "siècle des Mammifères" s'en trouveront modifiées.

La résistance des biotopes terrestres situés à proximité de la base d'érosion commune, détermine la prédominance de telle ou telle formes d'adaptation dans les anciennes faunes fossiles, souvent en dehors du degré d'évolution général de cette faune. Ainsi, à part le type d'adaptation "crocodiliforme" mentionné plus haut, dans les gisements des plus anciens Vertébrés terrestres prédominent encore les fouisseurs et les formes nocturnes. Dans les faunes permiennoes on connaît un grand nombre de formes possédant une structure identique - un même type écologique de petit carnassier nocturne, avec des yeux énormes et une dentition peu développée. De telles formes se retrouvent aussi chez les anciens Cotylosauriens et des Pelycosauriens à organisation plus poussée et des Eosuchus encore plus récents; dans beaucoup de traits structuraux du squelette on observe une analogie convergente. Ces fouisseurs sont encore plus répandus dans les faunes anciennes et apparaissent parmi les Stégocéphales, les Cotylosauriens et, même chez les Thérapsidés. Il est intéressant que les premiers gros Cotylosauriens herbivores - les Diadectidés, du Permien inférieur appartenant au type écologique d'enfouissement aquatique, pouvant être comparés par leur aspect aux Hippopotames actuels, possèdent une structure crânienne à caractère plus évolué que les Paréiasauriens plus récents du Permien supérieur. Chez ces derniers la voûte crânienne est continue et plus épaisse, à caractère anapside plus marqué; mais elle recouvre une boîte crânienne beaucoup plus évoluée. Cette structure est une forme plus perfectionnée du type fouisseur. Cet exemple montre l'importance d'une étude approfondie, des propriétés des formes et le danger de conclusions trop rapides, basées sur les différents indices que nous fournit la méthode d'anatomie comparée. Le squelette du type fouisseur est extrêmement semblable aux squelettes de groupes génétiquement tout à fait différents et se distingue par la conservation d'un mode de locomotion extrêmement primitif. Ainsi, le squelette des Mammifères du type Ornithorhynque et Echidé, est beaucoup plus semblable au squelette de Paréiasaurien et par son intermédiaire à celui de tous les Reptiles anciens, qu'au squelette des Mammifères ou des Reptiles plus évolués, comme les Archosauriens.

La prédominance de formes d'adaptation identiques dans une faune donnée, l'analogie par convergence de groupes de nature différente en raison d'un type écologique identique, sont connues depuis longtemps en paléontologie, mais elles étaient en général expliquées par l'analogie des conditions d'existence de l'ensemble de la faune. De là on passait souvent à des conclusions paléogéographiques et paléoclimatiques plus générales. L'analyse taphonomique nous permet d'aborder la question d'une manière un peu différente, en montrant quels sont les types écologiques et quelles sont les formes d'adaptation sélectivement conservées dans les annales géologiques et en expliquant, d'autre part, les durées d'existence de certains types écologiques, qui semblent avoir parcouru toutes les transformations des innombrables faunes de l'histoire de la vie terrestre. Cela retracerait la signification universelle des adaptations typiques, en définissant leur place actuelle dans les multiples variétés de l'existence du monde animal. En même temps, le caractère des formes d'adaptation prédominantes dans la faune découvre les caractères de formation du gisement considéré (mais ne définit pas le type du sédiment) et permet, ainsi, d'évaluer la part du hasard dans la détermination du degré d'évolution d'une faune considérée.

La loi de distribution des lacunes sédimentaires dans les séries géologiques, influe aussi sur les schémas paléontologiques d'évolu-

tion. L'élimination de tous les stades post-embryonnaires jeunes du développement des organismes animaux et la grande rareté d'enfouissement d'individus vieux, conditionnent le fait que dans les oryctocénoses la grande majorité des formes est représentée par des individus d'un âge moyen. Les anciennes formes terrestres - Amphibiens et Reptiles - se distinguent par une croissance extrêmement lente et par un développement post-embryonnaire long, leur durée de vie étant longue. Les caractères finaux d'une adaptation s'acquièrent chez ces formes à un stade très tardif de la vie individuelle et, par beaucoup de leurs caractères, les individus jeunes diffèrent des individus âgés, sans parler des larges variations des dimensions des animaux. L'énorme diapason des variations adultes chez les anciens Vertébrés terrestres, aurait été ignoré jusqu'aujourd'hui si nous n'avions pas trouvé des accumulations massives d'individus d'âges différents du Labyrinthodontidé permien *Archegosaurus*, dans le Rothliegendes allemand et les gisements récemment découverts du Labyrinthodontidé *Benthosuchus*, situé dans l'Eotrias d'URSS. Ces trouvailles, encore rares, ont permis, pour la première fois, de réaliser l'importance des variations depuis les individus très jeunes, venant de subir la métamorphose, jusqu'aux individus très âgés, avec des crânes atteignant 1 m de longueur. Même dans ces gisements, les stades adultes extrêmes sont une rareté et ne sont représentés que par des exemplaires uniques, ou seulement par des fragments. L'étude du matériel a montré que les stades de maturité trouvés isolément auraient été incontestablement considérés comme des formes différentes. Les rares trouvailles d'individus jeunes de *Pelycosauriens* dans la faune permienne d'Afrique du Nord, sont déterminées comme des formes particulières plus primitives (*Glaucosaurus*, *Nycterosaurus*). Le premier est même placé dans une famille à part. Les trouvailles, encore plus rares, d'individus âgés avec des caractères de spécialisation extrêmement marqués, sont également placés dans les genres particuliers. A titre d'exemple je citerai la systématique des Dinocéphales permians d'Afrique du Sud, où le genre *Anteosaurus* est l'individu âgé du genre *Jonkeria*; les genres *Tapinocéphalus* et *Mormosaurus* sont des individus âgés du genre *Moschops*, etc ... Les mêmes erreurs de détermination du stade d'évolution et de l'appartenance systématique se manifestent très nettement chez les formes subissant des variations importantes au cours de la croissance.

En se basant sur les lois taphonomiques de l'enfouissement des catégories adultes, on doit reconsidérer la composition faunistique des gisements des anciens Vertébrés terrestres. Au cours d'une telle révision le nombre des formes différentes et même des familles décrites dans les "faunes" du Karroo, des couches rouges, des gisements de Stégocéphales du Carbonifère supérieur, des gisements du Trias et du Permien d'URSS et d'Europe, de certains gisements de faune de Dinosauriens du Mésozoïque, diminuera sensiblement et les faunes elles-mêmes auront une caractéristique évolutionniste et écologique plus nette.

La rareté d'individus âgés dans les gisements importants d'ultra-faciès paléozoïques et mésozoïques est caractéristique, uniquement pour les gisements de ce type. Dans les petits gisements d'infra-faciès du Cénozoïque, surtout dans sa partie supérieure, on rencontre au contraire beaucoup plus fréquemment des individus âgés. Du point de vue taphonomique ce fait est parfaitement compréhensible, si on se rappelle que les petits infra-faciès du sommet du Cénozoïque, conservés grâce au court intervalle de temps géologique qui nous sépare de leur formation, conservent aussi les petits gisements, pour la formation desquels il ne faut souvent qu'un seul individu d'un gros animal.

Dans ces infra-faciès nous trouvons, par conséquent, aussi la partie de la faune dont les restes sont dispersés sur la surface sub-aérienne, à la suite de la mort naturelle des individus (fig.39). Les gros animaux qui ne craignent pas beaucoup les Carnivores, ont plus de chance d'atteindre un âge très avancé et cependant ce n'est pas un fait du hasard que la plus grande partie des petits gisements des horizons géologiques jeunes contiennent des restes isolés d'Eléphants de Rhinocéros, Mastodon, etc ... Il est tout à fait évident qu'un animal âgé, aux derniers moments de son existence, peut plus facilement s'enliser dans un marécage, couler dans une rivière, ou tomber dans une crevasse, qu'un animal jeune en pleine activité, et se trouver ainsi plus facilement dans des conditions d'enfouissement.

La découverte fréquente d'individus âgés de gros Mammifères fossiles a conduit à des conceptions particulières sur l'"hyperspécialisation", l'hyperdéveloppement de certains organes, émises par certains paléontologistes (Sobolev, Abel, Osborn). C'est à ces faits que se rapportent, en partie, les conceptions sur l'"inertie" du développement évolutif (Abel). Ces notions découlant de la découverte de formes possédant des organes hypertrophiés jusqu'à devenir inutilisables (principalement crocs, cornes), avaient à leur base une fausse interprétation de la nature de ces restes, en effet des individus extrêmement âgés étaient considérés comme des formes caractérisées, normales, sans tenir compte du caractère sélectif de l'enfouissement. Le développement de certains organes et surtout de ceux de la nutrition, de défense et d'attaque, évolue au cours de la vie individuelle, de sorte que l'usure correspond à la croissance. Un type donné de moyens de lutte doit atteindre son effet maximum au cours des années de maturité sexuelle de l'individu. Tout le monde connaît les exemples de croissance des crocs chez le Sanglier, qui sont pointus et puissants chez les adultes, et, par contre, tordus et inutilisables chez les individus âgés, ou la croissance des incisives chez les Rongeurs au fur et à mesure de leur usure, etc ... Les organes de lutte sont prédestinés à une activité très intense, ce qui ne manque pas de se réaliser au cours de la vie de l'animal s'il se trouve dans des conditions d'existence normales. Dans le cas de conditions particulièrement favorables, permettant à l'animal d'atteindre une vieillesse avancée, l'usure devient moins importante par rapport à la croissance, l'équilibre est rompu et la faiblesse croissante de l'individu fait augmenter l'hypertrophie inutile de l'organe. Ainsi, dans le cas de trouvailles d'individus isolés, ayant atteint un âge avancé, nous pouvons observer très souvent des organes hypertrophiés, ce qui, naturellement, n'a rien à voir avec une "hyperspécialisation" et une "inadaptation". Comme exemples on peut citer les trouvailles isolées de Mammoth avec des défenses très fortement recourbées. Dans ce cas il s'agit d'individus extrêmement âgés, chez lesquels les défenses se sont transformées en une charge inutile et c'est à cause de leur âge extrêmement avancé que ces animaux ont été enfouis. Ce genre d'exemples d'hyperdéveloppement de certains organes, considérés comme normaux et caractéristiques de la forme considérée, par suite d'un enfouissement incomplet d'individus exceptionnellement âgés, sont suffisamment nombreux. Pour cette raison, tous les cas de formes "hyperspécialisées" doivent avant tout être analysés du point de vue des conditions de leur enfouissement.

Il est intéressant d'analyser du point de vue taphonomique l'absence de restes plus ou moins complets de l'homme primitif. Si l'affirmation de P.P.Soukhine (1928) suivant laquelle l'homme le plus primitif habitait des régions montagneuses, est exacte, l'absence de

restes est parfaitement normale, étant donné que les faciès des régions montagneuses n'existent que pendant un temps très court et que les dépôts de régions montagneuses (mis à part les formations de dépressions prémontagneuses) sont des infra-faciès, même pour des périodes très rapprochées de nous.

Les dernières découvertes paléontologiques faites en Afrique du Sud et à Java, ont montré la présence de différentes formes voisines des ancêtres de l'Homme. Ce sont des formes pithécanthropoïdes, se distinguant parfois par une épaisseur exceptionnelle des os du crâne et par une taille géante, nettement supérieure à celle des Gorilles actuels (Weidenreich, 1945). Ainsi, nous avons le droit d'affirmer qu'à l'époque où l'homme s'est constitué la diversité de ses formes était plus grande qu'on ne l'imaginait il n'y a pas encore bien longtemps. Donc là aussi les principales lois taphonomiques s'appliquent.

Le principe de la documentation du processus d'évolution des Vertébrés terrestres par les annales géologiques nous oblige à reconnaître l'impossibilité de construire des phylogénèses détaillées et concrètes basées sur le matériel paléontologique pour les plus petites catégories systématiques d'animaux terrestres.

Dans les faunes marines nous observons le phénomène inverse - les phylogénèses concrètes des petites unités systématiques sont documentées d'une façon très complète, tandis que les formes de passage entre subdivisions importantes ou groupes sont tout à fait perdues. Ce phénomène est lié à l'enfouissement très complet de la faune marine immobile, uniquement dans des régions et pendant des intervalles de temps favorables, mais les intermédiaires entre les faunes conservées très complètes, sont totalement détruits. Les formes terrestres mobiles ont la possibilité d'échouer dans la région de sédimentation à partir de différentes régions et de donner ainsi des liens entre les grandes catégories taxonomiques.

Voyons dans ce chapitre encore un aspect important du processus de l'évolution interprété à l'aide des données taphonomiques.

Le progrès biologique des Herbivores terrestres est basé essentiellement sur la nutrition, comprenant l'ensemble des conditions biologiques. Si pour les anciennes formes carnivores la balance totale des biocénoses conjuguées intervient, avec l'apparition des herbivores un important facteur stimulant la diversification des formes d'adaptations est la flore terrestre. Les premiers herbivores connus jusqu'à présent remontent au Permien inférieur, mais nous n'avons pas de données nous permettant de réfuter leur présence au cours des périodes plus anciennes de la vie terrestre, dont nous ne connaissons encore que les Amphibiens. Parmi ceux-ci il n'y a pas de formes herbivores, mais nous connaissons des larves d'Amphibiens s'alimentant aussi de végétaux. Il est possible que les larves des anciens Amphibiens aient utilisé aussi en partie pour leur nutrition la végétation du Carbonifère. Le développement de la végétation terrestre et sa pénétration vers l'intérieur du continent a assuré l'élargissement de la base alimentaire de la faune terrestre, dont l'émigration a commencé un peu plus tard.

La naissance des formes herbivores au sein des anciens groupes de Reptiles a brusquement élargi la base d'alimentation et a rendu possible la formation de nouvelles adaptations d'herbivores et de carnivores à partir des espèces existantes. Pour cette raison l'épanouissement de la végétation terrestre primitive, se manifestant au moins dans les dépôts du Carbonifère, devait inévitablement provoquer de nouvelles adaptations poussées chez les Vertébrés terrestres. L'apparition de fruits comestibles a encore plus élargi la base d'alimentation des Vertébrés terrestres herbivores et a permis aux animaux de

faire usage d'une nourriture plus concentrée - en d'autres termes cette apparition a déterminé une aromorphose nutritielle particulière, libérant ainsi les animaux d'absorber une quantité considérable d'aliments peu nourrissants. Le développement des Vertébrés terrestres se trouve en étroite liaison avec l'évolution de la végétation terrestre. L'importance de la base alimentaire dans l'histoire des Quadrupèdes terrestres se marque dans la structure des Mammifères. Le passage des Reptiles primitifs aux Mammifères actuels, si nous considérons uniquement le squelette et sa partie la plus importante - le crâne, se ramène à l'évolution de l'appareil mandibulaire. Le développement de mâchoires et de dents, rendant capable une assimilation effective (mastication) de la nourriture végétale ou animale, est un progrès fondamental, conduisant des types de Quadrupèdes inférieurs à ceux des Vertébrés supérieurs. La puissance de l'appareil mandibulaire, ayant son expression dans la puissance des muscles de la mastication et la force exceptionnelle des mâchoires, des dents et des articulations maxillaires, chez les Mammifères ou chez les représentants supérieurs des Reptiles carnivores, est dix ou même cent fois supérieure à celle des mâchoires des formes primitives plus anciennes.

L'histoire du développement des plantes terrestres est encore mal connu, ceci étant en bonne coïncidence avec les lois de l'enfouissement. L'évolution de la faune terrestre des Vertébrés (sauf exceptions isolées) n'a pas encore été étudiée en détail, en fonction de l'évolution de la végétation, surtout pour les époques anciennes de la vie sur le continent. Dans ce domaine important la taphonomie peut être extrêmement utile. Avant tout la taphonomie est aussi importante pour les flores terrestres que pour les faunes terrestres. D'autre part, les ultra-faciès encaissant les gisements de faunes terrestres possèdent très souvent aussi des gisements de flores terrestres. Une analyse taphonomique associée de la faune et de la flore peut être très utile pour déterminer le caractère de la végétation dans les régions d'habitat de la faune terrestre.

Chapitre VIII

RECONSTITUTIONS du MODE de VIE des ANCIENS VERTEERES, DES PAYSAGES et des CLIMATS du PASSE; LA METHODE d'ACTUALISME EN TAPHONOMIE.

L'application des données de la paléontologie à la reconstitution des biocénoses et des faciès des anciennes époques géologiques se trouve étroitement subordonnée aux recherches taphonomiques. La morphologie fonctionnelle des anciennes formes, en raison des grandes différences existant entre elles et les formes actuelles, ne peut, souvent, donner d'indications bien définies dans les tentatives d'interprétation écologique de la signification des adaptations observées. Dans ce cas le paléontologiste doit se tourner vers les gisements, car l'étude de ceux-ci est la seconde et dernière voie pour obtenir des données sur les modes de vie et sur les conditions du passé.

C'est à ce moment que le savant paie la négligence séculaire de ses prédécesseurs. La très mauvaise connaissance des gisements se reflète incontestablement sur le caractère extrêmement primitif et

peu formés de nos reconstitutions paléobiologiques.

La majorité de ces reconstitutions sont faites sur des exemples d'actualisme pris au hasard et complétés par des imaginations tout à fait fantastiques. La composition faunistique et floristique des oryctocénoses est confondue avec une biocénose de durée prolongée, tandis que les conditions de faciès de la région sont confondues avec les conditions d'habitat de la faune. Même les travaux les plus récents sont pleins de telles fantaisies relativement à la détermination de la genèse des gisements. Par exemple, le remarquable gisement de *Tritylodon* (formes très voisines des Mammifères théroplétes) situé dans des "poches" de calcaire du Sommerset, Angleterre, a été interprété comme celui de formes carnivores vivant dans des tanières et qui se nourrissaient de *Tritylodon*. Il est facile de constater qu'une telle reconstitution ne peut résulter que de la méconnaissance totale de la genèse des gisements en général.

Analysons en détail le caractère des reconstitutions fausses sur l'exemple des gisements bien connus de Vertébrés terrestres du Permien, situés sur la Dvina du Nord, découverts par V.I. Amilitskii et dont l'analyse paléobiologique a été effectuée à plusieurs reprises aussi bien par des savants russes qu'étrangers. Les reconstitutions couronnées de ces gisements sont solidement admises dans la littérature mondiale. Les lentilles de grès contenues dans les niveaux marnoux contenant la faune de la Dvina du Nord, sont considérées comme des lits de rivières fossiles, traversant une plaine désertique, presque dépourvue de végétation, car dans le gisement on ne rencontre que des feuilles de *Glossopteris* et encore sont-elles assez rares. Dans les reconstitutions de ces gisements on indique les franes de la Dvina du Nord comme représentant des biocénoses désertiques pré-littorales. Les gros *Pariasauriens*, les *Gorgonopsidés* et les *Dicynodactyles* rampent sous le soleil ardent, sur des dunes sablonneuses, avec de rares arbustes souffreteux de *Glossopteris*. Il est étonnant que jusqu'à présent personne n'ait attiré l'attention sur la discordance évidente entre la quantité considérable de *Pariasauriens* et la masse de nourriture végétale disponible dans ces étendues désertiques. Etant donné que dans le gisement il n'y a pas de végétation aquatique, elle n'est pas représentée non plus dans les reconstitutions. À part la structure géologique des gisements, la preuve fondamentale du caractère désertique est la présence du *Stégocéphale-Dvinosaurus*, forme néoténique particulière, équivalente au Permien de l'Axolotl actuel. Cependant, on oublie la présence d'une grande quantité d'autres Quadrupèdes terrestres, possédant des adaptations nettement marquées à une existence au voisinage des rivages, qui n'ont pu se développer que dans les cas d'existence de bassins aquatiques suffisamment étendus et permanents, garantissant une base alimentaire permanente, c'est-à-dire des conditions qui par elles-mêmes ne pouvaient pas provoquer la néoténie des *Dvinosaurus*.

Une étude plus détaillée des gisements de la Dvina du Nord montre que la faune a été enfouie, non pas au lieu même de son habitat, mais dans des branches sous-aquatiques d'un grand delta, où étaient apportés et accumulés les cadavres flottants des Vertébrés terrestres. Ils arrivaient dans le delta probablement au cours des périodes de grandes crues, qui emportaient même les restes d'animaux situés dans de petits bassins temporaires de plaines, d'où pouvaient provenir également les restes de *Dvinosaurus*. Ces grandes crues assuraient l'apport de sédiments sablonneux et le produit de lessivage des sédiments fins du niveau marnoux déposés au cours des périodes intermédiaires. Les restes de la végétation marin fragile, furent brisés, altérés et ne se

sont pas conservés, tandis que les restes moins fragiles de Calamites et de Glossopteris étaient emportés plus loin que les squelettes, se déposant rarement en même temps qu'eux. Il n'y a pas de doute que les grandes crues envahissaient divers districts de la plaine voisine du bassin aquatique et la faune enfouie ne représentait pas du tout une biocénose unique, tout en appartenant à un même domaine écologique. Ainsi, dans le gisement se trouvent réunies des formes habitant sur les rives d'artères aquatiques importantes, dans des marécages riches en végétation, tels les Paréiasaurions, les Dicynodontes et les Gorgonopsidés et, en même temps, des formes vivant dans des plaines sèches, éloignées des cours d'eau, contenant de petits bassins d'eau temporaires, tels les Dvinosaurus et les petits Thériodontes, comme Dvinia. La genèse des gisements de la Dvina du Nord, reconstituée d'après les données très imparfaites de l'étude taphonomique, est totalement différente des reconstitutions généralement admises, non seulement du point de vue des conditions biotiques de la faune, mais aussi en ce qui concerne les conceptions paléogéographiques et paléoclimatiques.

Dans la littérature paléontologique, des reconstitutions semblables à celles du gisement de la Dvina du Nord, sont extrêmement nombreuses. Il est curieux que dans la majorité des reconstitutions nous trouvons, à quelques variantes près, le même tableau des conditions d'existence de la faune et de la formation des gisements, tout à fait identique à l'image de la faune de la Dvina du Nord - une obligatoire rivière, avec des buissons de tollo ou tollo végétation sur ses rives, dans lesquels abondent toutes sortes d'animaux et, un peu éloigné, une plaine désertique nue, avec, parfois, des mares d'eau. Telles sont les reconstitutions de beaucoup de gisements de faune permienne du Karroo et des couches Rouges, ou du Rothliegendes allemand, ou, encore le Trias d'Amérique du Sud. On présente des images identiques pour la majorité des gisements du Secondaire. Seules les reconstitutions relatives au Tertiaire font preuve d'une diversité plus grande des paysages et des végétations, en raison d'une connaissance incomparablement meilleure des flores. Cette analogie particulièrement marquée des reconstitutions pour les gisements du Primaire et du Secondaire, n'est pas un fait du hasard et est due à l'ignorance des processus de formation des gisements de faunes terrestres et des gisements eux-mêmes. Il est évident que nos notions étant tout à fait primitives, nous ne pouvons reconstituer que certains traits principaux de la structure, se reproduisant en gros dans tous les gisements. Les caractères sont communs pour les gisements importants enfouis dans de puissants niveaux deltaïques, ou des niveaux d'autres ultra-faciès des régions de plaines typiques des époques anciennes des annales géologiques. Les couches ossifères contiennent en général, en petite quantité, des restes fossiles altérés de végétaux, ou des troncs déracinés érodés, apportés de loin par flottaison, ces grosses branches sont en général incluses dans des districts de roches "mortes". Cela explique, en particulier, la notion répandue des plaines toujours désertiques (roches "mortes"), caractéristique des reconstitutions de la vie terrestre du Paléozoïque et du Mésozoïque. Les gisements plus variés des infra-faciès du Cénozoïque, fournissent, même dans le cas d'une étude superficielle, plus de matériel pour juger des conditions d'habitat des animaux et conduisent, par conséquent, à des reconstitutions plus "vivantes".

Une erreur fondamentale répandue dans les constitutions des anciennes périodes de la vie terrestre est l'absence totale de la moindre notion sur la caractéristique des régions où se fait l'enfouissement.

Il faut se rappeler toujours que les gisements du Paléozoïque et beaucoup de gisements du Mésozoïque représentent dans la majorité des cas des éléments organiques transportés sur de grandes distances, depuis l'aire d'habitat jusqu'aux importants bassins aquatiques de sédimentation. Au cours de ce transport se trouve perdue la presque totalité de la végétation et la quantité qui résiste est insignifiante par rapport à la quantité de roches encaissantes, qui, ainsi, demeure "azoïque" sur sa plus grande étendue. Cependant, la réalisation de ce niveau "azoïque" se produit dans des conditions n'ayant rien de commun avec le caractère "désertique", l'absence de vie, la "sécheresse" et la "chaleur" qu'inventent notre imagination. Au contraire, la plus grande partie des niveaux "morts" est déposée au-dessous de l'eau et, en tout cas, dans un milieu où les eaux sont abondantes.

Les notions de plaines désertiques, sans vie, dominent, non seulement dans les reconstitutions de la vie terrestre, mais sont aussi très répandues en paléogéographie et en paléoclimatologie. C'est de là aussi que vient la conception consistant à considérer la majorité des dépôts continentaux comme des formations désertiques; l'hypothèse de l'extension large des déserts au cours des périodes géologiques anciennes, en particulier au Dévonien et au Permien, sur l'existence d'un climat sec et chaud et, encore beaucoup d'autres, viennent de la même source. Comme exemple d'erreurs répandues dans les reconstitutions paléogéographiques basées sur les gisements de Vertébrés terrestres nous pouvons citer les recherches des expéditions américaines en Mongolie. En se basant sur une analyse superficielle d'un des gisements (Bain-Dzak), se distinguant de plus par un faciès particulier, les savants américains ont conclu unanimement à un continent désertique mongol au cours du Crétacé. De là ils ont ensuite conclu à l'absence de faunes riches et variées de gros Dinosauriens caractéristiques de sédiments lacustres dans les autres pays. Un autre gisement important (Iron-Davassau) s'offrait aux chercheurs comme un champ de bataille entre Dinosauriens, en raison de l'insuffisance d'eau dans une plaine désertique (Andrews).

Les paléontologistes soviétiques sont partis dans leurs recherches sur les gisements mongols, de conceptions taphonomiques. Les résultats furent les découvertes de riches faunes de gros Dinosauriens, contenant tous les constituants typiques. Ainsi, l'image du régime physico-géographique du continent mongol au Crétacé fut modifiée.

Sans parler des erreurs répandues dans la reconstitution des conditions physico-géographiques et climatiques du passé, d'après les cadavres flottants de Vertébrés terrestres, qui peuvent être emportés très loin de leur lieu d'habitation, nous pouvons signaler les erreurs plus difficiles à déceler, dues à une estimation erronée des conditions d'enfouissement. Ainsi, dans beaucoup de gisements, la présence d'une flore de caractère xérophyte, nous oblige à supposer l'existence d'un climat sec, coïncidant souvent bien avec le caractère "désertique" des "plaines" du passé, que nous observons. Comme exemple, on peut citer les dépôts deltaïques du Permien supérieur du Pré-Oural occidental - grès cuprifères et autres faciès. Une étude approfondie de la pétrographie des roches composant ce niveau, parallèlement à l'étude des Vertébrés terrestres, nous fait prévoir une arrivée abondante d'eaux descendant des sommets neigeux de l'Oural et formant la puissante zone de sédiments deltaïques. Mais les restes de flore provenant de ces gisements présentent un caractère nettement xérophyte, ce qui oblige à admettre la prédominance d'un climat sec pendant la période de dépôt des grès cuprifères. L'étude taphonomique de cette contradiction a montré

que la majorité des restes végétaux offre un très mauvais état de conservation. Le plus souvent ils sont réduits à l'état de détritux végétaux. Les restes relativement rares de plantes xérophytes offrent un meilleur état de conservation. Cela est dû à la résistance de leurs enveloppes externes, qui protègent certaines parties du végétal. Les plantes aquatiques, au contraire plus délicates, se sont décomposées, ou se sont détruites au cours du transport. Ainsi, les plantes provenant de régions voisines de celle où l'érosion se produit ne se trouvent pas conservées. Les xérophytes poussant dans les districts sub-aériens du delta, formant souvent de petites superficies de caractère semi-désertique, se sont conservés et emportés par l'érosion ou les grandes crues, enfouis ensuite, créent l'aspect nettement xérophyte de la flore. La signification de la taphonomie pour résoudre les questions concrètes de paléontologie, identiques à celles que nous venons de voir, est inappréciable.

La présence de sel ou de gypse dans les anciens dépôts, était en général admise comme preuve du caractère désertique du climat. Mais l'étude des phénomènes actuels, dans certains cas particuliers, montre une précipitation de sel et de gypse, dans des conditions climatiques favorables. Par exemple on connaît des dépôts actuels de sel et de gypse sur les atolls de Coraux de Malden et de Jervon, situés près de l'équateur, dans des conditions climatiques marines, humides. L'évaporation active, nécessaire à la précipitation du gypse, est réalisée grâce à l'association des vents alizés, assurant une absence totale de pluies sur les îles. Sur la bordure de l'extrémité nord du golfe de Californie, dans l'Imperial Valley, le delta du Colorado coupe un angle du golfe qui est actuellement rempli de sel. Une vie animale et végétale abondante et une masse d'eau douce se trouvent ainsi au voisinage immédiat de lagunes dans lesquelles s'accumule le sel. De tels phénomènes ont pu exister également dans le passé et, pour cette raison, la réalisation de recherches paléoclimatiques plus précises, la présence de massifs de sel ou de gypse, de dimensions relativement restreintes, n'est pas un indice suffisant et là aussi, la taphonomie doit intervenir dans l'interprétation des gisements de la région considérée.

La paléoclimatologie et la paléogéographie des continents des époques les plus anciennes de la vie terrestre, est rendue difficile par la destruction des infra-faciès; pour résoudre des questions de ce genre on doit donc tenir compte de toutes les lois de conservation des niveaux sédimentaires dans le temps et des lois de formation des gisements. Divers fragments de zones d'ultra-faciès continentaux, disloqués et sensiblement érodés par les dénudations ultérieures, peuvent créer l'impression d'aires d'habitats disjointes (dans le cas de synchronisation exacte), si on étudie les restes de faune et flore contenus dans ces faciès. Une synchronisation erronée nous conduit à la conception de faunes reliques, ou ayant migré sur des distances considérables. Les faunes de Reptiles du Permien du type de Gondwana (à aspect de carnivores), dont un représentant typique est la faune sud-africaine du Karroo, illustre bien ce que nous venons de dire. Ces riches gisements de faune gondwanienne, trouvés, en plus de l'Afrique, en URSS, en Amérique du Sud et aux Indes, étaient considérés comme dus à des migrations. Les distances considérables, pouvant atteindre jusqu'à 100° de latitude, qui figurent sur les schémas paléogéographiques, n'étaient pas prises en considération. Les découvertes ultérieures de faune gondwanienne en Afrique centrale et orientale, en Asie centrale (Sintzien) et de Sibirie du Sud (Kouzbass), en Chine et en Indochine, ont considérablement élargi les "îlots" initiaux et ont

montré qu'il s'agit en réalité d'une faune d'extension très large, se rapportant à une importante zone climatique - zone tempérée du Permien. De nouvelles découvertes montreront probablement une extension encore plus large de la faune gondwanienne.

Du point de vue taphonomique, l'absence de gisements dans les régions géographiquement intermédiaires, non seulement ne peut pas signifier une dislocation des aires d'habitat, mais, au contraire, elle peut prouver la continuité de cette aire. L'arène fondamentale de la vie des faunes terrestres - la surface subaérienne du continent - ne se conserve pas au cours du temps, demeure "vide" et, seuls, les ultra-faciès de part et d'autre du continent, contenant des gisements de faune, qui appartient souvent à une même région zoogéographique. Ce fait est particulièrement caractéristique pour le Paléozoïque et le Mésozoïque, à cause du caractère per-tramolé des zones climatiques des anciennes périodes par rapport à la période actuelle, qui est une ère glaciaire non achevée. Les lois de conservation des niveaux sédimentaires continentaux et des restes de flores et de faunes terrestres au cours du temps, nous obligent à reconsidérer la question des aires continentes et des liens existant entre eux. L'étude de ces questions ne fait pas partie de ce travail, mais il est nécessaire de faire remarquer que les lois de formation des archives géologiques sont, dans leur ensemble, contre l'épéirophorèse ou dérive des continents. Beaucoup de faits semblent témoigner en faveur de l'existence de l'épéirophorèse peuvent être expliqués, du point de vue des lois de la litho-leimonomie et des données de la paléoclimatologie, recevront des lumières toutes nouvelles, d'une analyse détaillée des conditions de formation des gisements de faune et flore. Les glaciations importantes du Carbonifère supérieur, parlant en faveur d'un climat relativement humide et froid au début du Permien, d'après l'extension des ultra-faciès glaciaires (tillites), ressemblent beaucoup plus aux glaciations de hautes montagnes ou de plateaux élevés, qu'aux glaciations polaires englobant toutes catégories de régions possibles. En effet, les faciès à tillites prennent une disposition zonale et se sont formés probablement par suite d'une disparition des places dans la mer, d'où accumulation de matériel morainique à un niveau situé au-dessous de la base d'érosion. Ce caractère des faciès à tillites correspond exactement à la loi de conservation des ultra-faciès situés près de la base d'érosion et montre, d'une part, l'importance du processus et, d'autre part, le fait que les tillites sont des parties des zones d'ultra-faciès des continents de l'époque considérée. Les recherches géologiques effectuées au cours de ces dernières années ont déjà permis de trouver des tillites du Permo-Carbonifère dans divers endroits de l'hémisphère Nord, par exemple en URSS, dans l'Oural et au Kazakhstan oriental (chaîne de Saïur). Nous pensons que des recherches ultérieures montreront une extension encore plus large de ces tillites. Si on prend en considération la disposition géographique des points-limites de travaux de traces de la glaciation permo-carbonifère (50°N et 50°S), on est amené à supposer qu'il s'agit de glaciations de hautes montagnes, largement répandues sur toute la surface terrestre, de hautes élévations continentales existant à la limite du Permien et du Carbonifère. Dans les cas où les districts élevés des continents se situaient près de la mer, c'est-à-dire qu'il se produisait une nette diminution de largeur de la zone de conservation des faciès continentaux, les glaces d'importants glaciers descendaient directement dans l'océan, y déposant les ultra-faciès de tillites. Ces ultra-faciès se sont conservés dans le temps, donnant des districts maintenant disloqués, prenant souvent une extension difficilement explicable du point de vue de la glaciation

générale. Les tillites des glaciers moins importants, même s'ils sont situés dans la zone de conservation, c'est-à-dire au-dessous de la base d'érosion, ou dans son voisinage, ont été systématiquement détruits, ou seulement conservés sous forme de petites régions, que seules des recherches géologiques minutieuses permettent de découvrir maintenant. En tout cas, il est d'un intérêt considérable de reconsidérer les données relatives à la glaciation permo-carbonifère du point de vue de la litholeimonomie et cela présente beaucoup d'importance pour l'analyse et l'évolution de la faune terrestre. Actuellement, on peut considérer comme démontré que la faune nombreuse et variée des Reptiles gondwanions, à aspect de carnivores, ayant donné naissance aux Mammifères et ayant constitué un type d'animal à sang chaud, s'est précisément développé dans la zone d'extension des glaciations permo-carbonifères. L'influence du climat de cette époque sur l'évolution des Vertébrés terrestres est incontestable. Pour cette raison, l'étude de la question extrêmement complexe des glaciations du Permo-Carbonifère à l'aide de la litholeimonomie et de la taphonomie, s'impose.

Dans toutes les questions dont s'occupe la paléontologie: reconstitutions de la vie terrestre primitive, conditions d'habitat, géographie et climatologie du passé, nos connaissances beaucoup trop sommaires des variétés en nombre considérable des niches écologiques et des conditions de faciès de la sédimentation actuelle, se fait sentir cruellement.

Ainsi, nous ne savons pas encore distinguer des sédiments de caractères analogues, mais de genres différentes. Pour cette raison, la diversité des sédiments actuels est extrêmement réduite pour nous, par suite de l'absence de données suffisantes; les divers sédiments fossiles nous semblent également avoir tous le même "visage". Le manque de finesse de la plupart des méthodes d'étude des sédiments explique l'interprétation trop simpliste qu'on donne de leur genèse, faisant ainsi grand tort à la plupart des constructions paléogéographiques et paléoclimatologiques.

Etant donné que la taphonomie et la litholeimonomie travaillent sur le développement historique et les propriétés minutieusement étudiées de la formation des sédiments, elles sont obligées de vérifier leurs données par la méthode de l'actualisme, c'est-à-dire l'étude des processus de sédimentation actuels et de la destruction actuelle des sédiments sur les continents. Mais, étant donné que ces deux branches de la géologie historique et de la paléontologie s'intéressent à l'évolution des documents, les annales géologiques, au cours des temps, depuis les époques très éloignées, on doit tenir compte du principe de la non répétition, de la spécificité des processus géologiques, au cours des différentes périodes de l'histoire de la Terre et de la Vie.

Pour les recherches théoriques basées sur les méthodes d'actualisme, ce principe semble réduire beaucoup trop les possibilités d'utilisation des données actuelles pour l'étude des très anciennes périodes de l'histoire géologique. Par conséquent, nous nous arrêterons un peu plus en détail sur le principe de la non répétition.

Aux environs de l'année 1930 on a observé en géologie une vague de critiques contre l'actualisme vulgaire, fortoment répandu jusqu'alors dans les recherches géologiques. Des géologues éminents ont élevé une critique véhémement contre le principe d'actualisme (Kayser; von Bubnov, 1935; Koummerov, Salomon-Calvi, 1918, 1916, 1933, etc ...) et ont essayé de montrer que toute une série de processus géologiques des anciennes périodes de l'histoire terrestre n'a pas d'équivalents

à l'époque actuelle. Il est évident que si l'on considère le développement des faciès comme une suite de phénomènes qualitativement différents et l'apparition de faciès effectivement nouveaux, comme comparables à l'évolution de la vie, il faut alors arriver à cette notion qu'un certain nombre de phénomènes du passé géologique 'éloigné' sont irréproductibles et différents des phénomènes actuels. Il faut cependant signaler que dans ce problème la question des dimensions ou du degré de ces phénomènes irréproductibles est extrêmement important.

Dans la critique du principe d'actualisme nous nous heurtons aussi à la conception simplifiée de l'irréproductibilité des phénomènes passés, qu'il faut également éviter; au même titre qu'un actualisme non moins vulgaire. D'autre part, dans cette manière d'interpréter le principe de non répétition géologique, la possibilité d'erreur est beaucoup plus grande que dans le cas d'utilisation d'un actualisme simplifié.

La cause de ces notions erronées est, en partie, cette ignorance de la destruction dans le temps, la perte de la perspective des temps, dont nous avons parlé plus haut. Ainsi, beaucoup de chercheurs actuels soulèvent la question de la complication du relief du globe terrestre au cours des époques géologiques en s'appuyant sur le fait universellement connu de la répartition différente des faciès continentaux au cours des différentes périodes géologiques. Les périodes anciennes se caractérisent par une large extension d'un nombre relativement faible de faciès, tandis que pour les périodes récentes il y a accroissement du nombre, de la diversité des faciès, leurs dimensions devenant moins importantes. Il est facile de voir que cette propriété est une conséquence de la loi lithoclimonomique de la conservation des gros faciès et de l'élimination des petits. De même, la thèse de l'absence de certains faciès fossiles dans le monde actuel, ne peut pas se défendre. En partant de la loi de périodicité de la sédimentation, nous devons considérer la sédimentation actuelle comme un processus en voie de développement, pouvant donner à l'avenir à des types de sédiments identiques aux faciès fossiles "irréproductibles". L'étude de la non répétition des processus géologiques du passé doit être comprise dans des limites déterminant le degré de différence entre le processus du passé et du présent. Voyons les données théoriques relatives à ces limites.

Il faut avant tout remarquer que pour l'intervalle de temps considéré de l'histoire géologique de la Terre (milieu du primaire jusqu'à l'époque actuelle) nous n'avons pas de preuves catégoriques de différences réelles entre les conditions des phases des milieux physico-géographiques à la surface de la terre autrefois et maintenant. De plus l'existence d'animaux terrestres compliqués, brutalement organisés, possédant une structure à peine différente des structures se trouvant actuellement dans les systèmes fondamentaux d'organes, montre que les conditions du milieu extérieur, en moyenne, correspondaient aux conditions actuelles. Les organismes terrestres, tels les Vortébrés, les Insectes, les Végétaux supérieurs, sont des réactifs très sensibles au milieu extérieur. Ayant étudié la structure de ces organismes, ayant expliqué les types d'adaptations au cours des subdivisions des différentes époques, nous avons le droit d'affirmer que des facteurs, tels que les limites moyennes de températures, les conditions d'éclairage solaire et les propriétés des radiations, la pression atmosphérique, la force de gravitation, la vitesse de rotation de la Terre, la quantité d'eau, etc ... n'ont varié que de façon tout à fait insignifiante au cours des centaines de millions d'années de l'histoire du monde.

Une partie appréciable de tous les gisements de Poissons cuirassés appartient à ces faciès des Old-Red.

Tels sont les gisements les plus anciennement connus d'Ecosse, d'Angleterre (Pays de Galles), Norvège (Oslo), Belgique (Namur), région du Rhin, en Europe, Acadie, Nouvelle-Ecosse, Catskill, baie de Scaumack, etc ... en Amérique.

Les importants gisements de la plate-forme russe dans la région de Leningrad, de Pskov et de Novgorod et de la région de la Baltique appartiennent à ce même type, mais se distinguent par un caractère un peu différent, relatif à leur situation dans le domaine d'un bassin marin de plate-forme et non sur la limite d'un géosynclinal, comme cela s'observe pour la majorité des cas énumérés ci-dessus. La vitesse de sédimentation étant plus faible, dans les gisements russes, l'épaisseur du niveau ossifère est sensiblement moins importante et son caractère continental est moins manifeste, ce qui s'explique également par l'éloignement important des massifs montagneux. Ce sont des dépôts de grandes lagunes, pénétrant en biseau loin dans les dépôts marins et s'intriquant souvent étroitement avec ces derniers.

Dans les gisements du type des Vieux-Grès-Rouges on trouve beaucoup de restes de Poissons appartenant aux groupes des Céphalaspides et des Ptéraspides, des Crossoptérygiens, des Thelodontides, des Acanthodii, des Dipneustes et des Arthrodiros primitifs.

Dans les gisements du Dévonien supérieur on observe une prédominance des Bothriolopis, la forme la plus nombreuse et la plus répandue dans presque tous les gisements, ainsi que de gros Crossoptérygiens et des Dipneustes.

Ces restes sont en parfait état de conservation, surtout sur la plate-forme russe; ceci a facilité l'étude de ces formes.

Dans la majorité des gisements typiques des faciès rouges, les restes osseux sont de couleur claire, à surface bien conservée, indiquant un enfouissement rapide. En même temps, les restes bien que totalement fossilisés sont déplacés et dépareillés, entassés les uns sur les autres, donnant des couches intercalaires à caractère de brèches.

A côté des Poissons on rencontre des quantités importantes d'Euryptéridés, de petits Brachiopodes ouryhalins (Lingulidés), ainsi que des Conulaires, des Lamolibranches anciens, parfois des Myriapodes. Il y a beaucoup de restes de plantes terrestres (Psilophyton, Rhynia, Hornea etc ...). Parfois on trouve des couches intercalaires riches en Brachiopodes typiquement marins.

Mise à part l'URSS, où les travaux de D.V. Obroutchev et R.F. Hecker ont fourni beaucoup de données sur la structure et la genèse des gisements il n'y a pas eu et il n'y a pas encore d'études systématiques sur ces riches gisements.

A part le faciès des Vieux Grès Rouges, les gisements de Poissons du Dévonien se rencontrent encore dans des sédiments plus typiquement marins. Les plus répandus sont les schistes noirs et les calcaires dolomitiques déposés parmi les niveaux calcaires riches en restes d'Invertébrés marins. Tels sont certains gisements de Rhénanie, beaucoup de gisements d'Amérique du Nord (Black Smith, Dévonien inférieur; Onondaga, Hamilton, Mineola, etc ... du Dévonien moyen; les gisements remarquablement riches du Dévonien supérieur du lac Keweenaw, Etat de New-York; les schistes d'Attique dans la région de Buffalo; les schistes huroniens dans l'Ohio; les schistes de Cleveland, le plus riche de tous; au Canada, les grès de la baie de Gaspé).

Dans tous les gisements d'origine marine prédominant, parmi les Poissons, les Solachii, représentés essentiellement par les genres *Cladodont*, *Stethacanth* et *Stethacanth* du groupe des Cladodontidae, ain-

vivant terrestre. Pour cette raison l'évolution générale des processus de sédimentation et d'un certain nombre de types fondamentaux de roches sédimentaires, est, en gros, de même signe au cours de toutes les époques géologiques pour l'intervalle de temps considéré. Ceci est particulièrement important pour l'analyse de l'origine du "squelette" fondamental de chaque roche sédimentaire (à l'exception des roches purement chimiques) - c'est-à-dire du matériel sédimentaire clastique et, par conséquent, des restes organiques tombés dans ces sédiments. Voilà pourquoi les lois de la sédimentation actuelle sont extrêmement utiles à la taphonomie. C'est dans ce sens que doivent être limitées les tendances de l'actualisme.

La question des exsudats syngénétiques contenus dans les roches sédimentaires est un peu plus complexe. Mais ici aussi, on peut montrer que beaucoup de roches sédimentaires anciennes, considérées par les savants allemands anti-actualistes, comme des types "irréproductibles" sont, en fait, des types de faciès qui se répètent régulièrement en fonction de certains processus tectoniques. Tels sont, par exemple, les grès cuprifères du Préourel, dépôts deltaïques enrichis en cuivre, de l'eurylithème permien. L'apport de cuivre dans les roches sédimentaires s'est fait à la suite de la destruction d'un superficie considérable de roches riches en cuivre, au cours de l'érosion de certaines zones de l'Oural. Dans les conditions tectoniques locales, la destruction des gisements cuprifères a coïncidé avec l'accumulation des produits de cette destruction dans l'eurylithème permien du Préourel - ultra-faciès typique, dans lequel les combinaisons de cuivre se sont conservées. On observe un phénomène identique (transport de combinaisons du cuivre sur une plus grande distance) dans les schistes cuprifères de Mansfeld; qui, en général, sont considérés comme des types de sédiments "disparus".

D'après ce qui précède nous pouvons affirmer que les différences de processus de sédimentation au cours des diverses époques géologiques, du point de vue de la base hydrodynamique de la sédimentation et des processus fondamentaux de la diagenèse ne peuvent pas être considérés comme irréproductibles. Il faut évidemment admettre que dans les propriétés secondaires des sédimentations de diverses époques, des différences irréproductibles ont pu exister. Cependant, il est évident que ces différences ne peuvent se manifester que dans les caractères de détail de la structure d'une roche sédimentaire, sur le fond commun assez semblable des différents types de roches. Comme exemple on peut citer les dizaines de types de roches argilo-sableuses provenant des dépôts deltaïques d'âges tout à fait différents; les argiles noires des petits bassins d'eau douce et des baies profondes de salinité élevée, qui, dans un cas comme dans l'autre sont tout à fait identiques aux argiles noires de l'Oligocène et du Jurassique supérieur. La simple énumération d'exemples de ce genre pourrait remplir beaucoup de pages et englober la plupart des types de sédiments étudiés. Les traits fondamentaux, c'est-à-dire le "squelette" clastique des roches sédimentaires, déterminant le type de sédiment dans les limites de nos connaissances encore superficielles, se reproduisent dans un très grand nombre de roches. Tout ceci montre la reproduction réitérée des combinaisons fondamentales des facteurs de sédimentation et de lithogénèse. Cela prouve que les conditions qui, pour nous, sont déterminantes pour le type de roches considérées, sont répandues dans des milieux de sédimentation extrêmement variés extérieurement, ne différant que du point de vue quantitatif.

Par conséquent, pour trouver des processus irréproductibles de la sédimentation ancienne on doit faire une étude beaucoup plus détaillée

des roches sédimentaires que celle qui a été pratiquée jusqu'à présent. Il faut admettre que pour expliquer les propriétés de la genèse des roches, ce qui est important est la composition des exsudats syngénétiques et non pas le matériel fondamental élastique et biogène, qui ne manifeste que les conditions de transport, ou, plus rarement, celles de la dénudation des roches initiales.

Dans la détermination du degré d'influence des facteurs climatiques du passé sur le caractère de la sédimentation il faut également admettre que ces facteurs ne pouvaient pas exercer une influence considérable sur les facteurs fondamentaux de la sédimentation.

Dans sa critique de l'anti-actualisme en paléoclimatologie, Kornor-Marilaun (1934) écrit: "Tant qu'il s'agit de gros facteurs climatologiques il n'y a visiblement aucune raison de refuser la méthode d'actualisme. Il ne faut pas oublier que l'intervalle de temps géologique, comprenant l'histoire de la faune et de la flore des annales géologiques, malgré la durée considérable des phénomènes, ne représente qu'une petite partie de la période d'existence de la Terre en tant que planète et du Soleil. Par conséquent, les variations qui se sont produites ne pouvaient pas être importantes et on conçoit mal pour le Permien des conditions de sédimentation sensiblement différentes des actuelles, par exemple une érosion mécanique plus rapide sous l'influence d'un soleil plus actif. Il n'y a pas de raison non plus pour affirmer que les masses d'eau et les rapports des parties constitutives de l'air aient pu être sensiblement différents au cours du Paléozoïque inférieur de ce qu'ils sont aujourd'hui.

Actuellement, les dépôts marins portent l'empreinte caractéristique des eaux polaires froides, car les vastes espaces du fond de l'Océan sont accessibles à ces eaux. Les formes du relief ayant eu une disposition différente dans le passé il a pu se former des dépôts marins d'un caractère différent de ceux d'aujourd'hui. Si dans le passé la répartition des terres était différente, avec des continents d'une autre forme, dans les régions polaires il aurait dû se former un abondant courant d'eaux chaudes empêchant la formation des masses de glace. De même, les contours des continents, comme l'ont montré les recherches actuelles, influent considérablement sur la répartition des cours d'eau de surface et des courants marins. Ainsi, les extrémités pointues des continents de l'hémisphère sud, pénétrant dans l'Océan, conditionnent des vents forts et permanents et sont appelés, à juste titre, caps "des tempêtes", par les marins. Un continent identique à celui de Gondwana du Paléozoïque supérieur, s'étendant depuis l'Australie jusqu'à l'Amérique du Sud en passant par l'Afrique du Sud, devrait provoquer un fort refroidissement dans le bassin polaire du Sud. Toutes ces conditions différentes des actuelles pourraient avoir une influence réelle sur la répartition de la flore et de la faune et des différents types de sédiments sur la surface du globe; en d'autres termes cela doit rendre difficile l'analyse des conditions physico-géographiques générales. Cependant, les différences de répartition géographique des faciès et des biotypes variés, entre les époques anciennes et actuelle, peuvent être considérées comme négligeables par rapport au problème tout à fait concret du processus de la formation des gisements (on tant que première étape nécessaire à l'accumulation de données pouvant conduire à des constructions plus larges). Les lacunes considérables de nos connaissances des traits caractéristiques de la structure de la surface terrestre dans le passé ne nous permettent pas de situer le problème, même lorsqu'on recourt à des considérations générales fort astucieuses. La précision scientifique des schémas paléogéographiques "généraux" et des comparaisons paléoclimatologiques est encore à un niveau beaucoup

trop bas, car ils sont toujours basés sur des extrapolations très larges à partir d'un ensemble insignifiant de faits.

L'étude des processus fondamentaux de la formation des roches sédimentaires, dans chaque cas concret de l'accumulation de sédiments, d'un gisement donné, nous impose de partir d'un matériel de comparaison plus étroit et parfaitement réel, analogue à un type de sédimentation actuel, en dehors de toutes considérations climatologiques et géographiques. Pour cette raison, l'affirmation de Kummorov (1932) sur le caractère anormal des conditions climatiques actuelles, exacte dans son ensemble, ne peut pas être admise sans réserves préliminaires, en vue de faire une analyse comparée des sédiments du passé et du présent, étant donné que nous vivons dans une période glaciaire encore inachevée. La non répétition des conditions de sédimentation des dépôts continentaux anciens est étudiée dans les travaux de l'un des plus éminents anti-actualistes, Kaiser (1933). D'après lui, au cours des plus anciennes périodes de l'histoire de la vie, quand la Terre n'avait encore pas de couverture végétale (Cambrien, Silurien et Dévonien), les phénomènes d'érosion des roches sur les continents devaient avoir un caractère totalement différent. Ces anciens déserts, illimités, facilitaient l'extension considérable d'une rapide érosion mécanique. Sous l'influence des pluies, fortes et fréquentes, de vastes torrents de boue se formaient, avec accumulation d'un matériel détritique grossier. Un tel désert ancien, à l'inverse des actuels, était une région d'érosion; en l'absence d'humus les eaux du sol devaient être alcalines et, par conséquent, d'un chimisme totalement différent - l'hydrolyse et la dissolution jouaient un rôle insignifiant. Par conséquent, les dépôts clastiques fins, concassés par l'érosion physique, étaient chimiquement à peine différents les uns des autres. Tels sont, par exemple, les argiles stratifiées du Paléozoïque inférieur et les schistes argileux de la même époque à teneur élevée d'alcalis, ce qui est en relation avec la destruction de schistes cristallins. Kaiser les considère comme des sédiments éolo-aquatiques, de caractère alphitique. Ce même auteur estime que les grauwackes sont des cailloutis plusieurs fois remaniés, provenant de déserts anciens.

Les grès arkosiques du Paléozoïque sont des masses de sables désertiques apportés par les eaux dans la mer ou dans des lacs. La position défendue par Kaiser au sujet de l'absence de couverture végétale au Paléozoïque inférieur, comme facteur favorisant l'érosion, est, en fait, un comportement actualiste primaire, car elle se base sur l'état actuel des processus atmosphériques. Les précipitations actuelles et les mouvements tourbillonnaires de l'atmosphère, sont dus aux différences de températures entre le pôle et l'équateur par suite de la glaciation des régions polaires.

Au contraire, dans le passé géologique, nous observons une prédominance des périodes d'absence de glaces polaires. Les époques de glaciation étaient relativement brèves par rapport à la durée totale, considérable, des temps géologiques. Par conséquent, il serait plus juste de supposer que la plus grande partie des dépôts s'est formée sous un climat plus égal que l'actuel. D'après Sandberg (1932) la reconstitution des conditions de l'ancien désert, résultant de causes non climatiques, en se basant sur les climats secs actuels, serait un non sens, car là aussi cette reconstitution se fait d'après le pur principe d'actualisme, qui, de surcroît, est mal utilisé. Dans la reconstitution des déserts il faut tenir compte des régions humides actuelles, dépourvues de végétation, comme on en rencontre actuellement à des latitudes élevées ou sur de hautes montagnes tropicales où,

malgré l'abondance des pluies et des brumes, la végétation ne peut pas se développer. Si dans de telles régions actuelles, les conditions ne peuvent pas être comparées à celles des déserts anciens, on pourrait alors affirmer que le principe d'actualisme n'a pas d'intérêt. D'après Sandberg, au contraire, dans une telle comparaison on observe une analogie étonnante. De même, le caractère alcalin des terrains est discutable, étant donné que l'érosion étant intense, le rôle des acides minéraux devait s'accroître.

Enfin, la caractéristique tectonique des régions de sédimentation anciennes, considérées par Kaiser, est tout à fait incongrue. Il est évident que la formation dans des conditions de régions de plate-forme ou de géosynclinal est d'une importance capitale pour la caractéristique des processus d'accumulation de ces sédiments.

Ainsi, en voulant faire la critique de l'actualisme beaucoup d'auteurs commettent des erreurs graves car ils font une sélection insuffisante des conditions du passé analogues à celles d'aujourd'hui. Une telle critique montre à merveille l'insuffisance de nos connaissances des conditions de sédimentation actuelles. De même, les premiers chapitres, nous ont montré que la possibilité existe que certains faits nous permettent de supposer la possibilité d'un développement précoce d'une couverture végétale sur les continents du Primaire et que cette question est encore loin d'être résolue. En tout cas, avec une bonne part de vraisemblance on peut supposer qu'au cours de la période considérée, c'est-à-dire depuis le moment du développement d'une faune terrestre suffisamment abondante pour qu'elle puisse subir l'anfouissement, et s'enregistrer dans les annales géologiques, la couverture végétale existait déjà, donc, à plus forte raison, pendant le Dévonien, dont les sédiments sont analysés par Kaiser. En ce qui concerne les processus d'enfouissement à proprement parler de la faune terrestre, ils dépendaient incontestablement du développement supposé des déserts anciens, qui, s'ils ont existé doivent remonter à des périodes très anciennes. Je ne m'arrêterai pas sur les objections anti-actualistes concernant, soit des variations importantes de la composition de l'atmosphère, soit des variations brusques d'ordre cosmique, car toutes ont été soit rejetées par les données actuelles, soit ne peuvent être vérifiées par les données actuellement à notre disposition. Le changement du caractère de la radiation solaire, ou surtout du rapport des ondes lumineuses de longueurs différentes, donnant, d'après Wilser (1931) des maximum et des minimum pour les radiations U.V., son influence sur la Terre est limitée, de sorte que, même si elle exerce un effet quelconque sur le développement du monde organique, elle ne peut pas influencer la sédimentation, si non la vie elle-même prendrait fin.

Le principe d'actualisme rencontre des difficultés beaucoup plus sérieuses dans l'interprétation des phénomènes tectoniques. Si les dimensions et l'étendue de beaucoup de processus de sédimentation peuvent s'expliquer comme la somme de nombreux petits phénomènes, agissant pendant une très longue durée, cette explication ne s'applique pas toujours aux processus tectoniques. Les blocs et les fossés importants, par exemple, ne se prêtent pas toujours à ce genre d'explication et sont probablement la conséquence de l'action de forces considérables au cours de périodes relativement courtes, forces dont nous ne trouvons pas l'équivalent dans la période beaucoup trop brève d'une existence humaine. Les processus tectoniques se rattachent très étroitement aux processus de sédimentation et, pour cette raison, l'analyse, par exemple de la vitesse de sédimentation, rencontrera des difficultés considérables, par suite de ce que nous venons de dire. D'une façon générale il faut reconnaître que le principe d'actualisme dans l'étude des phénomènes

nes géologiques du passé promet le maximum de succès si on l'applique avec prudence. En ce qui concerne les processus de formation des gisements, les questions de mort et de dynamique des populations animales, les conditions d'habitat, etc ..., le champ étant relativement plus étroit, la méthode d'actualisme apparaît comme fondamentale. La lutte entre la méthode d'actualisme en géologie et en paléontologie et l'actualisme orthodoxe, va continuer probablement au cours du futur développement de ces sciences. L'action mutuelle des deux tendances approfondira considérablement nos connaissances sur le passé et permettra de mettre à jour les erreurs de la méthode et de l'interprétation des faits observés.

Il est vraisemblable que les conditions de la sédimentation ancienne avaient leurs propriétés spécifiques, non tellement en ce qui concerne les lois fondamentales de la formation des roches sédimentaires, que dans les combinaisons complexes des facteurs déterminant les caractères des sédiments. De telles combinaisons ont pu se former plusieurs fois au cours des temps, différant les unes des autres par certains caractères qui ne se sont pas répétés par la suite. Les propriétés de chaque combinaison de facteurs, ont laissé leur empreinte dans le faciès de la roche formée, mais échappent presque toujours aux méthodes de recherche élémentaires. De ce point de vue, la non répétition de beaucoup de roches est réelle. Si nous pouvons parler avec une certaine part de vérité de types de paysages disparus, il est beaucoup plus difficile de déterminer les types de roches disparus.

Ce qui précède limite considérablement le principe de la non répétition géologique, mais définit aussi les limites d'utilisation du principe d'actualisme. En nous basant sur ces considérations, nous pouvons prendre, en ce qui concerne la taphonomie, les dispositions suivantes :

1) L'étude directe des processus géologiques et principalement de la sédimentation, a une importance déterminante pour la reconstitution des conditions générales de la formation du type de roches considéré. Pour la taphonomie, ces conditions générales sont extrêmement importantes dans sa partie hydrodynamique: à part la vitesse de sédimentation totale, la vitesse des cours d'eau, la distance de transport, la région et la direction de l'érosion etc ...

2) Les conditions de genèse d'une roche, irréproductibles et spécifiques pour un intervalle de temps donné, seront toujours de petits facteurs, secondaires par rapport aux facteurs fondamentaux (principalement hydrodynamiques), communs à toutes les périodes géologiques depuis le milieu du Paléozoïque jusqu'à nos jours et déterminant les types fondamentaux de roches.

3) Pour mettre en évidence les conditions spécifiques "irréproductibles" de la formation d'une roche, on doit faire des recherches détaillées, pouvant capter, dans sa structure, les caractères de détail qui sont l'empreinte des conditions de l'ancienne sédimentation. Pour le moment, le manque de recherches lithologiques minutieuses sur les roches sédimentaires, et le nombre peu élevé d'observations exactes, sur les sédiments actuels, ne nous permettent pas de parler, avec certitude, des propriétés des roches anciennes.

Ainsi, nous concluons à la nécessité de recherches sur l'actualisme, pour connaître les processus de formation des sédiments dans le passé. Il n'est pas nécessaire de démontrer l'importance de cette méthode pour la connaissance des processus destructifs sur la surface des continents. L'étude de la répartition et du caractère des régions d'érosion, de la vitesse de destruction des sédiments sur la

surface subaérienne, les déterminations qualitatives de l'érosion dans les différentes zones des continents, toutes ces questions sont des sujets de recherches actualistes extrêmement importants pour la litholeimonomie.

De même, les recherches d'actualisme sont extrêmement importantes pour définir une écologie détaillée de la flore et de la faune terrestres; sans elles nous ne pouvons pas être sûrs de l'exactitude d'évaluation des documents paléontologiques.

Cependant, dans l'ensemble des recherches actualistes se rapportant aux sédiments, aux formes vivantes, aux paysages actuels, il est très important de faire un choix judicieux des objets de recherche. Si on n'observe pas cette condition, comme nous l'avons vu plus haut, on ne peut pas éviter des erreurs ou des résultats peu satisfaisants, dès les premiers essais d'application des faits obtenus par la méthode d'actualisme à l'analyse des documents du passé. Un exemple de choix des conditions de faciès du présent est le travail de Strakhov (1947) sur les faciès ferrifères dans l'histoire de la Terre, offrant un intérêt considérable pour tout savant entreprenant l'analyse des conditions de sédimentation physico-géographiques des anciennes époques géologiques.

Le choix judicieux des sujets soumis à la méthode actualiste et l'orientation heureuse des recherches dépendent de la comparaison juste des documents des annales géologiques (groupes d'animaux, faciès, topographiques) avec les sujets actuels étudiés.

Ainsi, pour la paléontologie, il est particulièrement important d'étudier des formes animales ou végétales qui sont, soit anciennes par elles-mêmes, ou qui vivent dans des conditions écologiques d'un type ancien et doivent, par conséquent, jouir d'un caractère d'adaptation identique à celui des formes anciennes. Les résultats sont encore plus satisfaisants si on réussit à trouver des niches écologiques identiques passées et actuelles, mais, naturellement, ces cas sont extrêmement rares. La question des contradictions internes observées dans les adaptations des organismes actuels et du passé est extrêmement importante. A l'aide de ces contradictions nous pouvons expliquer les cas fréquents de destructions massives, qui, souvent, paraissent tout à fait inexplicables, étant donné que nous sommes très mal renseignés sur cette question, en ce qui concerne les formes actuelles.

L'étude de la biologie et de l'écologie des formes actuelles, dans le but de leur application aux recherches taphonomiques, doit être concentrée sur des formes apparentées, ou identiques, du point de vue écologique, à des restes fossilisés, contenus dans des oryctocénoses.

Comme exemple nous pouvons citer, parmi les Végétaux, Araucaria et Ginkgo, dont l'étude de l'écologie et des conditions de reproduction, ainsi que de la physiologie, peut nous renseigner sur certains caractères spécifiques d'adaptation à certaines conditions d'éclairage de température, d'humidité, etc ..., pouvant servir à la détermination des conditions correspondantes dans le passé, alors que ces plantes étaient largement développées.

L'étude des formes anciennes, ou des anciens types écologiques d'animaux - Insectes primitifs, Crocodiles, Batraciens, Mammifères Monotrèmes et Marsupiaux, parallèlement à l'analyse de leur écologie et des caractères d'adaptation morphologiques, ainsi que de leur physiologie, nous donnera quelques notions sur les conditions de vie de leurs équivalents au cours des temps géologiques.

Enfin, l'étude des différentes déviations adaptatives chez les formes rares des animaux actuels, nous fournissent des renseignements fa-

cilitant la compréhension des déviations particulières rencontrées fréquemment chez les formes rares contenues dans les gisements des anciennes époques géologiques. L'étude des paysages actuels mise en parallèle avec les paysages et les faciès du passé, est extrêmement importante dans les méthodes d'actualisme. Cette étude nous fournit des données sur les caractères de sédimentation, d'enfouissement, de prédominance des adaptations typiques, parmi la faune et la flore et, par conséquent, elle nous éclaire sur les très importantes questions de la formation des gisements et sur l'origine des sédiments. Malheureusement, les types de Végétaux et d'Animaux et des paysages entiers actuels correspondant le mieux aux types anciens sont les moins étudiés.

Si nous connaissons suffisamment bien les Végétaux et les animaux des pays européens, représentés par des types tout à fait modernes, les formes des régions tropicales, où se sont conservés les types anciens, sont au contraire très mal étudiés. Il faut faire une étude détaillée de toute une série de formes tropicales, avant de pouvoir se considérer comme suffisamment armé pour pouvoir introduire les données de l'actualisme dans l'étude des documents d'un passé éloigné. Ce que nous venons de dire s'applique intégralement aussi aux paysages actuels. Il est évident que nous devons rechercher les équivalents des paysages anciens dans les régions tropicales actuelles, car des climats et des conditions de sédimentation de caractère tropical étaient dominants au cours des époques passées de l'histoire de notre planète.

Cependant en cherchant à appliquer nos observations sur les conditions actuelles aux reconstitutions des conditions passées, les chercheurs se basent, en général, sur des régions de la zone tempérée. Les paysages des autres zones climatiques, ou des régions inaccessibles, même s'ils sont connus des explorateurs, sont inconnus des paléontologistes. Cependant, c'est précisément dans ces régions physico-géographiques que nous pouvons trouver des équivalents des anciennes régions d'habitat et de sédimentation. L'uniformité des données que nous connaissons et dont nous nous servons pour faire des reconstitutions dans le monde animal du passé, est un des points très faibles des recherches paléontologiques. Dans les chapitres précédents nous avons signalé la résistance au temps de certains types de conditions physico-géographiques et, avant tout, des conditions deltaïques et littorales. Il est certain que dans les paysages deltaïques des pays sub-tropicaux et tropicaux, nous trouverons des équivalents beaucoup plus proches des conditions d'habitat des anciens vertébrés terrestres, que dans les rivières, les forêts et les steppes de la zone tempérée, sans parler des zones climatiques beaucoup plus froides. Les immenses marécages de Floride, avec une végétation exceptionnellement riche, les deltas du Congo, de l'Amazonie et du Nil, les régions de plaines marécageuses d'Afrique orientale, du Brésil, de l'Inde, de Sumatra, de Java, de Bornéo, ont été invoqués plus d'une fois dans les différents exemples paléobotaniques. Mais une première comparaison des paysages de ces régions avec les reconstitutions connues dans la bibliographie montre que ces régions actuelles ne sont connues que d'après des descriptions superficielles et leurs propriétés - donc, à plus forte raison, les processus de sédimentation, n'interviennent pas du tout dans les reconstitutions. De plus, même les paysages deltaïques de nos régions tempérées sont mal connus, à cause des difficultés que l'on rencontre pour pénétrer dans les profondeurs de ces plaines marécageuses. A part les deltas et marécages et d'autres paysages voisins du niveau

de la base d'érosion, même dans des paysages de types totalement différents, on peut observer des conditions étonnamment identiques aux conditions anciennes, favorables à l'enfouissement de quantités massives de restes d'animaux et végétaux. A titre d'exemple prenons le cas des conditions de climat sec et de niveau élevé du Soudan ou d'Afrique orientale, où les conditions sont, pour ainsi dire, inverses de celles des deltas. La présence de cours d'eau ou de lacs se desséchant périodiquement, dans les lits desquels s'accumulent et se détruisent des masses de flore et faune hydrophiles, favorise la concentration de restes du monde vivant et la constitution de thanatocénoses. Les fortes crues périodiques emportent les restes accumulés dans des bassins plus gros, où une partie des restes est enfouie, passant ainsi à l'état de taphocénose. Ainsi, les conditions tropicales, d'un climat sec, avec des périodes de fortes précipitations, comme les topographies de l'Ouganda (savane avec des forêts-galeries), ou d'autres régions d'Afrique orientale ou du Soudan, ne révèlent tout à fait favorables à l'enfouissement des restes organiques à adaptation hygrophile. On voit l'importance des dimensions de ces accumulations de restes organiques d'après la formation des sables, caractéristiques de la partie soudanaise du Nil. Le sud est une accumulation végétale formée dans une rivière par entassement de restes de plantes flottantes, au cours des grandes crues; dans des régions rétrécies, ou dans les bras latéraux de la rivière. Une telle accumulation, ayant plusieurs fois interrompu la navigation entre Khartoum et le Nil supérieur, on a entrepris des recherches spéciales pour découvrir les causes de telles accumulations de restes végétaux. On s'est aperçu que les sables se forment au cours des années de sécheresse, lorsque la végétation hygrophile se concentre dans divers basins isolés. Pendant les années d'humidité abondante toute cette végétation est emportée dans l'artère principale. Dans ces îlots de végétation les cadavres d'animaux et même les gros os d'animaux de grande taille, sont emportés par les masses de végétation et s'accumulent également dans les masses végétales. Cet exemple montre la grande variété des paysages actuels et des conditions d'habitat et d'enfouissement de la faune.

La connaissance de tels détails de l'ensemble des conditions du milieu d'habitat externe et des conditions de sédimentation dans les paysages actuels mal connus, est une condition nécessaire pour la reconstitution des paysages et des climats des époques géologiques anciennes. Pour étudier des paysages de ce type, qui sont les plus répandus dans les faciès continentaux connus du Paléozoïque, on doit avoir recours à des paysages tropicaux et sub-tropicaux, à niveau le plus bas et le plus étroitement liés au littoral marin.

En URSS les seuls paysages quelque peu identiques se rencontrent sur le littoral occidental de la Caspienne, dans le delta de la rivière Akoucha, sur le littoral du golfe de Kyzyl-Aghatch. Les énormes plaines marécageuses de cette région ont une superficie d'environ 800 km². Malheureusement, les recherches physico-géographiques dans cette région se trouvent encore à leurs débuts, malgré l'existence de bonnes cartes.

Cependant, pour pouvoir faire une étude sérieuse des paysages équivalents des paysages physico-géographiques anciens, présentant les mêmes conditions d'habitat et d'enfouissement, il faut entreprendre des recherches dans la zone tropicale, en dehors des frontières de l'URSS.

Les marécages tropicaux, pré-littoraux connus de Floride, présentés toujours comme des équivalents des forêts carbonifères, sont très mal étudiés et ne peuvent pas encore servir comme données en vue d'une

étude comparative des paysages anciens. Malgré tout, ils nous donnent une idée générale de l'aspect extérieur des énormes espaces de plaines inondées, par endroits boisées (fig.45, pl.II, III, IV), par endroits pourvues de bois ravagés par les inondations, ayant l'aspect de vastes marécages sur le sol gris desquels dépassent les souches. Il est intéressant de comparer ce tableau avec la fig.3, qui nous montre des souches d'arbres fossilisés du Carbonifère anglais. Le développement particulièrement caractéristique des pneumatophores radiculaires, typiques pour des arbres se développant dans des plaines inondées en permanence par la mer, à côté du caractère général d'un tel paysage, se voit parfaitement sur la pl.II. Sur la fig.2 de cette planche on voit un district de forêt de *Taxodium*, dans le lac Monroc (Floride). Les arbres (*Taxodium distichum*) sont entourés de pneumatophores de 1 m de hauteur, montrant le niveau permanent de l'eau. La photographie a été prise au moment de la baisse maximum de l'eau.

Pour les vastes plaines, situées à l'intérieur des continents, dans des régions de grandes dépressions du relief, liées à des deltas et à d'anciens lits de rivières abandonnés, on peut citer comme exemple le marécage bien connu d'Okefinoka en Géorgie et Floride (Etats-Unis). Ce marécage se compare bien aux régions de la dernière formation houillère, à la limite du Carbonifère et du Permien en Europe, dont nous avons décrit les gisements au chapitre sur le Carbonifère. De même, le marécage d'Okefinoka peut nous renseigner sur les caractères topographiques des régions de formation des gisements importants de Dinosaures du Crétacé inférieur. La figure 45 représente une carte schématique du marécage avec des lacs, des cours d'eau, des lits de rivières, la répartition de la végétation et des sols sablonneux. La superficie totale du marécage est supérieure à 1200 km². Il est recouvert sur certains districts de forêts denses de *Taxodium*, de buissons d'une végétation marécageuse dense, certaines portions d'eau demeurant libres, avec un faible courant (pl.II, fig.1; pl.III et IV). Périodiquement, le marécage est inondé entièrement et les canaux d'eau libre acquièrent une grande vitesse, apportant des quantités importantes de sable et de limon. L'aspect général du marécage nous renseigne sur le caractère tout à fait particulier du paysage, qui ne correspond pas du tout aux reconstitutions habituelles des anciennes conditions d'habitat des formes disparues. Le marécage est abondamment peuplé de crocodiles, de tortues et de poissons.

Tous ces paysages deltaïques tropicaux se caractérisent par de fortes inondations, aux cours des périodes de pluies tropicales. Ces branches latérales de rivières changent de direction et les masses d'eau affluent dans les forêts des plaines environnantes. La population terrestre des forêts subit une destruction catastrophique et la majorité des restes des animaux sont enfouis dans les sédiments fluviaux. Ces sédiments se trouvent apportés en quantités massives dans les dépressions marécageuses proches. Des inondations de ce genre sont bien connues, par exemple dans le delta du Niger et dans le bassin du Congo.

Les gigantesques plaines marécageuses des régions tropicales (Indes orientales, Sumatra, Bornéo, etc ...), inondées pendant les périodes de pluies, sont souvent à sec, pendant les périodes sèches de l'année. Ce dessèchement tue d'innombrables animaux aquatiques, engloutis dans la boue visqueuse qui se dépose à la place de l'eau. Plus tard, ces plaines se recouvrent d'une croûte d'argile desséchée,

dans la profondeur de laquelle se trouvent des cadavres de Poissons, de Crocodiles, d'autres animaux. Après dessèchement total, la plaine se recouvre d'une couche d'herbe, jusqu'à l'inondation suivante, qui déposera une nouvelle couche de limon. Il n'est pas difficile de trouver dans ces paysages des analogies avec les dépôts stratifiés avec restes de végétation herbacée des gisements de flore continentale; ou de restes de Vertébrés terrestres situés dans de petites dépressions de la surface de stratification de la couche sous-jacente; au milieu de roches riches en substances organiques, si fréquents dans les nombreux gisements des niveaux de passage entre le Paléozoïque et le Mésozoïque (Karroo).

En conclusion de notre brève étude des paysages actuels pouvant être comparés aux paysages anciens, citons quelques types de paysages curieux, montrant la variété considérable des formes végétales et des paysages des régions tropicales.

Tels sont les paysages originaux des versants du Ruwenzori en Afrique centrale, avec des *Sonchios*; les paysages des vallées intermontagneuses de Californie du Sud, avec des *Yucca* et, enfin, le paysage des plaines sèches pré littorales de Californie méridionale, avec de vastes accumulations de *Cactus cylindriques* (*Lamprocarpus*), couchés directement à la surface du sol. Un tel paysage est encore intéressant en ce qu'il se trouve à proximité d'un paysage marécageux - la mangrove et montre la diversité des types de végétation ne se conservant pas et ne tombant pas dans les sédiments, même lorsqu'elle se trouve dans le voisinage immédiat de régions de sédimentation.

Comme exemple de plantes actuelles, ayant conservé un aspect externe extrêmement archaïque et pouvant, pour cette raison, servir à la reconstitution de l'aspect extérieur de très anciennes plantes terrestres, on peut citer l'*Aloe dichotoma* des steppes d'Afrique du Sud. Les forêts d'*Araucaria* d'Amérique du Sud ont également un aspect archaïque s'étendant à toute leur topographie. L'aspect de ces paysages peut être comparé à ceux des districts élevés des continents permien, sans parler du Mésozoïque, d'où on connaît de vrais *Araucaria*.

Le genre *Araucaria* est particulièrement développé au Chili, dans la région d'Andjof, dans la chaîne de Nahfita, à une altitude appréciable. Les *Araucaria* poussent dans de vastes champs des Andes volcaniques, au milieu d'espaces vides de scories volcaniques. La lion des *Araucaria* avec les sols de type volcanique n'est pas sans intérêt. De même, le développement de ces forêts dans des régions montagneuses à été sec et chaud, mais avec des chutes de neige régulières en hiver, est curieux. La forêt d'*Araucaria* a un aspect curieux à cause de la couleur gris acier à reflet pourpre de l'écorce des troncs d'arbres (pl. IV) et le vert très forcé de la couronne des feuilles. Les arbres jeunes sont très nettement différents des arbres adultes, ce qui est également important pour l'analyse des cas analogues rencontrés dans les restes de flores de gisements, où les fragments sont toujours dissociés.

Les paysages dans lesquels les conditions physico-géographiques et le régime climatique favorisent constamment des destructions massives d'animaux terrestres y habitant, ou venus d'autres régions, sont particulièrement intéressants. On connaît des cas d'intoxications massives de gros herbivores par suite d'un développement périodique de plantes vénéneuses (Chestnut, 1901).

Dans les steppes sèches d'Amérique du Sud, Darwin lui-même a observé des destructions massives d'animaux sauvages et domestiques, pendant les grandes sécheresses de 1827-1830. Les gros herbivores pourchassés par la soif mouraient par dizaines de milliers dans les régions

marécageuses et sur les bancs de limon du Parana.

En Afrique centrale (1896, Gregory) on observe souvent une destruction massive d'animaux autour des bassins d'eau steppiques desséchés au cours des périodes estivales. Dans les steppes, les sources et les lacs sont dispersés, séparés par des distances de 30-40 miles, obligeant, en temps normal, les animaux à effectuer des déplacements importants. Lorsque plusieurs de ces sources se dessèchent, les animaux se trouvent dans une situation sans issue. Sur des centaines et des milliers de m², autour des bassins d'eau, le sol est blanchi par les os de Rhinocéros, de Zèbres, d'Antilopes et de Gazelles, de Chacals et d'Hyènes. Tous sont morts au voisinage du bassin aquifère en se battant pour les dernières gouttes d'eau.

En Patagonie, Pritchard (1902) a observé, pendant les hivers très rudes, la mort massive autour des points d'eau, d'animaux tels que le Guanaco et Cerfs, animaux cependant d'une résistance particulière. Des troupeaux entiers de ces animaux étaient décimés par la tempête, dans l'espace entourant le point d'eau. Leurs cadavres s'entassaient tout à l'entour du miroir gelé.

L'auteur de cet ouvrage a observé, en Mongolie, dans les grandes vallées argileuses du désert de Gobi, des preuves de destructions massives de Chameaux, atteints par les pluies au moment où ils traversaient la vallée. Le sol argileux, gonflant immédiatement, les animaux ne pouvaient plus se déplacer et gaspillaient leurs dernières forces dans des essais désespérés pour se dégager de ce piège inattendu. Après la pluie, le sol se desséchait aussi rapidement, mais les animaux mortellement épuisés ne pouvaient plus se relever. Leur cadavres desséchés, roulés jusqu'à la vallée, étaient entourés des traces de leur lutte pre-mortem, sous forme d'empreintes circulaires, de traînées de leurs pattes marquées sur l'argile dure.

Ce type de destruction massive se compare bien à ceux qu'on a rencontrés dans les gisements du Cénozoïque. Pour le Paléozoïque, avec ses faciès aquatiques conservés de niveaux bas situés, les grandes causes de destructions massives des animaux sont en général liées à des inondations périodiques et ne correspondent pas du tout au type que nous venons de décrire. Par conséquent, les causes de destructions massives et de concentration des restes animaux possèdent leurs propriétés particulières pour chaque type de topographie et pour chaque niveau d'évolution des Vertébrés terrestres.

Les exemples isolés de paysages actuels, pouvant être identiques à certains paysages des anciens continents, que nous venons d'étudier, n'épuisent pas le nombre considérable de variétés de ceux des régions tropicales actuelles. Il n'y a pas de doute que, même les tout premiers pas dans l'étude des conditions de vie et de sédimentation actuelles, en vue de découvrir des équivalents des paysages anciens, donneront un matériel incomparablement plus riche et plus varié. Il est particulièrement important d'accompagner les recherches sur l'écologie de la flore et de la faune d'une étude des processus de sédimentation dans ces paysages.

L'étude des vastes marécages et des grands deltas rencontre des difficultés majeures, mais elle nous enrichira incontestablement de données d'une importance du premier ordre. Il faut signaler que dans la nature il n'y a pas de faits sans importance. Si nous considérons comme dénués d'importance une partie des faits connus, cela provient simplement de ce que nous ne savons pas nous en servir, ou les interpréter à l'instant considéré du développement de la science.

Pour l'accumulation de données d'actualisme sur les questions de taphonomie et de lithoéimonomie des anciens continents, il faut

effectuer encore beaucoup de travaux de recherche, d'observation et de simple enregistrement de faits; alors nos constructions théoriques, de devinettes plus ou moins astucieuses, se transformeront en lois exactes.

Dans ce travail considérable, l'étude des paysages actuels, ainsi que les conditions physico-géographiques de la sédimentation et d'habitat des formes terrestres, est un des aspects les plus intéressants et les plus importants des recherches taphonomiques.

Chapitre IX

VOIES et METHODES des RECHERCHES TAPHONOMIQUES

Le problème commun de toutes les recherches taphonomiques est l'analyse des documents paléontologiques des annales géologiques. Dans l'orientation des recherches sur les questions des lacunes des annales géologiques il faut distinguer deux côtés dans leur formation, ainsi que dans l'histoire de la Terre et de la Vie:

- 1) les lois de conservation des roches sédimentaires (litholoimonomie),
- 2) les lois de conservation des restes organiques dans les roches sédimentaires (taphonomie).

C'est suivant ces deux voies fondamentales que se fera l'étude des lacunes normales des documents géologiques et paléontologiques.

Le but de la taphonomie est l'étude des gisements de flore et de faune, en tant que reflet des processus créant les documents paléontologiques dans le processus historique des faunes du Globe.

L'étude des gisements fournit à la taphonomie des faits fragmentaires, isolés, qu'elle définit en s'adressant à des disciplines voisines.

Etant donné que la formation des gisements se fait sous l'action mutuelle de la biosphère et de la lithosphère, les chercheurs doivent s'orienter dans le domaine de la taphonomie, grâce à des données sur les processus biologiques (en l'absence de ces données elle doit effectuer des recherches indépendantes) déterminant la répartition des adaptations typiques, la formation des concentrations d'animaux, les causes de leurs destructions massives et la formation d'amas de restes organiques, en bref, des données de la dynamique des populations et de la formation des thanatocénoses. D'autre part, pour interpréter les processus de la lithosphère, où s'enfouissent et se conservent les restes, la taphonomie doit posséder des données relatives à la pétrographie des roches sédimentaires, au sens large de ce mot, depuis les lois hydrodynamiques de la sédimentation jusqu'aux processus de diagenèse et d'évolution ultérieure de la roche sédimentaire.

Etant donné que par leur caractère de minéralisation les restes organiques se distinguent par une stabilité moins grande que les composants minéraux de la roche encaissante, pour connaître leurs transformations depuis l'instant de la mort de l'organisme jusqu'à la fossilisation - c'est-à-dire, le passage à l'état minéral - nous devons avoir des renseignements sur la conservation ou la décomposition des substances organiques, dans les différentes conditions du milieu encaissant, correspondant à la présence des restes sur la surface sub-

aérienne, dans l'eau, dans les sédiments meubles, dans les solutions minérales. Il convient encore de posséder des indications sur les processus de diagénèse et, enfin, sur les modifications de la substance organique restante après sa fossilisation, dans différentes roches et au cours du temps.

L'ensemble de ces recherches nous donnera des notions solides sur les processus de la formation des gisements. L'étude ultérieure des lois des annales géologiques doit parvenir à la définition des gisements en tant que districts de faciès correspondants, c'est-à-dire, au domaine de la litholeimonomie, à la recherche des lois de conservation des niveaux sédimentaires dans le temps, en utilisant aussi bien les données obtenues par l'étude des gisements, que celles fournies par les levés géologiques, par la paléogéographie et la géotectonique. L'étude des processus de mise à nu des gisements, indissolublement liée à la recherche des lois de conservation des niveaux sédimentaires dans le temps, fournit à la taphonomie des données pour avancer des pronostics et effectuer des recherches planifiées sur les documents paléontologiques contenus dans des niveaux continents. Enfin, une possibilité plus lointaine, s'appuyant sur l'ensemble des données de la taphonomie et de la litholeimonomie, est l'analyse comparée de la succession des périodes d'enfouissement, avec calculs des masses de sédiments et de faunes enfouies, afin d'obtenir des pourcentages de faunes destinées à la conservation. A ce domaine se rattache l'intéressant problème de la coïncidence et de la non coïncidence des types prédominants de faciès, avec les adaptations prédominantes, dans les gisements du niveau considéré du temps géologique.

Les principales orientations des recherches taphonomiques et litholeimonomiques groupent autour d'elles les principales étapes suivantes de travail:

1- Données taphonomiques directes

1) Etude détaillée des gisements

Les travaux de recherche détaillés sur les gisements doivent prévoir, en même temps, l'exploitation de superficies considérables de couches ossifères, c'est-à-dire, qu'ils doivent être des travaux de fouilles importantes. L'exploitation simultanée de grands districts, avec une étude progressive de la couche en profondeur, se fera en même temps que l'étude géologo-pétrographique du niveau encaissant, en recherchant une caractérisation particulièrement détaillée du toit et du mur. Les restes organiques seront minutieusement étudiés du point de vue minéralogique et chimique, afin de définir leur genèse et les différences qu'elle présente par rapport aux roches encaissantes. Il faut aussi utiliser les méthodes actuelles d'analyse sporo-pollinique et de Diatomées, pour les roches du gisement et, plus spécialement, celles de la couche ossifère.

L'étude de la couche ossifère doit obligatoirement comporter les points suivants:

a) Détermination détaillée de la disposition des restes organiques les uns par rapport aux autres à l'intérieur de la couche, par rapport aux plans de stratification et à la stratification oblique, par rapport aux galots et autres fractions minérales perceptibles. Il faut construire des diagrammes biostratonomiques, des cartes lithologiques de la couche ossifère, en indiquant la disposition des différentes lentilles de roches présentant des différences du point de vue lithologique.

b) Observation des caractères de fossilisation des restes. Etat de la surface des os. Détermination des différences dans le caractère de fossilisation dans les différents districts de la couche suivant le plan horizontal et suivant la profondeur, dans différents niveaux stratigraphiques. Il faut faire attention au fait que la fossilisation dans différentes parties d'une même squelette peut souvent être différente. Observer l'état de la surface des os en liaison avec les différents districts lithologiques de la couche ossifère. Sont particulièrement importantes les observations faites sur l'état des restes organiques aux limites inférieure et supérieure de la couche ossifère, au toit et au mur du gisement. Etude pétrographique détaillée des restes fossilisés. Analyse aux rayons X, spectroscopique et chimique des restes pour déterminer la substance organique restante et la composition minéralogique exacte, ainsi que la détermination des éléments rares, définissant la caractéristique chimique spécifique des formes anciennes. Ces analyses doivent être liées à celles des roches encaissantes. Etude détaillée au microscope des structures histologiques conservées, étude de la surface des os en lumière réfléchie et aux U.V. pour déterminer l'état de conservation des tissus externes et leur degré d'altération. Observations sur les déformations des restes organiques, sur l'orientation spatiale et l'importance des déformations par déplacement.

c) Etude des restes organiques en tant que fractions denses des roches encaissantes. Détermination du degré d'arrondi, évaluation de la fraction d'éléments roulés par rapport aux éléments entiers. Dans les conglomérats, il convient d'étudier les galets, effectuer l'analyse volumétrique, déterminer pétrographiquement les roches constituant la couche de galets. Dans le cas d'existence de galets de durétés différentes (quartz, calcaire) il faut calculer la distance du transport, Caractérisation minéralogique des différentes fractions lourdes de la couche ossifère.

d) Calcul de tous les restes enfouis par rapport à la masse de la couche ossifère. Calcul du pourcentage moyen en restes. Détermination de la répartition générale de la couche ossifère; détermination des contours; calcul, avec le degré de précision possible, de la superficie totale du gisement et du volume de la roche ossifère, afin de définir les réserves qu'elle présente. Dans le cas de dimensions spatiales importantes de la couche ossifère on doit entreprendre l'exploitation de districts supplémentaires, ou de puits, dans les différentes régions, en effectuant dans chaque cas l'ensemble des observations signalées plus haut, afin de préciser les variations que présentent le gisement et les restes organiques dans un sens ou dans l'autre.

e) Observations sur les pistes d'animaux, sur leurs coprolites, sur les oeufs enfouis etc ... Détermination des "corrélations" entre les "traces de vie" et les traces de phénomènes géologiques et climatiques sur la surface des couches, tels que : rainures, crevasses de dessiccation, empreintes de gouttes etc ...

L'ensemble de ces observations nous permet de faire l'analyse des principaux facteurs génétiques des gisements : caractères de la taphocénose, distance et sens du transport, degré de proximité de la région d'érosion, vitesse de sédimentation, d'enfouissement et de fossilisation, caractères de l'oryctocénose, degré de compaction du sédiment, conditions fondamentales de la sédimentation. L'étude de la couche ossifère doit être extrêmement approfondie et minutieuse, pour ne pas laisser échapper de très petits restes d'individus jeunes, des fragments importantes "exotiques", etc ... qui, souvent, sont extrêmement importants.

Le matériel paléontologique fourni par le gisement appartient à la seconde partie du travail.

2) Observations sur le matériel paléontologique du point de vue spécial de la taphonomie.

Les observations proposées, en général, ne sont pas pratiquées dans les travaux paléontologiques courants, car elles demandent des déterminations numériques plus ou moins exactes, que l'on ne peut obtenir que si on fait les mesures minutieuses nécessaires au moment des fouilles.

a) Calcul du nombre d'individus d'après la composition spécifique de la faune. Ce calcul doit se faire en tenant compte du matériel fragmentaire, qui, souvent, est laissé de côté pendant les fouilles et pendant les travaux de laboratoire.

b) Caractéristiques numériques des individus d'après les types prédominants, ou d'après les types de formes d'adaptations de caractère étranger, provenant d'un habitat éloigné du lieu de sédimentation.

c) Calcul du nombre d'individus d'après leur âge, ou si sa définition offre des difficultés, d'après les dimensions moyennes des individus.

d) Observations paléopathologiques sur les restes de squelettes. Détermination des déformations pathologiques des os et de leurs altérations au cours de la vie des individus. Etude des altérations post-mortem, fractures pendant l'enfouissement dans les cours d'eau, des traces de dents des fauves. Recherches de traces d'épizooties massives permettant d'expliquer les causes possibles de la mort en masse des animaux.

Les recherches prévues dans cette section nous renseignent sur le caractère fondamental de la composition faunistique, d'après la prédominance des différentes formes d'adaptation et catégories d'âge, ce qui est extrêmement important pour la reconstitution du caractère de la thanatocénose initiale. Les observations effectuées sur les variations pathologiques des os nous renseignent sur les maladies et la résistance vitale des formes anciennes. Les altérations post-mortem des os expliquent les délais de séjour possible des restes faunistiques dans les thanatocénoses, avant leur enfouissement et, d'après le caractère de fossilisation, permettant de reconnaître les os ayant séjourné plus ou moins longtemps sur la surface du sol. Ainsi, un grand nombre de fractures post-mortem, provoquées par les courants d'eau, signifie que les os ont dû rester longtemps sur la surface sub-aérienne et ont perdu une partie appréciable de leur collagène, ce qui les a rendus cassants. Les traces de dents observables sur des os bien conservés donnent des renseignements sur les ennemis attaquant les formes considérées, tandis que les mêmes traces post-mortem indiquent les fauves se nourrissant de charognes ou tuant l'animal, même si les restes de ces carnivores ne se trouvent pas dans le gisement. Les essais de détermination d'épidémies - épizooties - sont extrêmement difficiles, mais dans certains cas favorables ils peuvent fournir des renseignements intéressants. Ainsi, par exemple, dans le vaste gisement de Stégocéphalos éotriasiques du genre Benthosuchus, dans le N.E. de la partie européenne de l'URSS, on rencontre des quantités considérables d'individus d'une même espèce, la majorité étant d'un même âge moyen. L'étude de la microstructure des dents de ces Stégocéphalos a montré l'existence dans la cavité pulpaire de globules de dentine appelés "denticles". Ces formations sont caractéristiques d'une avitaminose aigüe, ou d'une sous-alimentation extrême. Peut-

être faut-il voir là les causes de la destruction massive des Benthosuchus. En tout cas, pour des animaux se nourrissant de Poissons, l'insuffisance de nourriture est tout à fait possible au moment des grandes crues, alors qu'ils se trouvent concentrés en quantités considérables d'individus. Cet exemple montre quelles sont les voies possibles de recherches pour découvrir des traces d'épizooties chez les Vertébrés fossiles.

La partie finale des travaux d'étude des gisements est :

- 3) Etude litho-leimonomique des ultra-faciès, encaissant les gisements; observations géologiques régionales sur l'affleurement et la destruction des gisements.

Les grands districts d'anciens ultra-faciès contiennent des groupes entiers de gisements isolés, souvent différents par leur genèse. Après une étude détaillée des différents gisements, le matériel obtenu sert à la caractérisation de l'ensemble et de l'ultra-faciès. Un grand complexe de sédiments continentaux est étudié comme un ensemble. Afin de reconstituer les conditions générales de cette vaste sédimentation il convient de connaître l'ensemble des processus.

Les travaux à effectuer sont les suivants :

a) Observation sur la répartition des différents gisements à l'intérieur de l'ultra-faciès, lien avec les érosions intra-formationnelles et les mouvements épirogéniques ayant leur reflet dans les roches. Observations sur les variations périodiques des caractères de la sédimentation (alternances de couches suivant la verticale) et sur les variations spatiales des sédiments (changements des lentilles et des surfaces suivant l'horizontalité).

b) Calcul des volumes relatifs des sédiments encaissant les restes organiques et des districts "stériles". Calcul de la valeur totale relative de la masse des sédiments de l'ultra-faciès considéré et de la masse de sédiments contenant les restes végétaux et animaux. Évaluation des réserves géologiquement possibles des couches ossifères.

c) Observer les érosions des ultra-faciès, la fréquence des affleurements des gisements et établir le rapport entre le nombre de gisements découverts et ceux géologiquement possibles en fonction de la structure générale des ultra-faciès et la profondeur de la coupe. Étudier la vitesse de dénudation des ultra-faciès et la vitesse de destruction des gisements en fonction des processus tectoniques et des conditions physico-géographiques du lieu d'érosion. Déterminer l'importance de la destruction dans des intervalles de temps définis. Observer les processus secondaires d'alcalinisation et de métasomatose des gisements; observer la vitesse de destruction et le sort des restes fossiles après l'érosion des gisements. Étudier le sort des restes fossilisés déplacés et de nouveau enfouis.

L'ensemble des travaux litho-leimonomiques nous fournit des données beaucoup plus larges sur les conditions de sédimentation et d'habitat des anciennes faunes et flores terrestres au cours du temps. Les travaux effectués en ce sens (bien que des erreurs graves soient possibles) nous renseigneront sur la quantité de faune enfouie et, dans le cas d'étude particulièrement détaillée des ultra-faciès suivant les coupes de travaux miniers (mines, forages, études géophysiques) ils pourront nous renseigner sur les caractéristiques quantitatives de la faune enfouie par unité de temps géologique. De telles données sont particulièrement importantes pour énoncer une conception sur les lacunes des annales géologiques, ainsi que pour avancer des pronostics scientifiquement fondés et pour entreprendre la recherche de nouveaux gisements et de nouvelles faunes.

L'ensemble des travaux mentionnés ci-dessus épuise, en gros, les recherches immédiates à effectuer dans les gisements de végétaux et d'animaux terrestres. Il est tout à fait évident que beaucoup de facteurs mis en évidence, ou de données obtenues au cours de l'étude des gisements ne peuvent être expliqués et appliqués en paléontologie sans une comparaison avec des phénomènes analogues actuels. C'est cette nécessité qui détermine la seconde orientation principale des travaux en taphonomie.

2- Données comparées de la taphonomie et de la lithohermionomie.

Pour l'analyse des causes de la formation des gisements, la taphonomie prend ses renseignements dans les sections correspondantes de la biologie et de la géologie.

1) Lois biologiques de la formation de concentrations actuelles de faune terrestre, formation de taphocénoses, causes de la dispersion et de la destruction des restes dans la faune et la flore actuelles des continents.

a) Etude de la composition numérique et de la dynamique des peuplements dans les différentes biocénoses et dans différentes conditions physico-géographiques identiques aux anciennes conditions de sédimentation.

b) Etude de la dynamique des peuplements dans les grandes régions géographiques pour des formes écologiquement identiques aux représentants importants des faunes anciennes.

c) Détermination des lois régissant les rapports entre la densité de peuplement et la masse d'alimentation disponible dans les régions d'habitat identiques aux anciennes conditions de sédimentation.

d) Définir les causes de la formation de concentrations d'individus de différentes formes terrestres et les causes des destructions massives.

e) Définir les lois de peuplement et de destruction des restes d'animaux dans les conditions de la région d'érosion.

f) Définir le rapport entre le nombre d'individus morts et le nombre d'individus enfouis.

g) Définir les formes d'adaptation dans la partie de la faune enfouie et dans la partie qui, se dispersant, se laisse rarement enfouir.

Ces travaux nous procurent des données permettant l'analyse des rapports entre le peuplement des régions d'érosion et celui des régions de sédimentation, des données sur la résistance des différentes biocénoses et types écologiques au cours du temps, définissent les formes d'adaptation dominantes pour les parties de faunes enfouies disparues des annales géologiques, expliquent les causes fondamentales de la formation d'accumulations de restes d'animaux et végétaux dans la biosphère et la destruction massive de la faune dans les cas de formation de concentrations, en d'autres termes, donnent l'analyse totale de la formation des gisements, cette formation s'effectuant dans la biosphère.

2) Lois géologiques de la formation des sédiments continentaux actuels et de l'enfouissement des restes de faune et de flore.

Les données comparatives nécessaires à la seconde étape de la formation des gisements, c'est-à-dire à la formation des taphocénoses et au dépôt des sédiments qui encaissent les restes animaux ou végétaux, sont fournies à la taphonomie par des observations effectuées

sur les conditions de sédimentation actuelle, sur la genèse des sédiments continentaux actuels, sur les lois de répartition et de conservation des restes organiques de nos jours.

a) Observer les conditions de transport des accumulations de restes d'animaux et végétaux dans le domaine de la sédimentation actuelle.

b) Observer le mouvement des restes organiques dans les cours d'eau. Définir les lois hydro-dynamiques correspondant aux différents types de sédiments.

c) Observer la destruction des restes au cours de leur déplacement, les lois de leur conservation au cours du processus d'enfouissement, observer la distance de leur transport.

d) Observer la bioturbation des sédiments actuels, le caractère de répartition, d'accumulation ou de dispersion des restes, par apport ou par accumulation résiduelle dans les différentes régions de sédimentation.

e) Calculer la quantité de restes accumulée aux endroits de sédimentation stable. Calculer le rapport entre la partie enfouie des tharaticénoses et des parties détruites ou dispersées dans les processus d'enfouissement, pour connaître le rapport d' tharaticénoses aux taphocénoses.

f) Calcul du rapport des superficies des importantes régions de sédimentation actuelles à la superficie des régions d'érosion des continents.

g) Etude de la durée d'existence des différents faciès, définition d'une classification détaillée des infra-faciès et des ultra-faciès, en fonction de la durée d'existence dans les différentes conditions physico-géographiques des continents.

Ces deux sections des travaux taphonomiques relatives aux lois fondamentales de la formation des gisements dans les conditions de réactions mutuelles de la biosphère et de la lithosphère, se confondent dans l'étude détaillée des topographies actuelles, analogues aux anciennes conditions de formation des gisements. L'étude des paysages actuels, du point de vue de la taphonomie, nous fournit des renseignements sur des détails réellement importants pour la reconstitution des conditions physico-géographiques et biotiques des anciennes époques géologiques.

La troisième étape de la formation des gisements, c'est-à-dire la création d'oryctocénoses par fossilisation des restes organiques et par diagénèse des sédiments mous, ne peut, dans les circonstances actuelles faire usage de données comparatives avec des observations contemporaines. Les processus de diagénèse des sédiments se produisent dans des conditions d'immersion ou d'enfouissement sous des couches meubles que nous ne savons pas encore traverser. De même, les processus de diagénèse sont encore plus lents que ceux de sédimentation continentale et souvent ils échappent à notre observation en raison même de leur lenteur. Par conséquent, pour la troisième étape de la formation des gisements, pour obtenir des données comparables dans la nature actuelle, nos travaux ne peuvent pas être limités à l'observation directe; nous devons élargir le champ de nos possibilités en entreprenant des recherches expérimentales. Il est évident que ces travaux de recherches expérimentales sont nécessaires aussi pour toute une série d'observations du domaine de la seconde section des travaux taphonomiques. Ces expériences sont particulièrement importantes dans le domaine de l'hydrodynamique des transports, car techniquement elles se réalisent sans difficultés dans des bassins et fournissent directement les lois du déplacement en bioturbation des différents restes orga-

niques. Ces travaux sur l'étude expérimentale de la fossilisation des restes ne peuvent pas être conduits indépendamment de l'étude de l'évolution de ces mêmes restes en tant qu'fractions chimiques, situées dans les conditions régnant actuellement à la surface des continents.

Ce que nous venons de dire définit la composition des travaux de la troisième section.

3) Etude des lois de conservation et de fossilisation des restes animaux et végétaux.

a) Etude de la conservation et de la destruction des substances organiques des différents types contenus à la surface du sol des continents actuels;

Les divers auteurs donnent des vitesses totalement différentes pour la décomposition de la substance organique au contact de l'air, ou dans l'eau peu profonde. Ce fait dépend probablement des conditions climatiques générales du lieu considéré et du degré de contamination par les microbes. Ainsi, dans le cas d'insolation intense, des conditions stérilisantes peuvent intervenir pour une longue durée, assurant une conservation plus prolongée des substances organiques. Mais ces conditions tout en protégeant les substances organiques d'une destruction par les Bactéries, favorisent la disparition rapide de la moëlle osseuse, le blanchiment des os et, ensuite, la destruction du collagène lui-même. Ces processus de destruction des substances organiques exposées à l'air, dans des conditions naturelles sont variées et doivent être étudiées en détail.

b) Etude de la conservation et de la destruction des substances organiques sous l'eau et dans les sédiments visqueux superficiels. Là aussi nous devons rencontrer des conditions de conservation et de destruction variées en fonction du milieu oxydo-réducteur de la présence de solutions minérales ou d'acides organiques, etc.

c) Etude des particularités de la composition chimique des substances organiques chez les différents types d'animaux et de végétaux. Ces propriétés de la composition chimique peuvent avoir une influence primordiale sur la résistance des différentes substances organiques dans des conditions diverses. Définir les types de substances organiques suivant leur résistance ou suivant, au contraire, leur vitesse de destruction. Ces travaux conduisent directement aux recherches expérimentales.

d) Expériences sur la conservation et la destruction des substances organiques dans les restes animaux et végétaux, se trouvant dans différentes conditions de concentration des sels minéraux, d'oxydation, d'éclairage, dans des milieux bactériens différents, etc..

e) Expériences sur la minéralisation des restes d'animaux et végétaux dans des conditions artificiellement créées, analogues aux conditions naturelles de lithification possible des sédiments. Placer des restes d'animaux dans des solutions de sels minéraux à différentes températures et pressions, dans des milieux correspondant à telle ou telle fraction mécanique des sédiments. La durée faisant défaut pour ce genre d'expériences on peut, dans une certaine mesure, compenser par une concentration élevée des substances minérales ou des gaz. En élevant les concentrations dans des proportions connues et en observant les conditions nécessaires, on peut parvenir à accélérer le processus et réduire ainsi de temps nécessaires à la fossilisation.

f) Expériences de conservation et de destruction des restes fossilisés dans la roche. Détermination des caractères de l'altéra-

tion de la surface des restes et de leur destruction ultérieure dans le cas de lixiviation de la roche et définition des processus de lessivage des gisements. Mise en place de restes fossilisés dans des solutions de sels minéraux, d'acides organiques et de gaz, en circulation, reproduisant artificiellement les processus de lixiviation et de lessivage des gisements. Ici aussi les durées insuffisantes peuvent sans doute, être compensées artificiellement par des concentrations élevées convénables des solutions ou des gaz, ainsi que par une augmentation de la vitesse de circulation des solutions.

Tous ces travaux sur l'étude des processus actuels de la troisième étape de la formation des gisements, expliquent grâce aux expériences les lois de la fossilisation et de la formation des oryctocénoses. Signalons que les analyses détaillées du pourcentage de conservation des substances organiques dans des restes se fossilisant à l'intérieur de roches différentes et dans des gisements d'époques différentes, rendent possible la reconstitution de la durée des différents intervalles de temps géologique. Pour cela il faut obtenir des données sur les pourcentages où substances organiques se conservant pour certains types de roches données et dans certaines conditions de fossilisation des restes.

Les deux sources - données directes et comparées des recherches taphonomiques - englobe le cercle des questions constituant cette science. L'accumulation de données sur la lithocimnemie des annales géologiques dans le passé et dans le présent, permettra à l'avenir, d'élargir nos connaissances, non seulement dans le domaine de ce qui est conservé; mais aussi dans celui des lacunes de la documentation paléontologique. Une application directe des lois de conservation des sédiments continentaux dans le temps, indissolublement liées à celles de la conservation des documents paléontologiques de la vie terrestre, est le calcul du rapport des formes terrestres enfouies aux formes disparues dans les différents niveaux géologiques. La détermination des superficies et des masses des niveaux continentaux et des superficies d'enfouissement à l'intérieur de ces niveaux donnera le rapport des superficies d'enfouissement aux superficies de sédimentation. La détermination des rapports des ultra-faciès ayant résisté au cours des temps à la destruction, avec les régions d'érosion des anciens continents, nous permettra de reconstituer en gros les aires d'habitat de l'ancienne vie terrestre et de compléter sensiblement nos notions paléozoogéographiques. La détermination du pourcentage moyen de la teneur en restes floristiques et faunistiques terrestres dans les masses d'ultra-faciès et sa comparaison avec les infra-faciès, peut nous orienter dans nos recherches de nouveaux gisements. En nous basant sur les lois fondamentales de la lithocimnemie, nous pouvons entreprendre de nouvelles recherches de formes de la flore et de la faune, non pas à l'avouglé, mais en nous guidant sur leur répartition scientifiquement établie et en connaissant le caractère des faciès des gisements possibles. Ainsi, par exemple, pour faire des recherches de faune paléozoïque dans les régions intracontinentales nous devons concentrer notre attention sur la recherche d'ultra-faciès importants intracontinentaux, tels que peuvent être les dépôts des dépressions considérables du type sans écoulement ou inter-montagneux, ou des grandes plaines alluviales.

CONCLUSION

Les annales géologiques de l'histoire de la Terre et de la vie sur les continents représentent une sorte de projection des anciens processus de sédimentation et de succession des faunes dans le temps, dont l'influence déterminante est tout à fait évidente. L'absence de notions sur le caractère de l'influence du temps sur les lacunes des annales géologiques, la déformation du temps géologique, sont les difficultés fondamentales de certaines sciences telles que la géologie et la paléontologie, qui opèrent avec des processus historiques d'une durée considérable, presque inconcevable. La taphonomie, avec la litholeimonomie, en tant que science des lois de conservation des documents des annales géologiques dans le temps, permet de vérifier l'exactitude des contributions théoriques de la paléontologie et des reconstitutions des conditions physico-géographiques des continents du passé éloigné de notre planète.

La taphonomie "capte" les liens du monde organique avec les conditions de vie d'un passé perdu dans les profondeurs des temps révolus, mais ayant marqué leur empreinte sur les processus de formation des gisements, dans les actions mutuelles des différents facteurs de la biosphère et de la lithosphère.

Connaissant les lois de formation des documents paléontologiques, la taphonomie peut, grâce à ses recherches, fournir aux constructions paléontologiques des éléments de précision, dont la paléontologie a un tel besoin. Les annales géologiques, grâce à la litholeimonomie sont passibles d'une explication scientifique de leurs lacunes. Ainsi, la partie du monde organique terrestre échappée aux annales géologiques peut être reconstituée et comparée à la partie conservée dans les annales géologiques.

Il n'y a pas de doute que le développement des recherches taphonomiques et litholeimonomiques, avec l'accumulation des données, nous permettra de connaître des lois grâce auxquelles nous pourrions, par endroits, pénétrer au-delà des limites des temps, qui nous cachent certaines parties des continents et l'histoire de leur peuplement au cours des anciennes époques géologiques. Cette pénétration à l'intérieur des anciens continents, à partir de leur rivages, grâce à des données relatives aux parties centrales disparues, constitue le côté le plus intéressant des recherches taphonomiques.

BIBLIOGRAPHIE

N.B. Il nous a semblé intéressant de signaler dans la bibliographie les articles déjà traduits par nous (Trad. C.E.D.P.).

- 1- BORISSIAK A.A. Bilan des gisements de Mammifères terrestres sur la territoire de l'URSS. Ed. Etat Kirghiz-Frounze. 1943.
- 2- BUBNOV A. 1937. Problèmes fondamentaux de la géologie.
---- 1935. Géologie de l'Europe. T. II, M.-L.
- 3- BYSTROV A.P. & EFREMOV I.A. 1940. Benthosuchus sushkini, Labyrinthodonte de l'Eotrias de la riv. Charjenga. Trav. Inst. Paléont. t.9.

- 4- VEBER V. 1929. Migration des deltas secs du Ferghana. J. Géol., T. 7, 1-3.
- 5- VINOGRADOV A.P. 1945. Connaissance chimique de la biosphère. Pédo-
logie, N° 7.
- 6- HECKER R.F. 1941. Problèmes de paléoécologie dans l'étude du pro-
blème de l'évolution du monde organique. Izv. Akad. Nauk SSSR,
Sér. biol., N° 1. Trad. CEDP.
1948a. Les problèmes de la paléoécologie. Bull. Soc.
Natur. Moscou, Sect. géol., T. 27, N° 1.
1948b. Le fossile jurassique dans la chaîne de Kara-
Tou. Trav. Inst. Paléont., T. 15, N° 1.
1948c. Exemple d'étude paléoécologique des roches sé-
dimentaires. Rec. lithol. Inst. Pétrole sov., N° 1.
- 7- GHERASSIMOV I.P. & MARKOV L.K. 1939. La période glaciaire sur le
territoire de l'URSS. Trav. Inst. géogr., N° 33.
- 8- EFREMOV I.A. 1933. Deux champs de mort des époques géologiques an-
ciennes. Priroda, N° 8.
1935. Elimination des formes intermédiaires dans les
conditions d'enfouissement des anciens Quadrupèdes. Trav. Inst.
Paléont., T. 4.
1936. Lois d'enfouissement en paléontologie des an-
ciens Vertébrés terrestres. Priroda, N° 4.
1939. Signification des bassins continentaux du Paléo-
zoïque supérieur de Sibérie pour la paléontologie des anciens
Vertébrés. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. biol., N° 2.
1940a. La taphonomie, nouvelle branche de la paléonto-
logie. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. biol., N° 3.
1940b. Description préliminaire de nouvelles formes de
Tétrapodes permien et triasiques de l'URSS. Trav. Inst. Paléont.,
T. 10.
1946. Au sujet de la sous-classe des Batrachosauria,
groupe de formes intermédiaires entre les Reptiles et les Amphi-
biens. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. biol., N° 6.
1948. Les faciès gondwanien des continents de l'hémis-
phère nord. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. géol., N° 1. Trad. CEDP.
- 9- JEMTCHOUKOV Iou.A. 1923. Types de stratification oblique dans les
formations sédimentaires. Inst. géogr. pétrogr.
1948a. Sur l'état actuel de la méthode d'actua-
lisme en lithologie. Recueil lithol. Inst. Pétrole URSS, N° 1.
1948b. Qu'est-ce que la faciès. id. N° 1.
1948c. Géologie générale des houilles fossiles.
2ème édit. Ed. Technique houillère.
- 10- JOUKOV M.M. 1946. Au sujet des lacunes des annales géologiques du
point de vue de l'hypothèse des "asiles". Bull. Soc. Natur. Mos-
cou, Sect. géol., T. 21, N° 4. Trad. CEDP.
- 11- KACHKAROV D.M. 1945. Bases de l'écologie des animaux. Ed. pédagogi-
ques.
- 12- KERNER-MARILAU F. 1902. La vie des végétaux. St-Petersbourg.
- 13- KOVDA V.A. 1944. Cycle biologique du mouvement et de l'accumulation
des sols. Pédo-logie, N° 4-5.
1948. Méthode pédo-génétique. Nouveautés de la technique
pétrolière. Géol., N° 1.
- 14- KRICHTOFOVITCH A.N. 1941. Paléobotanique. Leningrad.
- 15- LITCHKOV B.L. 1931-32. Au sujet des glaciations anciennes et des
grandes plaines alluviales. T. I et II. Notes Inst. hydrol.,
T. IV, 1931 et T. VI, 1932.

- LITCHKOV B.L. 1944. Formation des sols, ses causes et ses conséquences. I. Lithogénèse actuelle dans les plaines continentales. Pédologie, N° 1.
- 1945a. Formation des sols, dénudation et variation du monde organique. Dokl. Akad. Nauk SSSR, Nouv. sér., T. 47, N° 2.
- 1945b. Les périodes géologiques et l'évolution de la matière vivante. J. Biol. générale, T. 6, N° 3. Trad. CEDP.
1946. Variations du relief et évolution des formations pédo-limoneuses des continents et des mers au cours de l'histoire de la Terre. Izv. Annexe SSR Tadjikie, Stalindrag, N° 1.
- 16- NALIVKINE D.V. 1933. Etude des faciès.
- 17- NAOUMOVA S.N. 1948. Spores provenant des dépôts cambriens et siluriens. J. Acad. Sci. URSS, N° 10.
- 18- NEUMAYER G. 1903. Histoire de la Terre. St-Petersbourg.
- 19- NIKOLAEV N.I. 1946. Types génétiques des dépôts continentaux les plus récents. Bull. Soc. Natur. Moscou, Nouv. sér., T. 51, Sér. géol., T. 21, N° 4.
- 20- POPOV V.N. 1947. Au sujet du développement stadial des paysages de faciès. Bull. S.A.G.Ou., N° 25. Tachkent.
- 21- POTONIE G. 1934. Origine de la houille et des autres caustobio-lites. ONTI, Moscou.
- 22- POUSTOVALOV L.V. 1937. Conditions de sédimentation au cours du Permien supérieur. Problèmes de Géol. Sov., T. 7, N° 11.
- 23- SAMOILOV Ia.V. 1929. La paléophysologie (paléobiochimie), sa signification géologique. Rev. "Biolithes".
- 24- SEVERTZOV S.A. 1941. Dynamique des populations et évolution adaptative des animaux. Moscou.
- 25- STRAKHOV N.M. 1945a. Zonalité climatique au cours du Paléozoïque supérieur dans le N.W. de l'Eurasie. Géol. Sov., Rec. 6.
- 1945b. Au sujet de la lithologie comparée et des problèmes immédiats qu'elle pose. Bull. Soc. Natur. Moscou, N.S., T. 50, Sér. géol., T. 20, N° 3-4.
- 1945c. Sur la signification des bassins lacustres et des lagunes actuels pour la connaissance des processus de sédimentation. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. géol., N° 1.
1946. Les types historico-géologiques de sédimentation. Izv. Akad. Nauk SSSR, Sér. géol., N° 2.
1947. Les faciès ferrifères et leurs équivalents dans l'histoire de la Terre. Trav. Inst. géol., N° 73, Sér. géol., N° 22. Trad. CEDP.
- 26- SOUCHKINE P.P. 1928. Sur les régions de hautes montagnes du globe terrestre et la partie de l'homme primitif. Priroda, N° 3.
- 27- TWENHOFEL G. 1932. Bases de la formation des sédiments. Moscou.
- 28- TOUTKOVSKII P.A. 1909. Déserts fossiles de l'hémisphère Nord. Pédologie (appendice).
- 29- ABEL O. 1935. Vorzeitliche Lebensspuren. Jena.
- 30- ANDREE K. 1924. Das Meer und seine geologische Tätigkeit. Publié dans Salomon-Calvi. Grundzüge der Geologie. Bd. 1.
- 31- BARRELL J. 1906. Relative geologic importance of continental littoral and marine sedimentation. Journ. Geol., Vol. 16.
1908. Relation between climate and terrestrial deposits. Journ. Geol., Vol. 16.
1912. Criteria for the recognition of ancient delta deposits. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 23.

- BARRELL J. 1913. The Upper Devonian Delta and the Appalachian geosyncline. Amer. Journ. Sci., Vol. 36 a. 37.
1916. Dominantly fluvial origin under seasonal rainfall of the Old Red Sandstone. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 27.
- 32- BERRY E. 1922. Environmental interpretation of fossil plants. Pan-Am. Geol., Vol. 38.
- 33- BRANSON E. 1912. A Mississippian Delta. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 23.
- 34- BRENNER H. 1939. Paläophysiologische Untersuchungen an der fossilen Muskulatur aus der eoänen Braunkohle des Geiseltales. Nova Acta Leopoldina, Bd. 47.
- 35- BRINKMANN R. 1926. Tektonik und Sedimentation in deutschen Triasbecken. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges. (Abhandl.).
- 36- BROILI F. 1932. *Anthracosaurus raniceps* Goldammer. Zentralbl. Miner. etc. Abt. B, N° 1.
1938. Über ein neues Wirbeltier aus dem oberen Jura von Franken. Sitzungsber. Bayer. Akad. Wiss.
- 37- BUBKOFF S. 1935. Das Alter der Erde und der Gang der Erdgeschichte. Naturwiss.
- 38- CASE E.C. 1915. The permocarboniferous Beds of North America and their vertebrate Fauna. Publ. Carnegie Institution, N° 207, Washington.
- 39- CHESTNUT V.K. 1901. The Stock Poisoning Plants of Montana. U. S. Dept. Agric. Div. Botany, Bull. 26.
- 40- CHEVALIER A. 1909. Les tourbières de rochers de l'Afrique tropicale. C.R. Acad. Sci. Paris, V, CLXIX.
- 41- DAWSON J. 1871. The fossil plants of the Devonian and Upper Silurian Formations of Canada. Journ. Geol. Surv. Canada. Montréal.
- 42- DEECKE W. 1923. Die Fossilisation. Berlin.
- 43- DUPARQUE A. 1935. Structure microscopique du charbon, etc.. Mém. Soc. Géol. du Nord. T. XI.
- 44- EISELEY L. 1945. The Mastodon and early man in America. Science, v. 102, N° 264.
- 45- ELTON C. 1927. Periodic fluctuations in the number of Animals, their Cause and Effects. Brit. Journ. Exper. Biology, vol. II.
1931. The study of epidemic diseases among wild animals. Jour. of Hygiene. v. XXXI, N° 4.
- 46- GOLDENBERG F. 1873. Fauna Saarapontana fossilis. I. Heft, Saarbrücken.
- 47- GOTHAN W. 1924. Paläontologische Betrachtungen über die fossile Pflanzenwelt. Berlin.
- 48- GREGORY J.W. 1896. The Great Rift Valley. London.
- 49- GREGORY J.T. 1948. A new limbless Vertebrate from the Pennsylvanian of Mazon Creek. Amer. Journ. Sci., Vol. 246, N° 10.
- 50- HARRASSOWITZ H. 1922. Aride Erzanreicherung und die Entstehung des Kupferschiefers. Ber. d. Versamml. d. Niederrhein. Geol. Vereins, 1917-1922. Bonn.
1926. Laterit. Fortschr. d. Geol. u. Pal. Bd. 4, Heft 14.
- 51- HECHT F. 1933. Der Verbleib der organischen Substanz der Tiere bei geologischer Einbettung. Senckenbergiana. Bd. 15.
- 52- HUENE F. 1925. Die südafrikanische Karrooformation als geologisches und faunistisches Lebensbild. Fortschr. d. Geol. u. Pal. H. 12.
- 53- JONG C.M. 1930. A year on the Great Barrier Reef. New York.

- 54- KAISER E. 1933. Der Grundsatz des Aktualismus in der Geologie. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges., Bd. 83, II, 6.
- 55- KERNER-MARILAUN F. 1934. Paläogeographie. Berlin.
- 56- KEYES CH. 1937. Genetic Setting of some American Red Beds. Pan-Amer. Geol., v. 69, No 3.
- 57- KRAUS E. 1921. Zur Stratigraphie u. Paläogeographie des reichs-ländischen Bundesansteins. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges.
- 58- KRUMHOLTZ O. 1912. Handbuch der Ozeanographie. Bd. I, Stuttgart.
- 59- KUKUK P. 1938. Die Geologie des niederrheinischen westfälischen Steinkohlengebiets. Berlin.
- 60- KUMEROV E. 1932. Die aktualistische Methode in der Geologie. Zeitschr. deutsch. Geol. Ges., Bd. 84.
- 61- LULL R.S. 1915. Triassic Life of the Connecticut Valley. Connect. Geol. Soc. Bull. V. 24.
- 62- MacGREGOR A.M. 1927. The problem of the Precambrian atmosphere. South African Journ. of Sci., Vol. 24.
- 63- MATTHEWS A.A. 1936. Evidence of flying Reptile from the Permian. Proc. Geol. Soc. Amer. for 1935. New York.
- 64- MATTHEWS W.D. 1915. Climate and evolution. Annals New York Acad. Sci., vol. 24.
- 65- MOODIE R.L. 1916. Coal Measures Amphibia of North America. Publ. Carnegie Inst. Washington.
1923. Palaeopathology. Urbana, Illinois.
- 66- NICHOLSON A.J. 1933. The balance of animal population. Journ. of Animal Ecology, Vol. 2, No 1.
- 67- NOWACK E. 1937. Zur Kenntnis der Karbonformation im Ruhuhu-Graben. Neues Jahrb. für Miner. etc., Beil.-Bd. 78, Abt. B., H. 3.
- 68- OLSON E.C. 1946. Fresh- and brackishwater vertebrate-bearing deposits of the Pennsylvanian of Illinois. Journ. of Geol., Vol. LIV, No 5.
- 69- OSBORN H.F. 1906. The Causes of Extinction of Mammals. Amer. Naturalist. Vol. XL, NN 479-480.
1910. Age of Mammals. New York.
- 70- PAINE G. 1937. Fossilisation of Bone. Amer. Journ. Sci., Vol. 35.
- 71- PRICHARD H. 1902. Through the Heart of Patagonia. New York.
- 72- PURKYNE C. 1902. Zur Kenntnis der geologischen Verhältnisse des mittelböhmisches Steinkohlenbeckens. Wien.
- 73- QUENSTEDT W. 1931. Taphocoenose ... etc.. Neues Jahrb. für Miner. etc. Beil.-Bd.
- 74- RICHTER R. 1928. Aktuopaläontologie, und Paläobiologie, eine Abgrenzung. Senckenbergiana, Bd. 19, H. 6.
- 75- ROGERS A.F. 1924. Mineralogy and petrography of fossil bone. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 35.
- 76- ROMER A.S. 1935. Early history of Texas Red Beds Vertebrates. Bull. Geol. Soc. Amer., V. 46.
- 77- ROMER A.S. & GROVE B.H. 1935. Environment of Early Vertebrates. Amer. Midl. Nat., 16.
- 78- RUSSEL R.J. & HOWE H.V. 1936. The Lower Mississippi River Delta. Louisiana Geol. Surv. Geol., Bull. No 8, New Orleans.
- 79- SALOMON-CALVI W. 1918. Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsber. Akad. Heidelb., Math. Kl., Abt. A, Abh. No 1.
1926. Gibt es Gesteine, die für bestimmte Erdperioden charakteristisch sind. Sitzungsber. Akad. Heidelb., Math. Kl., Abt. A., Abh. 9.
1933. Die permokarbonischen Eiszeiten, Leipzig.

- 80- SANDBERG C. 1932. Der Grundsatz des Aktualismus und die Bestimmung gewisser Ablagerungen als glaziogene. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges., Bd. 84.
- 81- SAVILLE Kent. W. 1893. On the Great Barrier Reef of Australia. London.
- 82- SÄVE-SÖDERBERG G. 1932. Notes on the devonian stratigraphy of East Greenland. Meddelelser om Grønland. Bd. 94, N° 4, København.
- 83- SCOTT W. 1937. A history of Land Mammals in the Western Hemisphere. 2 ed. New York.
- 84- SIMPSON G.G. 1940. Review of Mammal-Bearing Tertiary of South-America. Proceed. Amer. Philos. Soc., Vol. 83.
- 85- THIESSEN R. & WHITE D. 1913. The origin of coal. Bull. U. S. Bureau of Mines, Vol. 38.
- 86- VOIGT E. 1935. Die physikalischen und chemischen Bedingungen der Erhaltung von Wirbeltierresten in der Braunkohle des Geiseltales. Naturwiss. Berlin.
- 87- WALTHER J. & WEIGELT J. 1932. Die cozzine Lebewelt in der Braunkohle des Geiseltales. Nova Acta Leop., N.F. Bd. I, H. 1.
- 88- WALTON J. 1940. An introduction to the study of fossil plants. London.
- 89- WASMUND E. 1926. Biocoenose und Thanatocoenose. Archiv. für Hydrobiologie, Bd. 17.
1935. Die Bildung von anabituinosen Leichenwachs unter Wasser. Erdölmuttersubstanz. Schrift a. d. Gebiet d. Brennstoff. Geol., Heft 10, Stuttgart.
- 90- WATSON D.M. 1926. The carboniferous Amphibia of Scotland. Palaeont. Hungarica. v. 1.
- 91- WEIDENREICH F. 1945. Apes, Giants and Man, New York.
- 92- WEIGELT J. 1927a. Rozento Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung Leipzig.
1927b. Über Biostratonomie, eine Betrachtung. Der Geologe N° 42.
1928. Die Pflanzenwelt des mitteldeutschen Kupferschiefers und ihre Einschaltung ins Sediment. Berlin.
1933. Die Biostratonomie der 1932 auf der Grube Cäcilie im Geiseltal entdeckten Leichenfelder. Nova Acta Leop., Bd. I, H. 2/3.
1939. Die Biostratonomie der Geiseltalgrabungen den Jahren 1937/38. Nova Acta Leop., Bd. 7, N° 74.
- 93- WEPFER E. 1916. Ein wichtiger Grund für die Lückenhaftigkeit paläontologischer Überlieferung. Centralbl. für Miner. etc ...
1922. Terrestrische Einflüsse bei der marinen Sedimentation und ihre Bedeutung. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges., Bd. 74.
1923. Der Buntsandstein des Badischen Schwarzwaldes und seine Labyrinthodonten. Berlin.
- 94- WHITE D. 1933. The Role of Water Conditions in the Formation and Differentiation of Coal. Economic Geology, Vol. XXVIII, N° 6.
- 95- WILSER J. 1931. Lichtreaktionen in der fossilen Tierwelt. Berlin.
- 96- YOUNG R.B. 1928. Pressure phenomena in the dolomitic limestone of the Campbell Rand Series in Criquealand West. Trans. Geol. Soc. South Africa, Vol. 31.
- 97- ZELICKO J. 1936. Weitere neue Bologo über die Ursachen des Massentodes rezenter Wirbeltiere. Paläont. Ztschr., Bd. 18.
- 98- ZUIDEMA H.P. 1947. A marsupial "tiger" is found in Nebraska. The Earth Sci. Digest., Vol. 2, N° 1.

Planche 2.

Fig. 4. Empreinte d'un quadrupède dévonien: *Thinopus antiquus*. Amérique du Nord.

Fig. 6. Plan schématique et profil de la répartition des restes de Vertébrés et de Végétaux dans les horizons les plus inférieurs du champ minier de l'ancienne mine de Klioutchevo (SSR de Bachkirie). A-B: coupe. Les tirets épais délimitent le champ des anciennes exploitations (1750-1790); les tirets-points délimitent le champ des dernières exploitations (1790-1820); les tirets courts indiquent le champ de la partie méridionale des mines de Kargaline (1730-1770).

1- Lentille ossifère principale des mines de Kargaline; 2- accumulation d'os dans les nouveaux puits orientaux des mines de Kargaline; 3- principales lentilles ossifères des anciennes mines de Klioutchevo; 4- principales lentilles des conglomérats miniers; 5- id. pour les mines de Kargaline; a- grès tendres; b- conglomérats à petits galets; c- conglomérats à gros galets tendres; d- conglomérats contenant des fragments de vap (argiles calcaireuses); e- troncs silicifiés de *Walchia*; f- districts riches en restes végétaux charbonneux; g- lentilles de marnes sableuses cuprifères; h- surface érodée des argiles calcaires rouges; i- os de Vertébrés terrestres;

Fig. 7. Plan schématique de la répartition de restes de Vertébrés dans le champ principal des mines de Kargaline dans la région de Tchkalovo.

1- Lentille de marnes des mines de Kouzmina; 2- lentille de marnes des mines d'Oural-Bertuzovo; 3- id. des mines de Nikolai; 4- accumulation d'os dans les grès des mines de Kazemnyi (de Staromiasnikovo); 5- lentilles de grès ossifère des mines de Iov, d'Arkhangolsk et de Pravsk; 7- région des grès stratifiés non miniers contenant des restes de Végétaux; 8- lentille de marnes des mines de Smojnyi; 9- lentilles de marnes des mines de Rajdastvonsk; 10- grosses lentilles de grès et de conglomérats des mines de Tchcherbakovo.

La région avec hachures inclinées n'est pas connue en détail. Le plan a été tracé d'après les horizons les plus profonds du niveau minier; a- argiles calcaires rouges (vap); b- grès; c- marnes grises cuprifères; d- grès argileux stratifiés contenant des restes végétaux; e- grès grossiers et conglomérats à gros galets marneux; f- marnes blanches azoïques, minières; g- grès argileux stratifiés contenant des Insectes; h- troncs silicifiés de *Walchia*; i- arêtes de Poissons; j- os de Stégo céphales; k- os de Reptiles.

Fig. 8. Plan des fouilles du gisement d'Ichevo dans le ravin de Kamennyi.

1- Squelette de Dinocéphale carnassier, trouvé en 1929; 2- accumulation de crânes, de côtes et de ceintures de membres extraits au cours des fouilles entreprises par le Musée géol. central en 1931; 3- squelette d'*Ulemosaurus* couché sur le dos; 4- squelette de Dinocéphale trouvé en 1934; 5- squelettes partiellement dispersés de gros Dinocéphales carnassiers, 1935; 6- crâne de Batrachosaurien-*Lanthanosuchus*, 1939; 7- crâne de Stégocéphales; 8- crâne de *Gliorhizodon*.

a- superficie érodée en ravin; b- superficie de développement de sable grossier pur, contenant des galets d'argile et de pe-

tits os roulés; c- surface de développement de sable argileux; d- contours des fouilles effectuées par le Musée géol. central 1930-31; e- contour des fouilles de l'Inst. paléontol., 1939; f- fouilles de l'Inst. Paléontol. 1936; g- ibid. 1935; h- restes de Stégocéphales; i- restes de Selachii; j- restes de Venjukovia; k- restes de Seymouria; l- restes de gros troncs de Végétaux; m- restes d'Ulemosauria herbivores; o- restes de Dinocéphales carnivores; les squelettes ne sont pas dessinés à l'échelle.

La flèche: N-S.

Fig. 9. Plan schématique d'une partie du gisement de Belobei, près de cette ville. Les squelettes ne sont pas dessinés à l'échelle (fortement grossis).

1- Squelette de Stégocéphalo-Platyops; 2- accumulation d'os isolés de Stégocéphales; 3- squelette de Cotylosaurus; 4- squelette de petit Cotylosaurus; 5 et 6- squelettes incomplets de petits Cotylosaurus couchés sur le dos.

a- grès et sable compact; b- argiles sableuses à racines charbonnuses; c- os isolés de Cotylosaurus; d- petits troncs végétaux; e- os isolés de Stégocéphales; f- os isolés de Pelycosaurion.

Fig. 13. Reconstitution de l'accumulation de cadavres de Stégocéphales - Micropholis, dans les dépôts triasiques du Karroo en Afrique du S. Réduit. Comparer à pl. I, fig. 2.

Planche 3

Fig. 10. En haut: plan schématique de l'angle N.E. des carrières de Chikhovo-Tchirkhov. La stratification inclinée pointillée indique les limites de la couche de "boliak" (couche de calcaire marnoux blanc) ne contenant pas de restes organiques. Le plan est tracé suivant le niveau de cette couche.

1- superficie de "boliak" sans faune; 2- boliak avec de rares écailles de Poissons; 3- boliak avec restes de Poissons; 4- boliak avec restes de Poissons et individus jeunes de Stégocéphales; 5- Restes de Stégocéphales et Reptiles adultes; 6- entrée de galerie de mine; 7- limites d'exploitations minières; 8- entrée de galerie creusée par l'Institut de Paléontol.; 9- escarpement de la terrasse de Viatka.

En bas: coupe du même angle.

1- niveau de calcaires massifs et stratifiés, gris-clair et jaunâtre; 2- couche de calcaire blanc marnoux "boliak"; 3- calcaire gris, dur, contenant de la dolomie "dikar"; 4- gypse et dolomie.

Fig. 11. Schéma de lits de delta d'âge permien dans la région des principales lentilles de la Petite Dvina du Nord.

1- région submergée par le delta, avec courants lents (marnes); 2- canaux sous-aquatiques creusés dans les sédiments du delta par les filets d'eau à courant rapide; 3- accumulations d'os et de squelettes de Vertébrés terrestres dans des lentilles sableuses; 4- restes végétaux dans les lentilles; 5- lentille de Sokolka.

Fig. 12. Plan des fouilles de l'angle N.W. de la lentille de Sokolka: contour des concrétions de grès avec des squelettes de Reptiles et leur disposition relative. Fouilles de V.P. Amilitzkii sur la Petite Dvina du Nord.

- Fig. 14. a- Coupe du niveau ossifère de la zone V, dans les régions méridionales (bassin de la Volga et de la Vatlouga); b- coupe de ce même niveau dans les régions septentrionales (bassins de Ioug, Lelo et Petchora).
1- "vap" rouges (argiles calcaires); 2- sables argileux;
3- grès ossifères conglomératoïdes; 4- restes de vertèbres.
- Fig. 15. Type d'accumulation des restes de gros Stégocéphales (Buctinoria), caractéristique des gisements de la zone V en URSS et des couches, plus élevées, du Trias en Amérique du Nord. Fortement réduit.
- Fig. 16. Plan schématique du lit ossifère principal du gisement de Nemegheton, Gobi du Sud (République populaire de Mongolie).
a- sables et grès lacustres azoïques; b- sables et grès de la zone inférieure du lit; c- conglomérats des zones supérieure et moyenne; d- os isolés et portions de squelettes de Sauropodes; e- squelettes entiers de Sauropodes; f- squelettes entiers de gros Carnosauriens; g- restes dissociés de gros Carnosauriens; h- squelettes entiers de Tortues; i- squelettes entiers de Trachodontes; j- restes dissociés de Trachodontes; k- squelettes de petits Dinosauriens carnivores; l- restes de Crocodiles; m- accumulations de restes de Poissons et de Mollusques d'eau douce.

Planche 4

- Fig. 17. Coupe du principal lit ossifère du gisement de Nemegheton.
1- grès azoïques du niveau lacustre; 2- argiles sableuses rouges inférieures; 3- sables et grès gris contenant des lentilles d'argiles calcaires brunes; 4- sables jaunes stratifiés; 5- graviers et conglomérats à stratification oblique; 6- conglomérats.
a- restes de Crocodiles; b- restes de gros Dinosauriens; c- restes de Tortues.
- Fig. 18. Schéma, en coupe transversale de l'ancien lit du gisement d'Erghil-Obo (Gobi oriental).
a- argiles rouges azoïques (Eocène); b- grès argileux clairs, à grain fin (Eocène); c- sables et grès lacustres; d- série de sables gris, contenant des couches intercalaires de petit gravier (Oligocène inférieur); e- sables et graviers à stratification fortement oblique; f- conglomérats jaunes et galets; g- restes de gros Mammifères; h- restes dissociés de petits Mammifères et de Tortues; i- restes de grosses Tortues de type terrestre; j- parties reconstituées de la coupe, en réalité érodées.
- Fig. 19. Diagramme de conservation des faciès continentaux au cours du temps. L'angle XOА est d'autant plus grand que la dénudation est plus faible et, au contraire, il est d'autant plus petit que la dénudation est plus forte.
- Fig. 20. Schémas d'ultra-faciès et d'infra-faciès dans le temps.
Kz: Cénozoïque; Mz: Mésozoïque; Pz: Paléozoïque.
- Fig. 21. Schéma d'ultra-faciès et d'infra-faciès ou, gradins de destruction du continent au cours du temps. Pour simplifier le schéma nous avons supposé une élévation régulière du continent en allant du littoral vers son centre.
- Fig. 22. Degré de destruction
Sur la figure de gauche à droite en suivant les courbes: Plateau, versants montagneux, grottes, alluvions des cours

supérieurs, terrasses fluviales du cours supérieur, sols de plateaux, forêts sèches, terrasses du cours moyen, lacs et marécages, déserts, cours inférieurs des rivières, plaines, grands marécages, embouchures des fleuves, deltas subaériens, importantes dépressions sans écoulement, base d'érosion (indiqué par la petite flèche en haut à droite), deltas sous-aquatiques, littoral, zone néritique, zone bathyale.

Sur la flèche de gauche à droite: blocs, blocs erratiques, galets, graviers, sables, sables, argiles, carbonates.

Au sommet de la flèche: morcellement graduel

En abscisses: le temps - durées d'existence des faciès.

- Fig. 23. Zones de conservation des sédiments continentaux dans des districts à élévations et affaissements de longue durée.
1- zone de conservation I; 2- zone de conservation II;
3- *ibid.* III.

Fig. 24. Profil suivant la droite A-B (même zone de conservation).

Fig. 26. Contraction du temps pour les faunes anciennes. O-X: formes; AB: temps réel; CD: temps apparent.

Fig. 28. Diagramme des dimensions relatives des accumulations de restes organiques nécessaires à la formation de gisements au cours des différentes époques géologiques.

Planche 5

Fig. 25. Schéma des zones fondamentales des ultra-faciès et des infra-faciès et du degré de destruction à la surface d'un continent actuel.

1- Infra-faciès de plateau; degrés élevés et de faible durée de la destruction; 2- infra-faciès de plateaux et de stopes élevées, ainsi que de cours supérieur de fleuves; degrés de destruction de stabilité moyenne; 3- infra-faciès des régions de sédimentation à la surface subaérienne des continents - versants de vallées, en partie, les plaines pré-montagneuses et plaines intra-continentales; 4- les plus petits ultra-faciès de plaines inondées, de cours inférieurs de fleuves, de dépressions continentales; 5- ultra-faciès appartenant encore à la surface subaérienne du continent: parties subaériennes des deltas, dépressions pré-montagneuses, parties sous-aquatiques de deltas, bassins lacustres, situés dans d'importantes régions d'affaissement; 6- ultra-faciès des parties sous-aquatiques des deltas, des régions sub-littorales de la sédimentation dans les zones d'affaissement continu; 7- régions de plate-forme continentale, qui dans les cas d'affaissement, conservent les ultra-faciès des apports lointains des eaux continentales.

Fig. 32. Répartition des rostes transversalement à l'axe du courant d'après la puissance des filets d'eau.

1- filet de force maxima; 2- filet de force moyenne; 3- filet de force minima; 4- érosion; 5- gros rostes; 6- petits rostes.

Fig. 36. Dénudation des gisements par érosion (plan):

A- Région à affleurement moyen

B- Région du type des bad-lands.

Fig. 37. Déficience apparente et mortalité de la faune.

Destruction totale

Faune déficiente

Epanouissement et apparition soudaine.

- Fig. 38. Niveaux d'érosion accidentels actuels.
Fig. 39: Structure des gisements du premier groupe.
Fig. 40. Structure des gisements du second groupe.
Fig. 41. Typos de gisements d'après le caractère de répartition des restes organiques à l'intérieur de la couche ossifère.
 a,b; profil; c,d,e: plan.

Planche 6

- Fig. 42. Schéma des rapports des types d'adaptations des formes terrestres représentées dans les gisements des différentes ères géologiques. Les parties hachurées sont celles qui se conservent dans les annales géologiques. Pour le Cénozoïque nous indiquons un rapport égal des formes à adaptations aquatiques et terrestres, en supposant que ces adaptations sont en parties enfouies dans des ultra-faciès, encore non mis à nu, se trouvant dans les annales géologiques.
 Sur la première figure en partant du bas: Formes à adaptation terrestre; formes à tendance à la vie aquatique; sur la seconde figure: adaptation terrestre, adaptations aquatiques, adaptations à tendance aquatique; sur la troisième figure: id. la seconde.
- Fig. 43. Schéma des rapports de la partie du monde animal (vertébrés terrestres) enfouie dans les annales géologiques (id. pour les végétaux) à la partie réellement existante au cours des différentes ères de l'histoire géologique.
 De gauche à droite: Paléozoïque, Mésozoïque, Cénozoïque.
- Fig. 44. Diagramme d'enfouissement au cours de périodes de diastrophisme et de calme.
- Fig. 45. Carte schématique des marécages d'Okefinoka en Géorgie (Etats Unis). Le pointillé représente les districts sableux, se desséchant pendant les périodes de baisse des eaux. Les petits arbustes désignent des forêts inondées de *Taxodium*; les taches blanches, des lacs et des surfaces d'eaux stagnantes; les lignes noires, des lacs pourvus d'écoulement et des lits de rivières.



Fig. 2.

Fig. 3.



Fig. 5.

Fig. 1. Concrétion d'hématite argileuse contenant un squelette presque complet de *Miobatrachus*, ancêtre probable des Amphibiens modernes. Carbonifère supérieur. Mason-Creek, Etats-Unis. x 1.

Fig. 2. Larve de *Branchiosaurus*, avec empreinte des parties molles du corps, du foie et de l'estomac. Carbonifère supérieur. Mason-Creek, Etats-Unis. x 2,

Fig. 3. Peuplement dégagé des souches de *Lepidodendron*, avec les systèmes radiculaires conservés dans un sol houiller sous-aquatique, situé dans un grès argileux du Carbonifère supérieur. Environs de Glasgow. Ecosse.

Fig. 5. Type de conservation habituel des squelettes de *Diplocaulus* (*Stégocéphales-Nectridia*) dans les couches rouges du Texas. Du squelette il ne reste que le crâne et la colonne vertébrale.

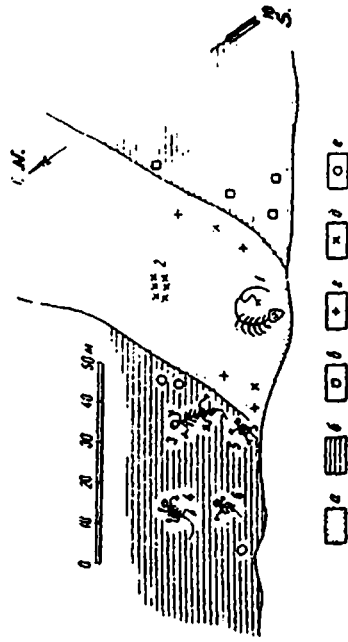


Fig. 1

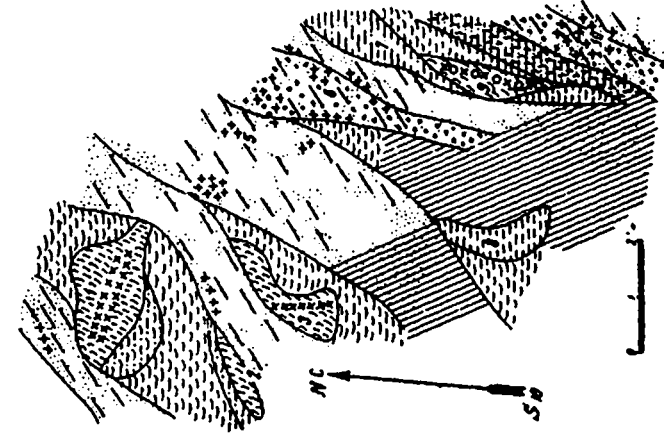


Fig. 2



Fig. 3

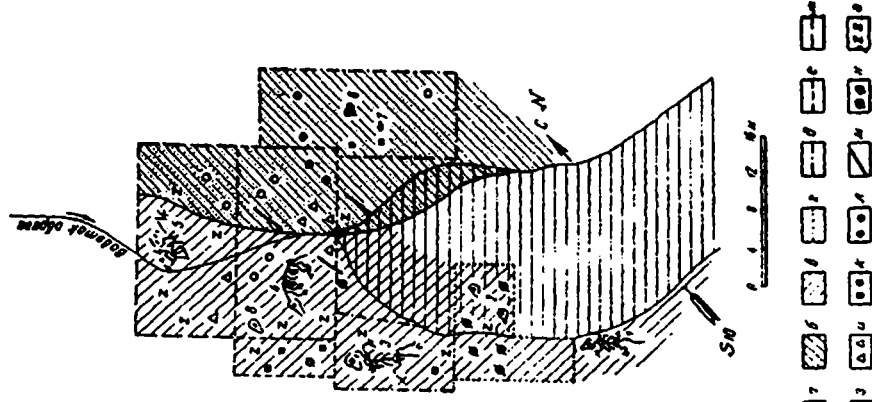


Fig. 4

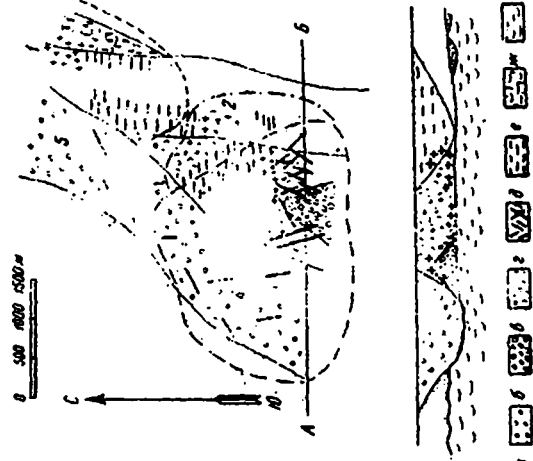
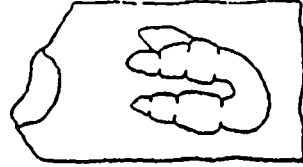


Fig. 5

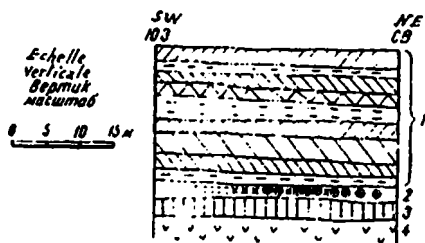
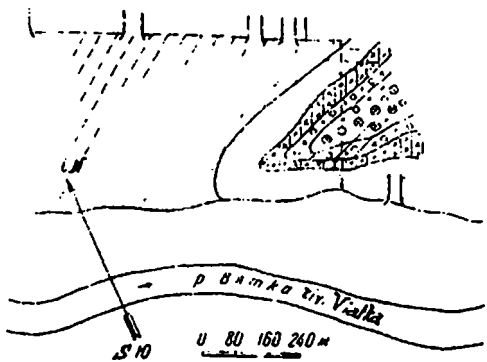


Fig. 11.

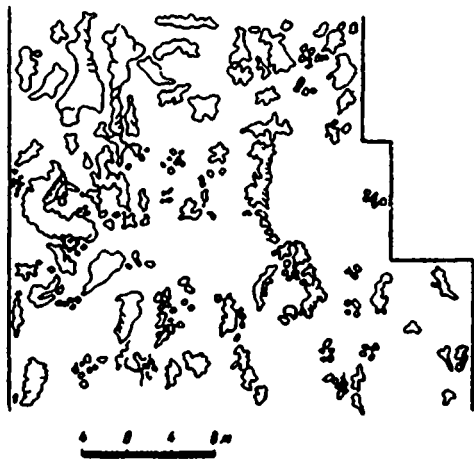


Fig. 12.

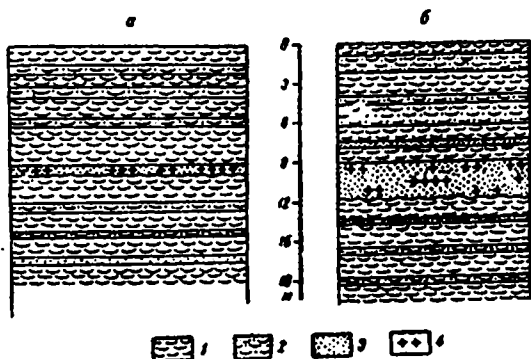


Fig. 14.

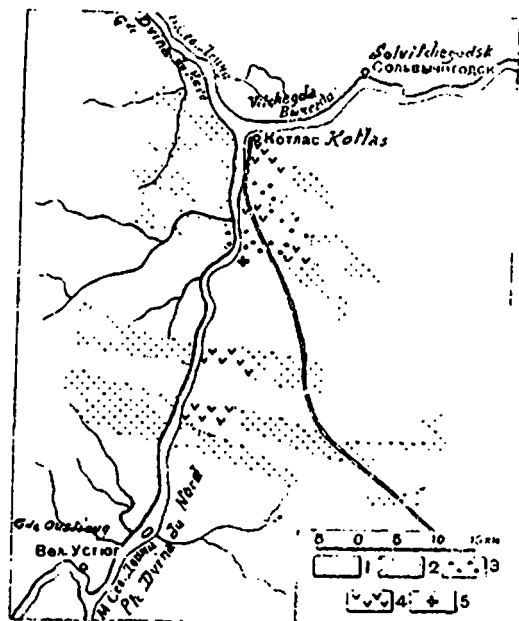


Fig. 11.



Fig. 15.

piedmont de la chaîne de Nemeghülen

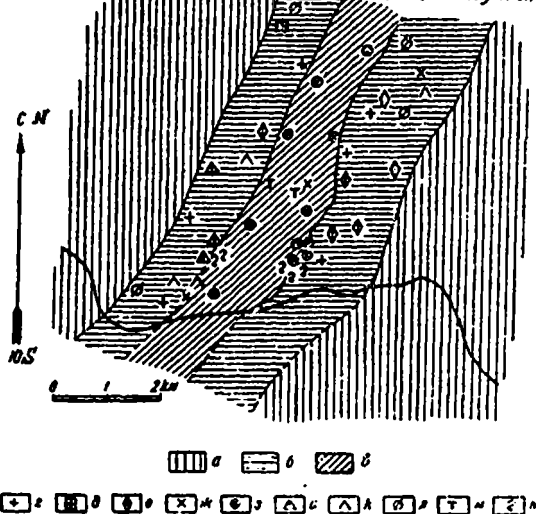
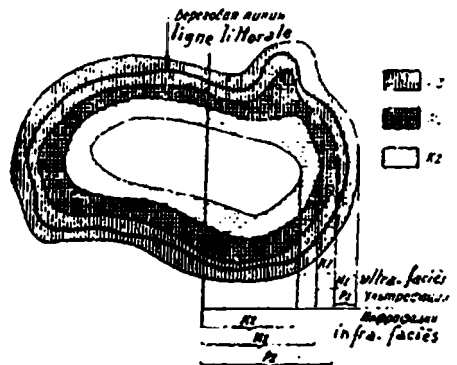


Fig. 16.



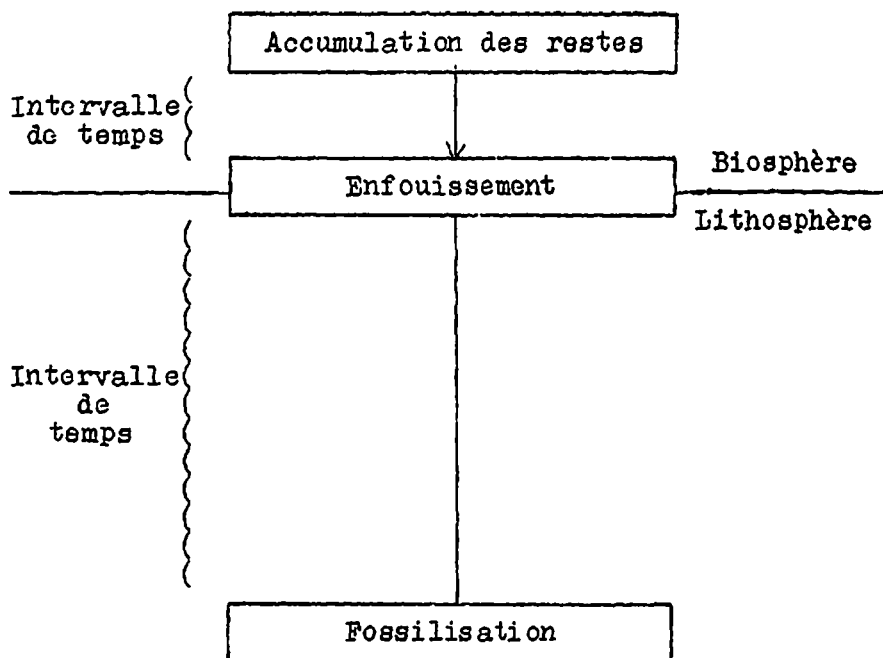


Fig. 27. Principales étapes de la formation des gisements.

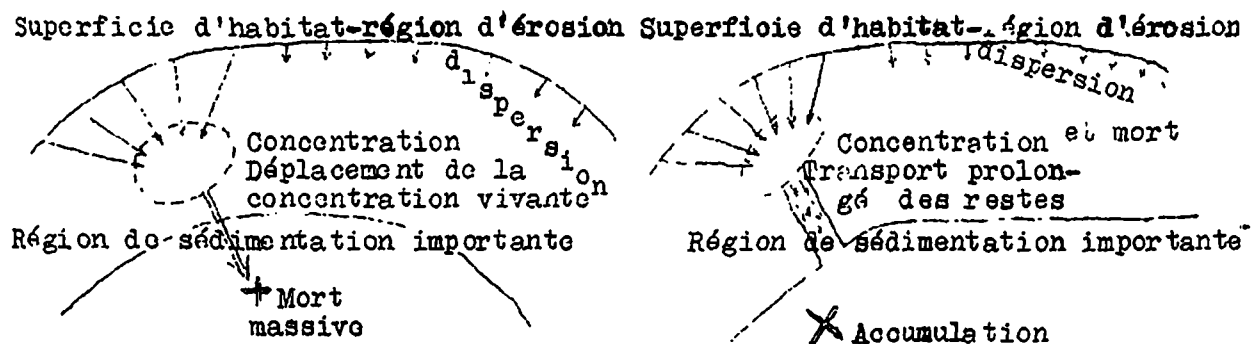


Fig. 29. Facteurs biologiques de la formation des gisements
 A- Thanatocénoses et taphocénoses dans le cas de mort massive.
 B- id. dans le cas d'accumulation progressive des restes.

Région d'érosion et
de taphocénose
restante

Région de sédimentation
et
d'enfouissement

Région
d'exportation

Grosses formes et
individus adultes

Formes moyennes

Formes petites ou
jeunes; cadavres
flottants; restes
végétaux

Fig. 30. Zones fondamentales de la sélection hydrodynamique de la taphocénose.

Taphocénoses successives

Os de grandes
dimensions et
crânes

Crânes de
formes
moyennes et
os isolés de
grosses formes

Crânes de
petites
formes et os
isolés de
formes
moyennes

Os petits
et restes
végétaux

Individus
jeunes, formes
les plus
petites
et végétaux

Thanato-
cénose

Cadavres flottants

base d'érosion

Fig. 31. Sélection hydrodynamique de l'enfouissement d'après la distance de transport.

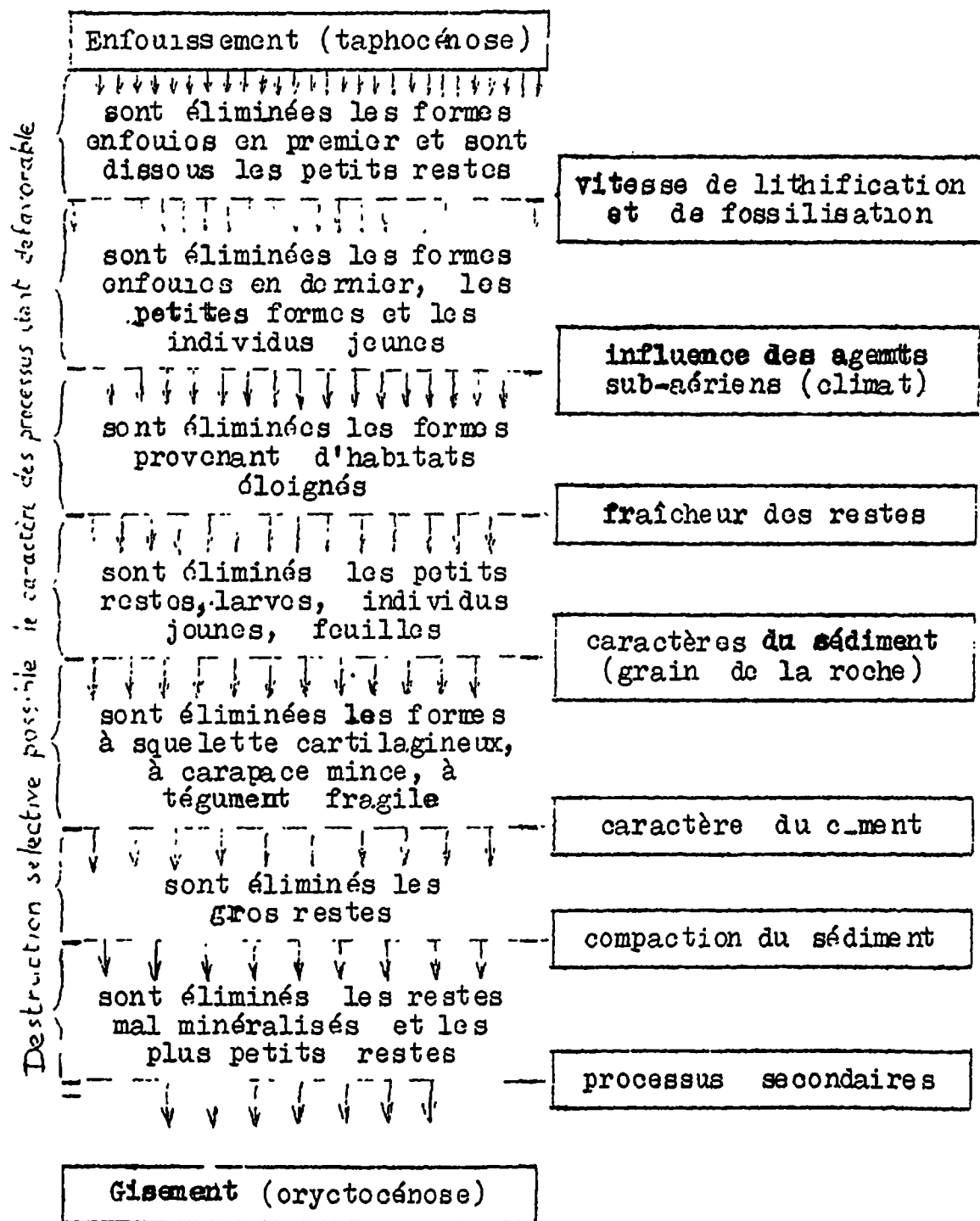


Fig. 33. Enfouissement sélectif avant la fossilisation.

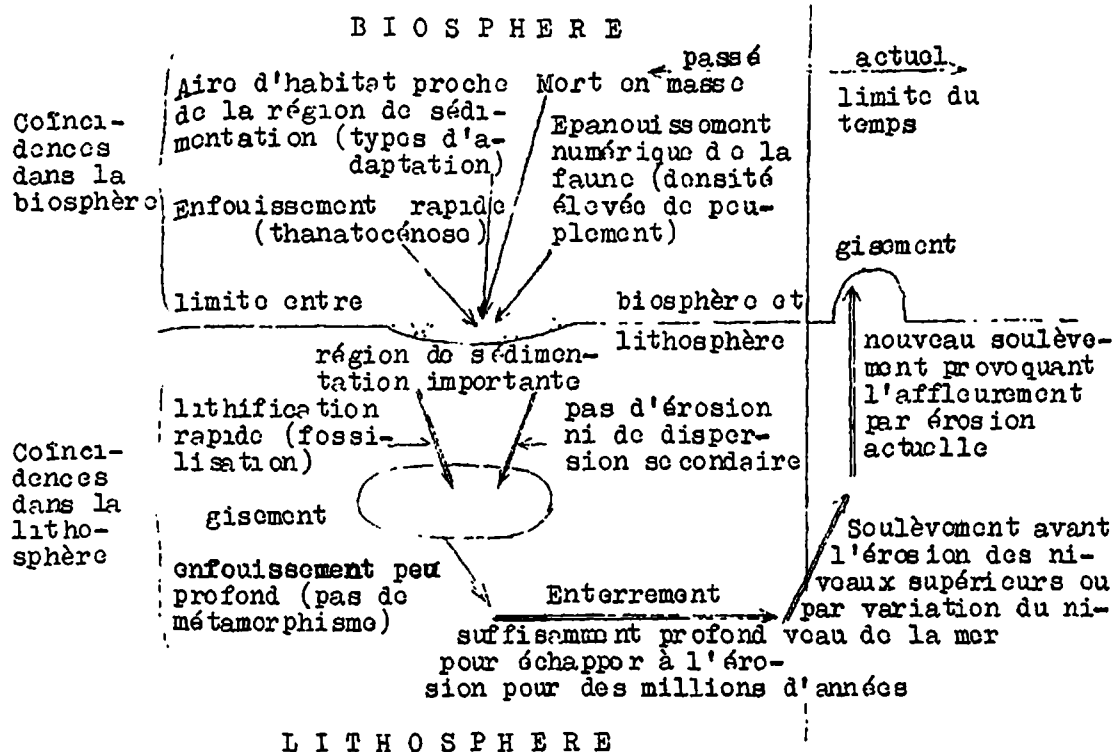


Fig. 34. Schéma du cycle complet de la formation des gisements.

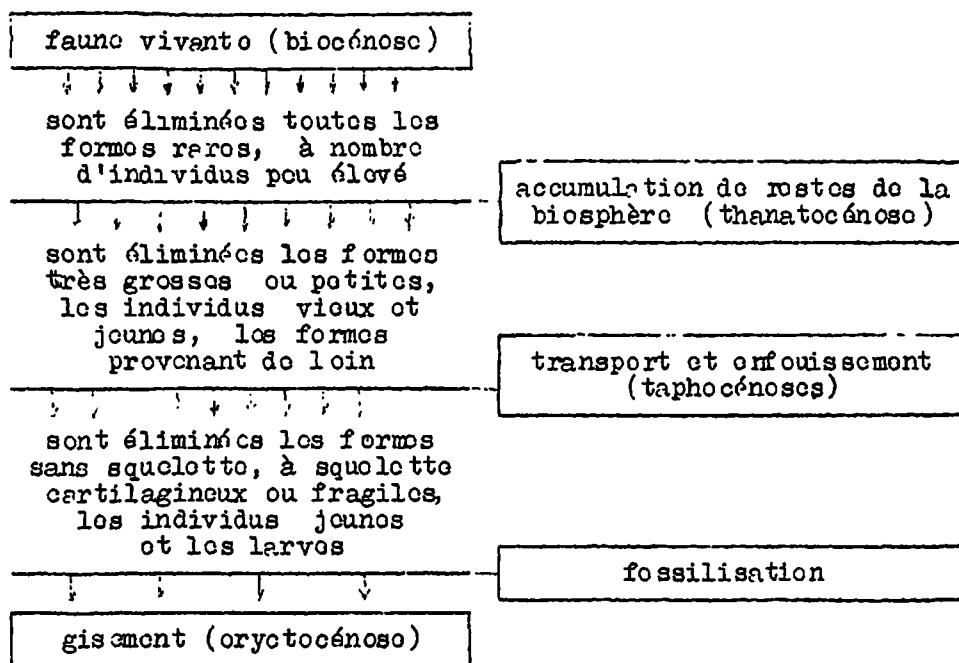
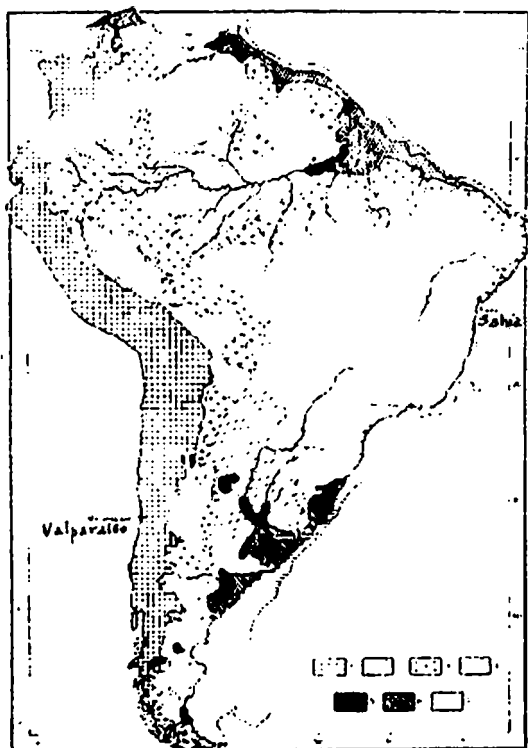


Fig. 35. Principaux tamis de l'enfouissement sélectif.



Dec. 25. |

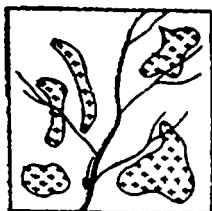
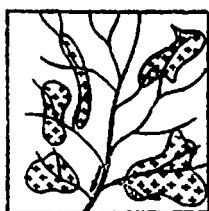
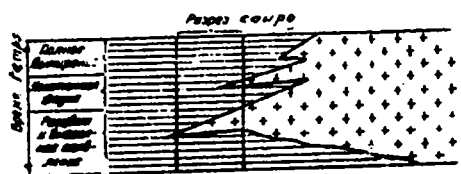


Рис. 36.



4



Proc. 57.



Pmc. 40.

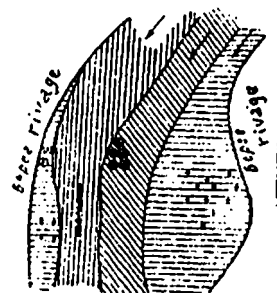
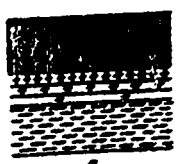
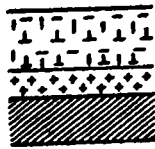
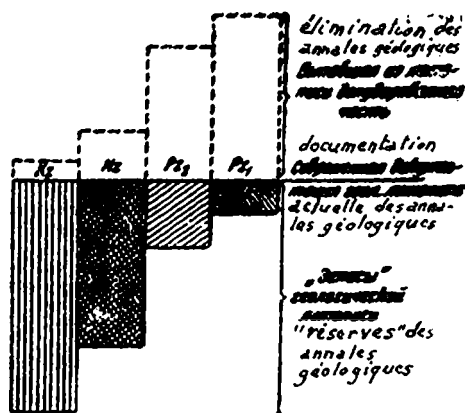
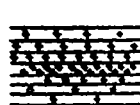


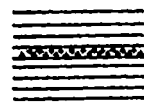
Рис. 32.



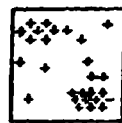
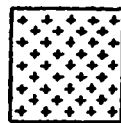
Pac. 38.

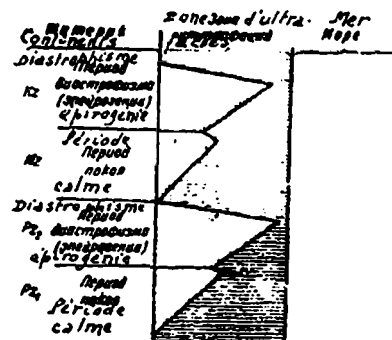
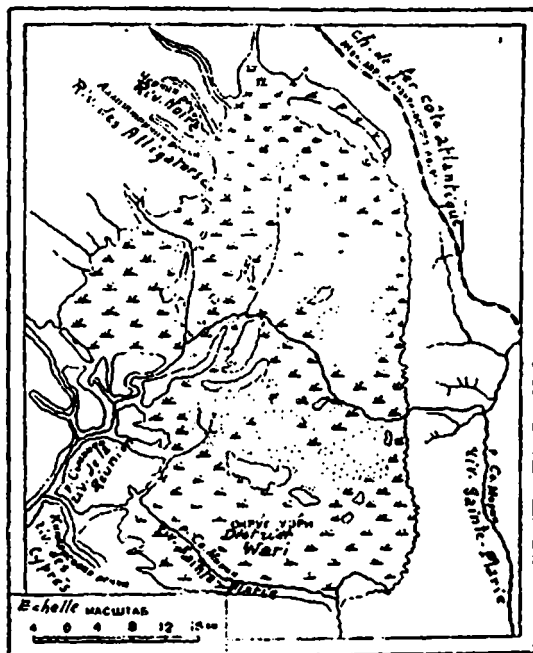
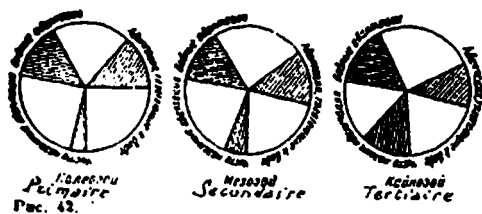


Mar. 39



Pnc. 61.





Pac. 45.

LEGENDES des PLANCHES

Planche I.

Fig.1. Enfouissement massif du Stégocéphale: Trimerorhachis, sur la surface de stratification entre deux faisceaux d'argile marneuse siliceuse. Couches Rouges du Permien du Texas. Fortement réduit.

Fig.2. Accumulation de squelettes de Stégocéphale Micropholis dans une petite lentille de marne foncée, déposée dans une dépression de la surface de stratification du niveau sous-jacent. Dépôts triasiques de la formation du Karroo en Afrique du Sud. Réduit de deux fois.

Planche II.

Fig.1. Forêt inondée typique à Taxodium. Marécages d'Okofinoka (Floride).

Fig.2. Un district de la forêt marécageuse de Taxodium du lac de Monroe (Floride), au moment de la baisse maximum des eaux. Les pieds de Taxodium distichum sont entourés de pneumatophores montrant le niveau permanent des eaux.

Planche III. - Clairières dans les forêts de Taxodium avec des maquis touffus de végétation herbacée marécageuse. Marécages d'Okofinoka.

Planche IV. - Forêt d'Araucaria sur les sols volcaniques des versants des monts Nachetta (Chili).

Bulletin trimestriel d'information du C.E.D.P., depuis 1948.

Annales du Centre d'Etudes et de Documentation paléontologiques:

- N° 1 - Lars SILÉN. Folk Borg (1892-1950). Notice biographique et bibliographique (Janvier 1953)
N° 2 - Jean ROGER. Le Néogène de la partie méridionale de la Russie (d'après la bibliographie récente). (Mars 1953).
N° 3 - S.KETCHIAN et J.ROGER. Granite et granitisation (traductions d'articles soviétiques). (Déc. 1953).
N° 4 - S.KETCHIAN et J.ROGER. Taphonomie et annales géologiques par Efremov I.A. (Traduction). Trav. Inst. Paléont. Acad. Sci. URSS, t. 24.

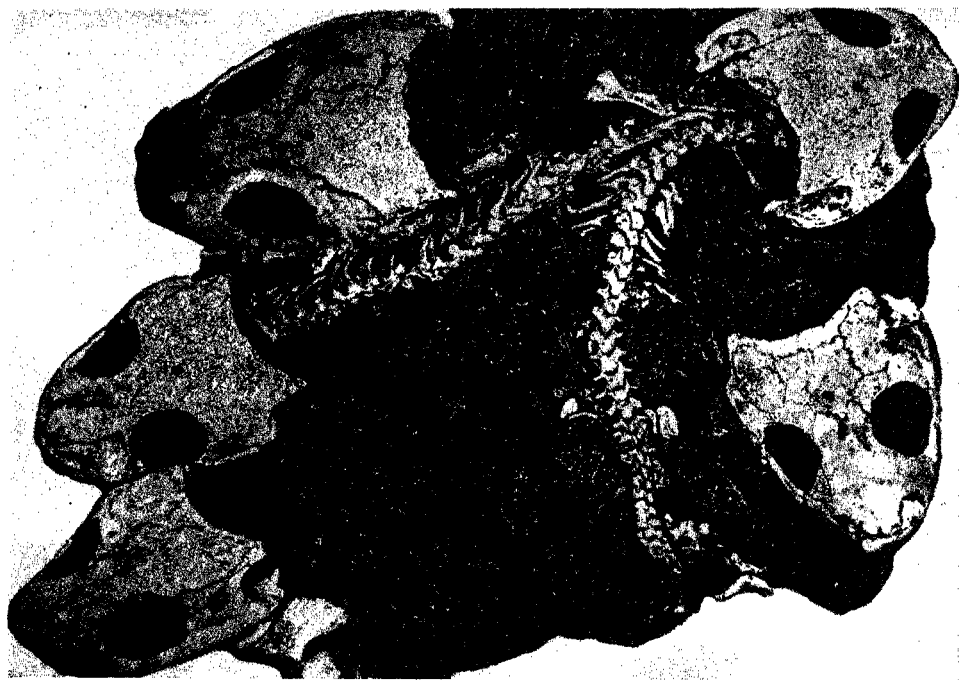
En préparation:

- N° 5 - Melle GERVAIS. Etude morphoscopique de sables d'origines diverses: application à l'étude du transport du sable par le vent le long d'un profil d'une dune maritime.
N° 6 - Jean ROGER. Revue de quelques travaux paléobotaniques récents publiés en URSS.
N° 7 - J.ALLOITEAU. Le genre Phyllosmilia de Fromentel.
N° 8 - J.BLANCHARD, J.DROT, S.PIMIENTA et M.DELATTRE. Le gisement ealénien de Mamers (Sarthe). Stratigraphie et faune (1ère partie): Brachiopodes, Lamellibranches, Bélemnites.

Gérante: Mme Basse de Ménorval



Фиг. 1. Массовое захоронение стегоцефалов *Trimerorhachis* на поверхности напластования между двумя пачками кремненных мергелистых глин. Нижнепермские Красные Слой Тексаса. Сильно уменьшено.



Фиг. 2. Скопление скелетов стегоцефалов *Micropholis* в маленькой линзе темного мергеля, залегающей в углублении на поверхности напластования нижележащей толщи. Триасовые отложения формации Карроо в Южной Африке. Уменьшено в 2 раза.



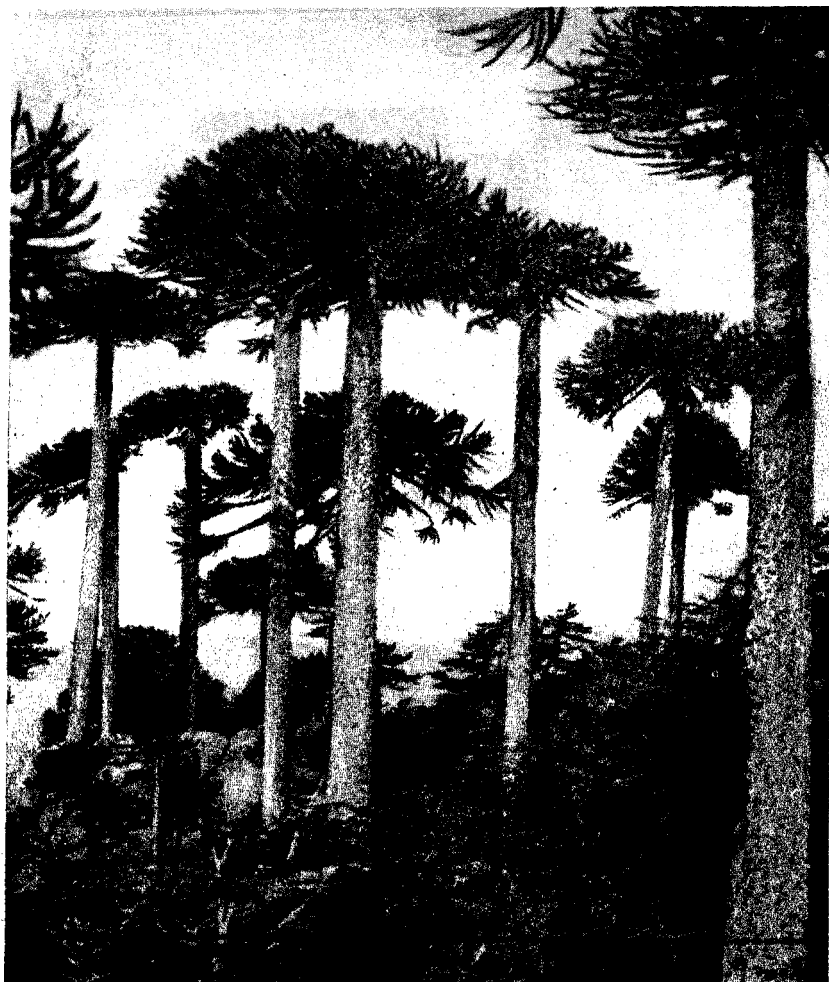
Фиг. 1. Типичный таксодиевый затопленный лес. Болото Окефиноки. Флорида.



Фиг. 2. Участок болотного таксодиевого леса на озере Мунро, Флорида, в момент максимальной убыли воды. Деревья *Taxodium distichum* окружены пневматофорами, показывающими постоянный уровень воды.



Прогалины в таксодиевых лесах с густыми зарослями мягкой болотной растительности. Болото Окефиноки.



Араукариевый лес на вулканических почвах склонов гор Пахэбта, Чили.