

LES PHÉNOMÈNES DE LA SÉDIMENTATION MARINE

ÉTUDIÉS

DANS LEURS RAPPORTS AVEC LA STRATIGRAPHIE RÉGIONALE;

PAR

A. RUTOT,

Conservateur au Musée.

Lorsqu'on embrasse d'un coup d'œil l'ensemble de couches nombreuses d'origine sédimentaire superposées, qui n'ont pas été atteintes par le métamorphisme et qui ont ainsi plus ou moins bien conservé leur facies normal, on reconnaît que, dans beaucoup de cas, les superpositions étudiées se divisent naturellement et nettement en masses stratifiées de sable et d'argile, séparées par des lits de gravier.

S'il s'agit de couches sédimentaires d'origine marine, on remarque le plus souvent que la présence des graviers concorde avec des changements sensibles dans la faune, tandis que si l'on a affaire à des dépôts d'eau douce, les lits de gravier, ordinairement plus nombreux, mais moins continus et plus irréguliers dans leur allure, semblent ne plus avoir la même signification.

L'étude des terrains tertiaires de la Belgique, dont la plupart des termes sont d'origine marine, a surtout mis en lumière les faits que nous venons d'énoncer, et dans la série des nombreuses couches qui constituent ces terrains, les lignes de gravier séparatives sont tellement nettes et continues que Dumont lui-même, qui n'avait pas connaissance de la véritable signification des graviers, ni de leur relation avec les changements de faune, les a pris, pour ainsi dire instinctivement, comme base principale pour l'établissement de ses subdivisions ou *systèmes*.

Poursuivant depuis plus de dix ans, avec M. E. Van den Broeck, l'étude des terrains tertiaires de la Belgique et chargé avec lui du levé monographique de ces terrains, nous avons donc été depuis longtemps amenés, par l'étude des phénomènes actuels, à nous rendre compte de la nature exacte des graviers, de leur importance,

de leur mode de formation et de leur rôle géologique; et ces notions ayant été ensuite complétées par celles relatives aux sédiments côtiers, nous sommes parvenus à nous faire une idée précise des conditions de dépôt des terrains sédimentaires, de leur division rationnelle, et à faire ressortir aussi ce qu'il y avait de génial dans la conception de Dumont.

Pour notre illustre prédécesseur, la présence d'un gravier à la base d'un de ses *systèmes*, était le résultat d'une perturbation locale, dont il ne semble pas avoir eu une idée bien définie; car il croyait que les graviers, épais et composés de gros éléments aux points où les perturbations ont produit leur effet maximum, s'atténuent insensiblement à mesure qu'on s'éloigne du centre d'agitation.

Il suit de là que, pour Dumont, les divisions locales doivent être basées sur des faits stratigraphiques positifs, ayant laissé des traces évidentes de leur existence; faits qui, à ses yeux, devaient être considérés comme des perturbations ayant sans doute une grande analogie avec de violents tremblements de terre.

Aujourd'hui que ces idées de perturbations violentes et peu définies n'ont plus cours dans la science et qu'elles ont été remplacées par la notion certaine des mouvements séculaires, c'est-à-dire lents et continus, notion qui se trouve vérifiée sur presque tous les points du globe et que l'on peut encore voir se confirmer de nos jours, il était de toute nécessité, sous peine de devoir abandonner le mode si simple de division adopté par Dumont, d'étudier la question des graviers à un point de vue nouveau et de voir ce qu'elle devenait en y appliquant à la fois les résultats de nos recherches sur les dépôts littoraux et la notion des mouvements séculaires.

Nous devons à la vérité de dire que nos travaux, en nous conduisant à la solution de la question, ont été une confirmation éclatante des idées de Dumont sur la valeur des graviers pour l'établissement des divisions locales dans un bassin déterminé.

Au point de vue des études à entreprendre, la question se subdivisait naturellement en deux parties: la première traitant de la formation du gravier et, subsidiairement, de celle des autres sédiments marins qui se déposent en même temps que le gravier; la seconde traitant de l'extension du gravier sur des surfaces considérables et de sa continuité sur toute l'étendue d'un bassin.

Pour résoudre la première partie de la question, il suffit d'observer les phénomènes actuels, qui se passent sous nos yeux et dont les descriptions ont été si souvent données qu'elles ne compor-

tent plus aucune nouveauté ; pour avoir la solution de la seconde, il faut faire intervenir le temps, l'un des facteurs les plus importants de la géologie, et la notion des mouvements séculaires des éléments de la croûte terrestre : terre et eau.

Un nombre très considérable de faits concernant la géologie ne peuvent, en effet, s'expliquer, ni même se concevoir, sans l'existence de ces mouvements, que quelques auteurs croient pouvoir simplement attribuer à l'océan en ne faisant intervenir que des changements de niveau de la mer, soit par abaissement constant par suite de l'absorption de l'eau par l'hydratation des roches, soit par dénivellations locales de la surface des mers ayant pour cause initiale des phénomènes d'attraction rentrant dans le domaine de l'astronomie ; mais la plupart des géologues, et nous sommes de ces derniers, sans repousser absolument ce qu'il y a de vrai dans les hypothèses précédentes, sont convaincus que la cause réelle des faits observés réside dans les oscillations lentes de parties localisées de la croûte terrestre, oscillations dont les lois nous sont encore inconnues, mais dont les effets sont partout clairement visibles et qui semblent se réduire soit à des mouvements s'opérant sur de vastes étendues dans le sens vertical, soit à des ondulations se propageant lentement dans le sens horizontal.

Les explications qui précèdent étant données, entrons dans le corps du sujet et commençons l'étude de la première partie du problème, c'est-à-dire résumons les connaissances relatives à la sédimentation marine.

PHÉNOMÈNES DE LA SÉDIMENTATION MARINE.

Si l'on parcourt les rivages des continents et des îles, on remarque tout d'abord que ces rivages se présentent sous deux aspects bien différents ; d'une part, le sol, généralement peu consistant, s'abaisse insensiblement en pente douce vers la mer, ce qui donne lieu à la formation des plages ; d'autre part, le sol rocheux, dur et élevé s'arrête à pic devant la mer, qui vient en battre la base ; cette disposition a reçu le nom de falaise.

On conçoit qu'en présence de ces différences radicales, les phénomènes de sédimentation côtière ne peuvent pas être partout identiques ; voyons donc ce qui se passe dans chacun des deux cas, en commençant par le premier, relatif aux côtes de faible inclinaison et de nature peu consistante.

Sédimentation le long des plages.

D'abord, des côtes de nature sableuse et argileuse n'admettent guère de grandes inégalités ni de grands reliefs : fond, plage et terre ferme forment une vaste surface uniforme s'avancant en pente douce vers la profondeur, les inégalités ne pouvant provenir que de l'érosion des courants ou des apports effectués par les eaux douces venant de l'intérieur des terres.

Partant du littoral, constatons en premier lieu l'action des vagues sur les rivages.

La masse d'eau qui revient sans cesse s'abattre avec violence sur la côte, désagrège évidemment les éléments qui la composent et tend à les mettre en suspension.

Quelle que soit leur nature, ces éléments, délayés par le choc de la vague, sont entraînés par le recul, puis repris par le flot suivant, de telle sorte que non seulement cette agitation perpétuelle met toutes les parties en mouvement, mais elle prépare inévitablement un classement de ces matières suivant le poids et le volume.

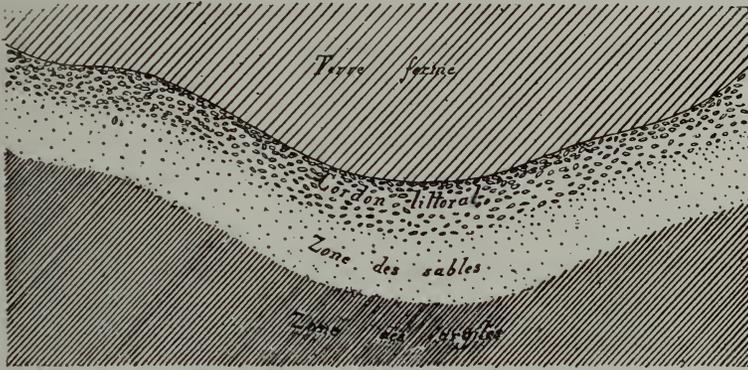
Les éléments les plus grossiers, par conséquent les plus lourds et les plus difficiles à déplacer, ne pouvant être entraînés bien loin, restent donc ainsi forcément dans la zone d'agitation perpétuelle, où, se choquant les uns les autres, ils s'arrondissent et forment le galet ; mais les particules moins volumineuses et moins pesantes, qui peuvent rester en suspension, sont entraînées vers le large.

Parmi ces particules mises en suspension, il en est un grand nombre qui ne peuvent se maintenir dans cette situation que grâce à une agitation violente ; aussi se précipitent-elles et gagnent-elles rapidement le fond sous forme de sable grossier, dès qu'une tranquillité relative le leur permet ; quant aux autres particules, plus fines et moins lourdes, délayées dans l'eau, elles gagnent peu à peu le large, où elles coulent lentement au fond à mesure qu'elles pénètrent dans des zones moins agitées, à cause de la plus grande profondeur de l'eau. Ces particules fines vont former, en s'éloignant des côtes, des amas de sable fin, puis d'argile.

Il est donc facile de voir que, dans les circonstances envisagées, il doit s'opérer un classement régulier qui range tous les éléments arrachés à la côte par ordre successif de densité, en partant des plus gros et des plus lourds qui restent amassés à l'extrême bord du rivage sous forme de *cordon littoral*, jusqu'aux plus ténus qui vont se déposer dans la profondeur.

Nous avons représenté cette disposition *en plan* dans la figure 1.

Fig. 1.



Telle est la règle générale. Cette règle peut, naturellement, subir de nombreuses exceptions, mais elle se présente régulièrement toutes les fois qu'il ne s'introduit pas de phénomènes perturbateurs pouvant modifier dans une certaine mesure le mode de classement des sédiments.

De toutes façons, il est évident que la netteté dans le classement des éléments mis en suspension, dépendant uniquement de l'état plus ou moins grand d'agitation ou de tranquillité des eaux, il s'ensuit que si, en un point particulier, des circonstances viennent influencer le mouvement normal des eaux, les dépôts seront modifiés en raison directe de ces influences.

C'est ainsi que dans les parties de mer resserrées entre des terres, l'influence des courants peut être telle que le dépôt de certaines catégories de sédiments soit rendu impossible par l'entraînement complet des particules dépassant un certain poids et un certain volume; tandis que dans les baies ou golfes où les eaux sont à l'abri de mouvements violents, il pourra se déposer très près du rivage des sédiments fins et même argileux, semblables à ceux qui ne se déposent qu'à de beaucoup plus grandes distances et à de plus grandes profondeurs dans les parties ouvertes, plus agitées.

De même, l'action d'un courant rasant les bords intérieurs d'un golfe pourra, par la perte de vitesse éprouvée par suite des résistances, distribuer les sables du côté de l'entrée et les éléments fins et argileux du côté de la sortie.

Enfin si la côte, loin d'une embouchure de fleuve, est formée d'une

roche fine et homogène, d'argile, par exemple, il s'ensuivra qu'il ne pourra pas se former de cordon littoral graveleux ni même de sables littoraux, puisque les éléments essentiels font défaut. Dans ce cas, la côte serait continuellement rongée par la mer et les sédiments arrachés, transportés vers le large et déposés à une distance du rivage en rapport direct avec le degré de tranquillité des eaux.

Nous pourrions encore multiplier les exemples de perturbations introduites accidentellement dans le régime sédimentaire ; cependant, quoi qu'il en soit, la plupart des causes perturbatrices ne peuvent guère que modifier les dispositions relatives sans en supprimer le principe ; et la règle générale, qui veut que la mer entoure ses côtes d'une ceinture d'éléments d'abord grossiers, puis de plus en plus fins à mesure qu'on s'avance vers le large, reste toujours vraie. Seules les proportions relatives au volume des éléments et à la largeur des zones qu'ils recouvrent sont variables.

Pas plus que les causes dont nous venons de parler, les marées ne peuvent introduire de modifications bien sensibles dans l'ensemble des faits exposés ci-dessus.

L'effet principal de la marée le long des côtes, est de faire varier successivement, pendant un temps donné et pour une région déterminée, le volume et par conséquent l'épaisseur de la nappe d'eau, puis de permettre aux choses de reprendre leur état normal pendant un temps égal.

Les différences de niveau qui se produisent le long des côtes sous l'influence de la marée, sont très variables, quoique la dénivellation constatée en pleine mer soit à peine de quelques mètres ; en moyenne ces différences atteignent 5 à 6 mètres, le maximum, s'élevant à 21 mètres, ayant été observé en Amérique, dans la baie de Fundy, et n'étant produit que par un concours de circonstances exceptionnelles.

Pour des pentes faibles, une marée de 5 à 6 mètres acquiert une grande importance, car elle entraîne l'émersion et l'immersion alternatives de zones de plage pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de largeur et plus encore ; de sorte que dans ce cas, le travail violent des eaux, qui se produit toujours à l'extrême bord, où les vagues déferlent contre le rivage, se reproduisant successivement sur toute la surface alternativement couverte et découverte, il s'ensuit que le cordon littoral formé des dépôts grossiers, au lieu d'être constitué par une simple ligne ou amas de peu de largeur, s'étend sur toute la plage et occupe ainsi une surface proportionnelle à la pente de la côte et à la hauteur de la marée.

L'effet de la marée est donc d'élargir le cordon littoral ou d'en répandre les éléments sur une plus grande étendue ; mais quant à la partie côtière qui s'étend vers le large, on comprend que les phénomènes de classement ne peuvent y être influencés (1) ; ils s'effectuent évidemment à très peu de chose près, comme si la marée n'existait pas, c'est-à-dire comme si la mer s'était établie à un niveau fixe, qui serait celui de la marée basse.

De tout ce qui précède, on peut donc résumer comme suit les divers phénomènes de sédimentation qui se passent le long des côtes en pente douce formées d'éléments peu consistants, coupées ou non par des cours d'eau qui viennent se jeter à la mer :

A. *Formation, à partir de la limite de la marée haute, d'un cordon littoral d'une largeur proportionnelle à la ligne de plus grande pente de la côte, à l'amplitude du balancement des marées et à l'agitation de l'eau lors des tempêtes. Ce cordon est constitué par les éléments les plus grossiers existants et provenant :*

1° *Des matériaux fournis par la côte même ;*

2° *De ceux apportés par les cours d'eau venant de l'intérieur des terres ;*

et dont les parties constituantes sont de volume variable et en rapport direct avec la configuration de la côte au point de vue de l'agitation des eaux.

B. *Faisant suite au cordon littoral et se confondant avec lui à la limite intérieure, formation d'un dépôt composé d'éléments sableux, meubles, dont le volume diminue à mesure que l'on s'éloigne des côtes et que la profondeur d'eau augmente.*

C. *Faisant suite au précédent et se confondant avec lui à la limite intérieure, formation d'un dépôt constitué par des éléments argileux, devenant de plus en plus fins à mesure que la profondeur augmente et que, par conséquent, on s'éloigne du rivage (2).*

(1) En certains points exposés à l'action des tempêtes, on a reconnu que l'agitation violente des eaux peut encore se faire sentir à une vingtaine de mètres de profondeur ; dans ce cas, le cordon littoral s'élargit encore d'autant et peut ainsi exister, quoi qu'atténué, en des points du littoral toujours couverts par 20 mètres d'eau. Naturellement, passé cette profondeur, les phénomènes ordinaires de la sédimentation marine reprennent leur forme ordinaire.

(2) Si la pente du fond sous-marin continue à s'enfoncer et à se prolonger à de

Il reste toujours bien entendu que des modifications plus ou moins considérables peuvent affecter localement les dépôts, modifications bien connues qui ont pour causes principales la présence de baies, golfes, détroits, embouchures de fleuves et de rivières ou l'existence de courants.

Sédimentation le long des côtes abruptes.

Dans le cas initial et assez rare à observer de côtes abruptes, s'enfonçant brusquement sous la mer, les vagues, venant battre sans cesse la base de l'escarpement, finissent par saper cette base, par la creuser, de telle manière que les parties supérieures surplombent en porte-à-faux.

Par suite des joints de stratification, des fissures, des clivages, etc., ces parties surplombantes ne tardent pas à se crevasser, puis, leur poids aidant, à se détacher de l'escarpement et à tomber dans la mer, où elles forment, au pied de la falaise, un amas considérable d'éboulis (fig. 2).

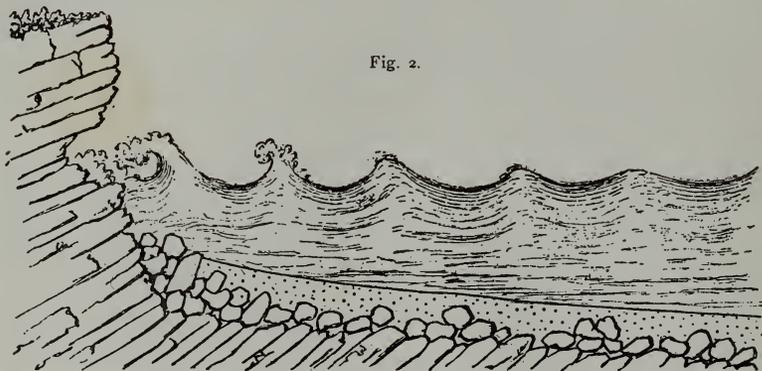


Fig. 2.

Si la profondeur d'eau est assez grande, ces éboulis, soustraits

grandes distances des côtes, on conçoit qu'en raison de l'augmentation de la profondeur de l'eau, il doit exister, au sein de la masse aqueuse, une zone-limite à partir de laquelle l'agitation superficielle et les courants ne se font plus sentir, et où la tranquillité devient parfaite. A partir de cette limite, les sédiments les plus fins ne pouvant être maintenus en suspension, gagnent rapidement le fond, de sorte que plus loin encore tout dépôt doit cesser, sauf ceux d'origine organique, formés de débris de poissons, de mollusques pélagiens ou de coquilles calcaires ou siliceuses des foraminifères et des polycystines qui vivent à la surface de l'eau.

dans une certaine mesure à l'action des vagues, s'usent peu et les fragments conservent à peu près leur forme primitive; mais le flot continuant toujours son effet destructeur sur la falaise, de nouveaux éboulements ont lieu et l'amas de débris tend sans cesse à s'augmenter. Pendant ce temps les parties provenant de l'usure des roches et les menus débris produits lors des éboulements sont mis en suspension; mais à cause de la profondeur de l'eau et de la tranquillité relative qui y règne, ces particules ne peuvent être entraînées bien loin vers le large; aussi les éléments les plus grossiers s'étalent-ils déjà en partie sur le tas d'éboulis, tandis que les particules plus fines vont se déposer un peu plus loin, proportionnellement près des côtes.

Si l'on suit la continuité du phénomène, on reconnaît qu'à chaque écroulement nouveau, l'amas d'éboulis tend à gagner en hauteur, si bien qu'au bout d'un certain temps, il peut s'élever jusqu'au niveau de l'eau et même le dépasser quelque peu. Dans ce cas ce sont les matériaux éboulés qui reçoivent directement le choc de la vague; ils protègent donc la falaise, mais, ébranlés et déplacés à chaque instant, ces matériaux s'usent, leurs arêtes s'émoussent, leur masse s'arrondit et il se forme du galet, pendant que les particules provenant de l'usure, mises en suspension, vont se classer par ordre de volume et de densité vers le large.

Enfin, le dépôt des particules augmentant toujours, s'élève à son tour, et finit par atteindre le niveau de l'eau en formant une plage (fig. 3). C'est en cet état que les côtes en falaise se présentent le plus souvent à l'observation.

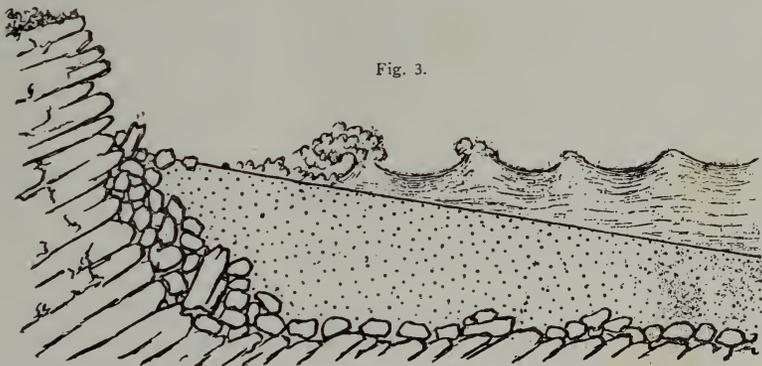


Fig. 3.

A partir de cet instant, la falaise ne joue plus un rôle actif qu'à marée haute et les phénomènes de sédimentation se passent comme

dans le premier cas que nous avons examiné, relatif à la sédimentation le long des plages.

Il suit donc de ce qui vient d'être dit de la sédimentation autour des côtes abruptes, que la loi résultant de l'étude de la sédimentation le long des plages reçoit encore ici une application intégrale, les différences constatées se réduisant à une question de quantité (1).

Le cordon littoral est représenté par l'amas d'éboulis dont les éléments sont d'autant plus roulés qu'ils s'approchent du niveau de l'eau; puis, à partir de ce cordon littoral, s'étendent en ceintures concentriques, les zones d'éléments de moins en moins grossiers, qui, dans le cas présent, sont ordinairement beaucoup plus étroites que dans le cas des plages en pente faible, à cause de l'augmentation beaucoup plus rapide de la profondeur de l'eau.

La première partie de la question que nous nous sommes posée se trouve ainsi résolue.

Un gravier marin est donc suivant les cas, soit un amas d'énormes blocs plus ou moins arrondis provenant des éboulements successifs d'une falaise, soit un lit de galets ou simplement d'éléments grossiers formant le pourtour d'une plage, de sorte qu'en général, la rencontre d'un gravier d'origine marine devra toujours être accompagnée de l'idée d'un rivage (2), comme la rencontre de sédiments marins plus ou moins fins doit être accompagnée de l'idée d'eaux plus ou moins tranquilles, ce qui, le plus souvent, concorde soit avec une profondeur d'eau plus ou moins considérable, ou avec des circonstances locales telles que baies abritées, embouchures de fleuves à régime régulier, etc.

(1) Dans le cas de falaises constituées par des roches tendres renfermant des parties durcies, comme la craie à silex, il se forme au pied de ces falaises une zone extrêmement développée, composée d'une énorme quantité de galets roulés, qui représente le type le plus complet du cordon littoral. Dans le cas de plages simples, ce cordon littoral est au contraire souvent atténué au point de ne plus consister qu'en un amas de coquilles brisées et roulées.

(2) Cette règle ne peut guère subir qu'une seule exception : des graviers et éléments grossiers ne peuvent se déposer à grande profondeur que s'ils sont apportés du continent par des glaces flottantes qui, en fondant, abandonnent les débris de roches qu'elles avaient englobés. Dans tous les autres cas où l'on a rencontré des graviers à une profondeur assez considérable dans la mer, ces graviers ne constituent pas un dépôt *actuel* dans le vrai sens du mot; ils proviennent de dénudations et se sont enfoncés progressivement et verticalement à mesure des progrès de la dénudation. Il est à remarquer que dans le cas des graviers de grands fonds, formés par fusion de glaces flottantes, les éléments aussitôt déposés sont soustraits à l'action des mouvements de l'eau, de sorte qu'on n'y retrouve pas le caractère de classement et d'usure propre aux graviers littoraux.

INFLUENCES DES MOUVEMENTS SÉCULAIRES D'OSCILLATION SUR
LES PHÉNOMÈNES DE LA SÉDIMENTATION MARINE.

Pour résoudre cette seconde question, il est nécessaire de distinguer encore les différents cas qui peuvent se présenter, et à cet effet, nous diviserons le chapitre en deux parties, ainsi qu'il a déjà été fait pour le premier.

Influence des oscillations séculaires sur une côte formée de roches peu consistantes et disposée en pente douce.

Notre but, en abordant cette première partie, est de déterminer la suite des phénomènes de sédimentation marine qui se passent pendant un affaissement lent, uniforme et continu, produisant l'immersion, sous les eaux de la mer, d'une contrée constituée par une vaste plaine de terrain peu consistant; affaissement suivi d'un soulèvement lent, amenant l'émersion de cette même contrée après une période intermédiaire de tranquillité.

Pour bien nous rendre compte des phénomènes qui vont se passer dans le cas qui vient d'être exposé, transportons-nous près du rivage de la mer destinée à envahir la contrée.

Ce rivage se trouvant précisément dans les conditions que nous avons déjà examinées en détail lors de notre étude sur la sédimentation le long des plages, on conçoit que nous y retrouverons les mêmes phénomènes et les mêmes dépôts.

Nous constaterons donc tout le long du littoral, couvrant au minimum la zone du balancement des marées, une ceinture d'éléments grossiers et roulés, puis à mesure que l'on s'avancera vers le large, nous verrons les éléments constitutifs des dépôts devenir de plus en plus fins et passer des sables grossiers aux argiles fines, si les conditions de tranquillité ou de profondeur, que nous supposons exister, le permettent.

Faisons maintenant intervenir le mouvement lent d'affaissement annoncé et essayons d'en suivre les effets.

La première conséquence de l'affaissement du sol est naturellement une invasion lente et continue des terres par les eaux marines, celles-ci poussant successivement en avant la ligne des rivages.

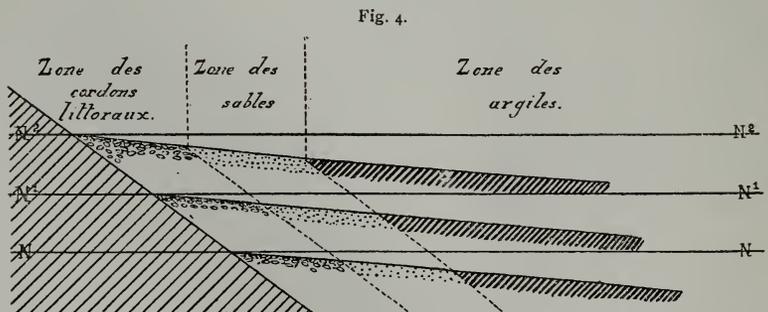
Or, à chaque instant donné, l'affaissement lent ne changeant en rien les conditions générales de la sédimentation régulière, il s'en-

suit que, pour chacun de ces instants, le remaniement des éléments de la côte et des apports faits par les eaux douces, de l'intérieur des terres, provoquera la formation d'un cordon graveleux littoral qui succédera immédiatement à celui formé alors que l'affaissement n'était pas encore aussi prononcé et qui sera suivi plus loin d'un autre cordon littoral correspondant à un affaissement plus prononcé encore que celui que nous avons considéré.

Il y aura donc formation continue de cordons littoraux contigus, qui se succéderont à la suite des avancements successifs de la mer dans l'intérieur des terres et dont la conservation sera assurée parce que, s'enfonçant toujours peu à peu sous les eaux à cause de la continuation du mouvement général d'affaissement, ils sont ainsi soustraits à l'action destructive des vagues.

Il suit de là que, pendant qu'un nouveau cordon littoral se forme constamment le long de la nouvelle ligne de rivages, des sédiments de plus en plus fins se déposent sur le lit de gravier garnissant le fond et formé par la succession des anciens cordons littoraux; de sorte que toute partie primitivement littorale s'étant suffisamment enfoncée, se recouvre actuellement de vase argileuse, par exemple, après avoir déjà été recouverte en premier lieu par du gravier littoral, puis par des sables de plus en plus fins, à mesure que la partie considérée s'éloigne du littoral actuel et correspond ainsi à une profondeur d'eau ou à une tranquillité plus grande.

C'est ce dont on peut se rendre compte à l'inspection de la figure 4, dans laquelle N , N^1 , N^2 représentent les divers niveaux de la mer en corrélation avec les phases successives de l'affaissement.



Si donc au bout d'un certain temps, presque toujours fort long, le mouvement d'affaissement s'arrête, et si nous étudions les sédiments qui se sont déposés à la surface de l'ancien continent actuelle-

ment immergé, depuis le bord extrême jusque dans la profondeur, nous pourrions reconnaître qu'ils sont disposés comme suit (fig. 5) :

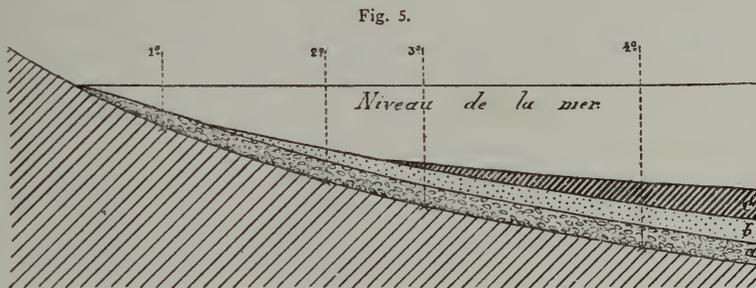
1° Le long du rivage actuel, sur la largeur minimum correspondant au balancement des marées, présence d'un lit continu de galets, de graviers ou d'éléments grossiers et roulés.

2° A peu de distance du bord, vers le large, présence sur le fond d'un lit de gravier semblable au précédent, passant peu à peu et verticalement, par des éléments moins grossiers, à un sable meuble à grains plus ou moins gros.

3° Plus loin, vers le large, présence, à la base, d'un lit de gravier surmonté de sables passant à des sables fins, puis argileux.

4° A une grande distance des côtes et sous une grande profondeur d'eau, présence, à la base, d'un lit de gravier, surmonté de sables de plus en plus fins, recouverts eux-mêmes d'argile sableuse puis fine, le tout passant de l'un à l'autre par des transitions insensibles.

Si nous concevons donc une coupe dirigée dans le sens des avancements successifs de la mer, nous reconnaitrons que l'ensemble des dépôts a pris la disposition représentée ci-contre (fig. 5).



- a Lit continu de gravier tapissant tout le fond de la partie immergée et que, pour cette raison, nous appellerons : *gravier d'immersion*.
- b Lit de sable stratifié, gros et meuble vers le bas, devenant de plus en plus fin vers le haut.
- c Couche d'argile, finement sableuse vers le bas, devenant de plus en plus pure vers le haut.

Mais ici vient se placer une remarque des plus importantes :

La disposition que nous venons d'indiquer pour les sédiments déposés sur une côte animée d'un mouvement d'affaissement étant connue, comment convient-il d'apprécier l'âge relatif d'une partie quelconque de ces dépôts?

Nous sommes en présence de trois couches en apparence super-

posées : un lit continu de gravier semble former une base, sur laquelle viennent reposer successivement une zone sableuse, puis une zone argileuse.

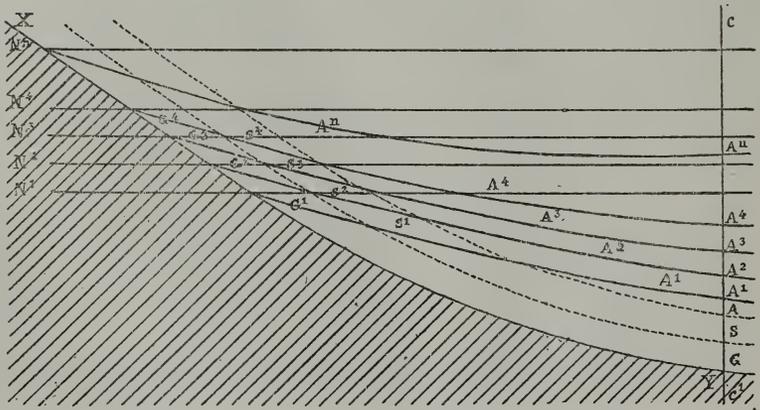
Partant de cette disposition, on pourrait être tenté d'accorder, à première vue, des âges différents à chacune des trois parties, en confondant le phénomène de la sédimentation marine avec une simple précipitation verticale d'éléments de toutes grosseurs mélangés, projetés dans une eau en repos; on pourrait croire alors que le lit continu de gravier a dû se déposer partout le premier, puis successivement les dépôts sableux, puis les éléments argileux.

Toute naturelle que puisse être cette croyance, elle est cependant inexacte lorsqu'il s'agit de dépôts marins tels que ceux que nous considérons et il suffit d'un simple raisonnement pour comprendre comment doivent s'interpréter les faits.

En effet, si nous jetons les yeux sur la figure ci-contre, représentant la série des sédiments déposés sur un fond XY pendant un affaissement de ce fond correspondant à la hauteur verticale $N^1 N^n$, et si nous examinons ce qui a dû se passer pendant chacun des affaissements successifs $N^1, N^2, N^3, N^4, \dots, N^n$; nous voyons que pendant l'affaissement de N^1 à N^2 de la côte, il a dû se déposer près du rivage, un cordon littoral formé de galets ou de gravier G^1 . Cette zone a été suivie, *pendant le même temps*, vers le large, d'une zone sableuse S^1 , puis d'une zone argileuse A^1 ; ces trois différents sédiments s'étant déposés *en même temps*.

De même, pendant l'affaissement de N^2 à N^3 , il s'est déposé sur les sédiments précédents une nouvelle série oblique G^2, S^2, A^2 et ainsi de suite pour tous les nouveaux affaissements successifs.

Fig. 6.



Il suit donc de ce qui vient d'être dit :

1° Que l'ensemble des sédiments déposés pendant un affaissement lent et prolongé peut être considéré comme se composant d'une succession de tranches superposées plus ou moins obliques, dépendant de l'inclinaison du fond et de l'abondance des dépôts; tranches dont la plus ancienne est la plus inférieure et dont la plus récente est la plus supérieure.

2° Que chacune des tranches obliques d'âge différent est constituée par la succession, du rivage vers le large, de trois zones : graveleuse, sableuse et argileuse.

3° Que par conséquent, l'ensemble des zones *de même nature*, formant chacune des trois parties : gravier, sable, argile, déposées pendant toute la durée de l'affaissement, ne représente pas des masses successives, l'une totalement graveleuse, les autres totalement sableuses ou totalement argileuses déposées partout en même temps, mais bien des masses dont chaque fraction s'est déposée à sa place respective pendant toute la durée de l'affaissement.

4° Qu'un point d'un dépôt étant donné, il faut toujours chercher ceux *de même âge* dans le sens à peu près horizontal ou parallèle à la ligne du fond.

5° Que les dépôts de même âge qu'un point d'argile donné, par exemple, sont constitués en certains points par des sables, et en d'autres par des graviers.

6° Qu'enfin la superposition des dépôts n'indique une succession chronologique certaine, que dans les coupes verticales et *locales*. C'est ainsi que la succession que l'on rencontrerait en faisant un forage vertical CC' dans la masse des dépôts, et qui formerait la série $G, S, A, A^1, A^2, A^3 \dots A^n$, représenterait une série chronologique réelle, dont la plus ancienne serait la couche G de gravier et dont la plus récente serait la couche A^n d'argile.

Ces remarques étant faites, et les phénomènes qui se sont passés pendant la première période de l'oscillation, c'est-à-dire pendant l'affaissement, étant connus, considérons maintenant ce qui va se passer pendant la période de tranquillité ou de repos qui va suivre.

Évidemment, dans le cas actuel, il ne peut se produire de changements bien importants, et les seules modifications que l'on pourra constater à la fin de la deuxième période, n'auront guère affecté que les bords du bassin.

En effet, les vagues continuant à effectuer leur travail d'affouillement et de lavage, les eaux empiéteront peu à peu sur les terres en ajoutant toujours de nouveaux matériaux au cordon littoral, si

bien que celui-ci, au bout d'un certain temps, pourra être devenu assez considérable pour former une petite digue, probablement surélevée encore par des dunes de sable soufflé, qui empêcheront tout nouvel empiétement de la mer sur le continent.

Cependant, ce travail n'aura pu s'opérer sans destruction du littoral ou sans apport d'eaux douces chargées de matières minérales; des éléments auront donc été mis en suspension et leur classement se sera effectué selon les lois ordinaires, c'est-à-dire que pendant toute la période de tranquillité qui a suivi l'affaissement, les trois zones: graveleuse, sableuse et argileuse, n'auront pu tendre qu'à s'accroître.

Ces faits étant bien constatés, passons à la troisième période, consistant dans l'émersion ou le soulèvement des parties immergées pendant la première période.

Il est facile de concevoir *à priori* que les mêmes faits vont se passer, mais en sens inverse.

En effet, pendant que la ligne de rivages se retire en abandonnant la contrée, elle laisse émergée la suite de ses cordons littoraux qui, mis bientôt hors de portée des vagues, sont préservés de toute cause de destruction et gisent sur le sol. En même temps, les parties de profondeur moyenne, devenant à leur tour moins profondes, se recouvrent de sédiments sableux plus grossiers que ceux précédemment déposés au même endroit; les parties plus profondes ne se couvrent plus que d'argile sableuse au lieu de l'argile fine et pure qui s'y déposait auparavant, et ainsi de suite.

Le soulèvement continuant, les phénomènes qui viennent d'être relatés vont toujours en s'affirmant, si bien qu'après l'émersion totale. on trouvera, superposés aux sédiments précédemment déposés :

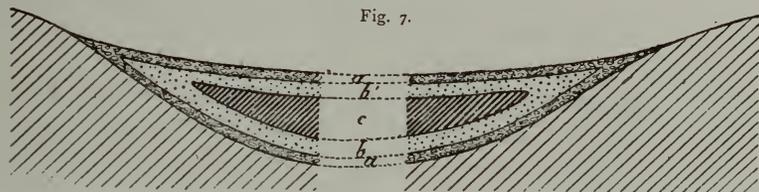
1° Un lit d'argile fine s'ajoutant et se confondant à celui déjà existant, mais de dimensions horizontales plus restreintes ;

2° Un lit sableux, d'abord à éléments fins, devenant de plus en plus grossiers; ceux-ci recouvrant une aire de plus en plus étendue à mesure que l'on monte ;

3° Un lit continu et superficiel de gravier et d'éléments grossiers d'abord fins vers le bas et grossissant toujours à mesure que l'on monte. Ce lit de gravier, suite des cordons littoraux successifs abandonnés par le retrait des eaux et que nous appellerons pour

cette raison : *gravier d'émersion*, ira se raccorder, par ses limites extrêmes, à celui qui s'enfonce sous les dépôts et auquel nous avons donné le nom de *gravier d'immersion*.

De ce qui précède il résulte donc, en dernière analyse, que la série complète des sédiments qui peuvent se déposer pendant une oscillation entière du sol, sera disposée comme l'indique la figure 7, représentant une coupe en travers du bassin, passant par deux bords opposés.



aa' Enveloppe extérieure de gravier composée, en bas, du *gravier d'immersion* (a), et en haut, du *gravier d'émersion* (a').

bb' Enveloppe intérieure sableuse, formée de sables de plus en plus fins à mesure qu'on s'approche du centre.

c Noyau argileux dont les parties les plus fines et les plus pures occupent le centre.

Une coupe verticale traversant l'épaisseur d'un tel dépôt montre donc toujours, soit que l'on commence par le haut ou par le bas, la série des superpositions : *gravier, sable, argile, sable, gravier*; c'est ce que nous appellerons la *DISPOSITION SYMÉTRIQUE DES COUCHES* due à une oscillation complète.

Enfin, pour ce qui concerne l'âge relatif des divers éléments constituant la *disposition symétrique*, la règle que nous avons déjà énoncée pour les dépôts abandonnés pendant la période d'affaissement est encore applicable, c'est-à-dire que toute la masse continue à se diviser en tranches plus ou moins horizontales, concentriques ou parallèles à l'allure du fond.

Passons maintenant à la seconde partie de la question.

Influence des oscillations séculaires sur une côte formée de roches dures et consistantes, disposées en falaise.

Voyons à présent ce qui se passe dans le cas d'une contrée rocheuse et montagneuse, située à proximité de la mer, qui s'enfonce lentement sous les flots pour émerger plus tard.

Prenons les choses dès l'origine et supposons la mer baignant le bas d'un versant rocheux se rattachant aux montagnes de l'intérieur, le sol étant animé d'un mouvement d'affaissement lent et continu.

Évidemment le travail de sape de la vague va commencer immédiatement; la base du versant rocheux va être attaquée et bientôt des parties en surplomb se détachant et tombant dans la mer, la première ligne de falaises s'ébauchera.

Nous avons vu que les débris éboulés, venant tomber au pied de la falaise, tendent à en protéger la base; dès cet instant, la sape devient moins efficace et ne peut être reprise qu'après usure et nivellement du tas de débris.

Mais le mouvement d'affaissement venant à se produire, l'amas d'éboulis ne pourra plus protéger efficacement la base de la falaise, attendu que le tas de débris est englouti sous les eaux avant que la mer ait pu le détruire entièrement et le niveler; il s'ensuit donc, à cause de l'affaissement du sol, une attaque plus continue et plus efficace de la vague et par conséquent un recul plus rapide des falaises vers l'intérieur des terres.

D'un autre côté, la mer attaquant toujours les roches vers son niveau moyen, on conçoit, lorsque le sol est immobile, que les parties rocheuses successivement arasées présentent une surface à peu près horizontale; mais si le sol descend à mesure que la sape des falaises se produit, la série des points d'attaque ne reste évidemment plus horizontale, elle tend à monter progressivement à mesure que la falaise recule et la surface d'arasement se fera donc suivant un plan oblique, dont l'inclinaison dépendra à la fois de la vitesse relative de l'affaissement et de la dureté de la roche formant la côte.

Quant à la régularité de la surface du plan incliné, elle sera variable et il pourra se former un plan presque parfait si la vitesse de l'affaissement est en rapport avec une dureté déterminée de la roche.

Dans les autres cas, il se formera une série de terrasses disposées en escaliers; c'est ce qui se présentera notamment lors de l'attaque des roches dures et résistantes ou de variations sensibles dans la vitesse de l'affaissement.

Toutes les surfaces de rocher successivement immergées, ayant été exposées pendant un temps plus ou moins long à l'action des vagues, auront leurs angles émoussés; elles s'arrondiront et se poliront, et les parties plus ou moins planes des ter-

rasses présenteront des amas de galets roulés dans leurs anfractuosités.

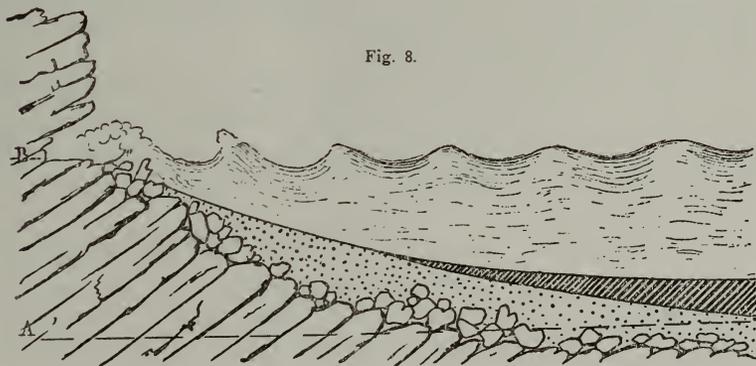
Jusqu'ici nous ne nous sommes encore occupé que de ce qui se passe le long des côtes; jetons maintenant un coup d'œil vers le large.

Les côtes rocheuses étant généralement très inclinées, il s'ensuit que la profondeur d'eau va en augmentant rapidement à mesure que l'on s'éloigne des bords.

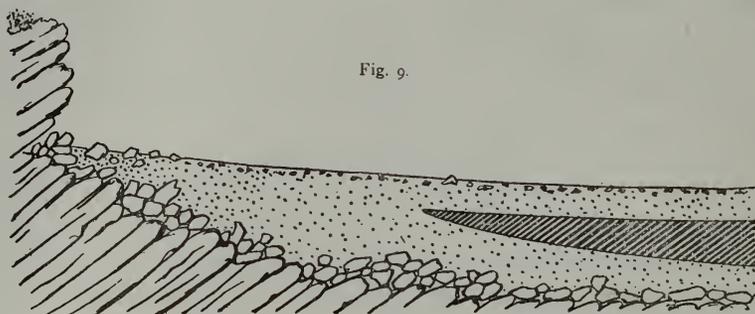
Les parties peu volumineuses des éboulis et celles provenant de l'usure continue des roches étant mises en suspension par le choc de la vague, s'écartent un peu du rivage; mais les plus grossières, trouvant l'eau profonde, coulent rapidement, glissant le long des parois rocheuses, et sont retenues par les aspérités ou atteignent le fond, où elles s'accumulent en amas au pied du plan incliné. Quant aux particules légères, entraînées vers le large, elles ne tardent pas à se déposer non loin des côtes, grâce à la tranquillité causée par la grande profondeur de l'eau.

Recourant encore aux diagrammes pour préciser les idées, on voit donc, d'après la figure 8 ci-contre, que le résultat de l'affaissement de la côte rocheuse de *A* à *B* sera représenté par un plan incliné à surfaces arrondies et polies, au bas et le long duquel seront amassés les blocs provenant des écroulements successifs de la falaise. Les blocs inférieurs seront roulés, tandis que les plus supérieurs le seront d'autant moins qu'ils proviennent d'éboulements plus récents.

Enfin, vers le large, les éléments sableux viendront recouvrir les galets, puis, plus loin, les argiles se superposeront aux sables déjà déposés.



Abordant maintenant le problème inverse, il sera facile de concevoir que si le sol, précédemment immergé, vient à subir un mouvement de soulèvement, la mer, abandonnant bientôt la falaise, viendra battre les éboulis, puis la plage sableuse, dont les matériaux seront remis en suspension. En même temps, la profondeur d'eau devenant moins grande, la limite de la zone argileuse reculera, tandis que les sables viendront successivement remplacer les argiles; enfin, chaque point de la plage émergée devenant successivement rivage, il s'y formera une suite de cordons littoraux à éléments grossiers, c'est-à-dire que les phénomènes que nous avons déjà étudiés précédemment se représenteront. (Fig. 9.)



En résumé, l'ensemble des sédiments déposés pendant l'oscillation entière, se composera donc à la base, d'un amas considérable de galets volumineux *a*, plus ou moins roulés, recouvert, sauf sur l'extrême bord, d'une zone sableuse *b*, recouverte elle-même en retrait par un noyau argileux *c*; celui-ci étant surmonté de sables *b'*, recouverts par une couche graveleuse *a'*, allant se rattacher aux éboulis de l'extrême bord.

A moins de variations très notables dans la constitution des roches de la côte, ou dans la vitesse des mouvements du sol, le lit de gravier de la base ou *gravier d'immersion* sera généralement beaucoup plus important comme volume que le *gravier d'émer-sion* du sommet.

Ainsi donc, quelle que soit la côte, dure ou peu consistante, falaise ou plage, l'effet d'une oscillation séculaire complète, d'amplitude suffisante, a pour résultat la formation d'un ensemble de sédiments disposés en zones concentriques, dont les éléments,

grossiers à l'extérieur, deviennent de plus en plus fins à mesure qu'on s'avance vers l'intérieur et qui réalisent ainsi ce que nous avons appelé la *disposition symétrique*.

Nous voilà maintenant édifiés sur l'allure en lit continu des graviers marins, sur leur mode de formation et leur signification réelle ; aussi pourrions-nous dès à présent exposer nos conclusions relatives au mode de délimitation rationnelle des couches géologiques, si nous ne voulions montrer auparavant que les règles que nous avons déduites de l'étude générale et abstraite de la sédimentation marine se confirment dans tous les cas particuliers qui peuvent se présenter.

Du reste, pour que nos principes soient admis, il est nécessaire qu'ils aient reçu une sanction au moyen de la paléontologie et ce sont ces divers sujets que nous allons successivement aborder.

Cas particuliers des mouvements brusques.

1° Oscillation rapide d'une côte en pente douce :

En règle générale, un travail mécanique est d'autant plus parfait que le temps qu'on lui accorde pour s'effectuer est plus long. Cette vérité trouve dans le cas présent son application naturelle.

On conçoit, en effet, que le classement des éléments opéré par les eaux de la mer est d'autant plus parfait, que celles-ci ont mis plus de temps à l'opérer.

Autant un travail lent et continu est régulier et complet, autant un travail rapide et pressé est inégal et incomplet.

On comprend donc que si, à la suite d'un affaissement relativement rapide du sol, la mer envahit la plaine qui borde ses rivages, les eaux, en se déplaçant et en avançant toujours, ne pourront perfectionner leur ouvrage.

Donc, le long des cordons littoraux successifs déjà immergés alors qu'ils étaient à peine ébauchés, pas de galets roulés classés d'après leur volume, mais des blocs ou des éléments disposés sans ordre, conservant leurs angles aigus et leurs arêtes vives, s'ils les possédaient d'avance.

De même, vers le large, les profondeurs d'eau croissant continuellement, il se produit une sédimentation troublée mais dans laquelle on pourra néanmoins suivre les progrès du phénomène.

Pendant la période d'émersion rapide, les mêmes faits se reproduiront en sens inverse ; les rivages en reculant vont abandonner une suite de maigres cordons littoraux, les sables empiéteront sur les parties plus légères et en fin de compte nous nous trouverons en présence d'un ensemble de dépôts très peu puissants mais dont la disposition symétrique sera encore reconnaissable.

2° Oscillation rapide d'une côte bordée de falaises :

Si la roche qui constitue la falaise est dure et résistante, la sape ne pouvant se faire efficacement qu'au bout d'un temps très long, une oscillation relativement rapide n'aura d'autre effet que d'enfoncer d'une pièce la falaise sous l'eau et de l'en faire sortir de même, sans dégradations très appréciables.

Si la roche est tendre et la falaise à pic, sa paroi, de verticale, deviendra oblique par suite des érosions successives qu'elle subira pendant l'immersion et tendra à redevenir verticale pendant l'émersion ; de sorte que le résultat final sera un recul plus ou moins marqué de la falaise.

On voit donc que dans le cas très rare d'ailleurs de mouvements rapides, l'effet général est faible et les résultats sont d'autant moins sensibles que le mouvement est plus rapide.

Cas particuliers de phénomènes affectant une oscillation séculaire.

Laissant maintenant de côté les cas de mouvements brusques dont l'effet est toujours très faible et abandonnant également les cas relatifs aux côtes rocheuses ou falaises, lesquels trouvent peu d'applications dans les études auxquelles nous nous sommes livré, abordons maintenant les phénomènes séculaires affectant des régions littorales en forme de plage, pour y puiser des renseignements précieux et d'une application presque continuelle :

1° *Cas d'un arrêt momentané pendant une oscillation séculaire.*

Soit par exemple un arrêt se produisant pendant une immersion lente ; l'effet principal d'un semblable arrêt réside dans la fixité rendue aux rivages, et la conséquence sera une légère érosion des

côtes, d'autant plus marquée que le temps d'arrêt aura été plus long.

D'un autre côté, il y aura perfectionnement dans le travail de la mer, d'où classement d'autant plus régulier des sédiments.

2° *Cas de petits mouvements secondaires en sens contraire, se produisant pendant une oscillation séculaire.*

Un petit soulèvement venant interrompre le cours d'un affaissement lent et régulier, donnera évidemment naissance, en dehors de la zone littorale, à des sédiments plus grossiers que ceux qui se déposaient immédiatement avant le soulèvement.

L'épaisseur et le volume des nouveaux sédiments seront en raison directe de l'importance du mouvement perturbateur.

Ce même mouvement ayant aussi pour effet de soulever le littoral en même temps que tout l'ensemble, il s'ensuit que les rivages, en reculant, abandonneront une certaine série de cordons littoraux qui se superposeront à des dépôts réguliers déjà formés; des graviers se déposeront sur des parties sableuses et des sables recouvriront les bords de la zone argileuse.

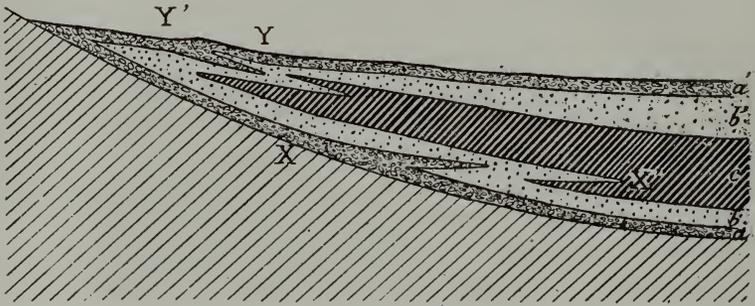
Mais le mouvement principal reprenant le dessus, c'est-à-dire l'affaissement recommençant à s'effectuer, les rivages regagneront ce qu'ils avaient abandonné, de sorte qu'ils recouvriront le *gravier d'émergence* produit par le soulèvement perturbateur d'une nouvelle couche de *gravier d'immersion* qui accroîtra ainsi le volume total du gravier déposé en cet endroit; puis tout rentrera dans l'ordre normal, les éléments reprendront le volume correspondant aux profondeurs successivement croissantes et tout se passera régulièrement jusqu'à la fin du grand mouvement d'immersion.

Le résultat matériel de la perturbation sera donc l'intercalation, dans la masse normale des sédiments d'immersion, d'un lit ou d'une bande régulière et concordante de dépôts plus gros que ceux qui sont au-dessous et au-dessus et comprenant, à partir de l'extrême bord, un lit de gravier pénétrant au milieu de la partie sableuse, suivi d'un lit sableux qui entrera dans la partie argileuse, mais qui, plus loin, se confondra avec elle par diminution insensible de la grosseur des éléments.

Nous ne croyons pas devoir pousser plus loin l'examen détaillé de toutes les complications du genre de celle que nous venons de

traiter ; nous nous contenterons de donner ci-après (fig. 10) un diagramme représentant la coupe d'un rivage ayant subi un mouvement séculaire complet d'immersion, puis d'émersion, mouvement qui a été momentanément troublé par deux perturbations dirigées en sens contraire du mouvement normal.

Fig. 10.



a Gravier d'immersion.

b Première zone sableuse.

c Zone ou noyau argileux.

b' Deuxième zone sableuse.

a' Gravier d'émersion.

XX' Perturbation en sens contraire pendant l'affaissement.

YY' Perturbation en sens contraire pendant le soulèvement.

3° Cas d'une oscillation complète de peu d'amplitude.

Étant toujours entendu que nous ne nous occupons ici que de contrées bordées par des plages, on conçoit que si une oscillation de peu d'amplitude affecte cette plage, le phénomène a pour effet de faire varier, pour un point donné du rivage primitif, la profondeur de l'eau dans des limites assez restreintes. Si donc cette profondeur d'eau n'est pas suffisante pour permettre le dépôt des argiles, les matières légères mises en suspension continueront à se retirer vers le large, de sorte que pendant la période d'affaissement il se déposera successivement, à mesure des empiètements, la suite des cordons littoraux formant le lit continu du *gravier d'immersion*, recouverte de sables grossiers d'abord, puis plus fins si la profondeur d'eau est suffisante ; et pendant la période d'émersion, les

phénomènes se reproduisant en sens inverse, la zone sableuse reculera à son tour, suivie de près par les cordons littoraux successifs formant en fin de compte le lit continu du *gravier d'émersion*.

En général, à moins de circonstances particulières permettant l'existence d'une tranquillité exceptionnelle des eaux, il ne se déposera donc, pendant les oscillations d'amplitude restreinte, que des graviers et des sables.

4° *Cas d'oscillations de très faible amplitude.*

Supposons une contrée basse, à surface plane, formant le littoral d'une mer où la marée se fait peu sentir, et qui, après un faible affaissement du sol, reste stationnaire.

Dans ce cas, à une dénivellation lente de quelques mètres correspond l'envahissement successif d'une vaste région sous une nappe d'eau très peu épaisse.

Or, dans ces circonstances, à cause de l'étendue de la nappe et de son manque de profondeur, on conçoit que le mouvement superficiel de l'eau éprouve une grande résistance, il ne peut donc se former de vagues ni de remous importants; de sorte que pendant l'immersion, il s'établit une lagune où l'absence de tout mouvement un peu violent des eaux empêche la formation de cordons littoraux poussés en avant à mesure des progrès de l'invasion de la mer.

L'ancien cordon littoral existant avant l'envahissement reste donc stationnaire et, se trouvant toujours lui-même à la limite d'agitation efficace des eaux, il peut continuer à s'accroître et même, en certains cas, former des levées ou digues peu élevées, qui tendent à séparer plus nettement la lagune de la haute mer.

Si, à cet instant, le mouvement d'affaissement vient à cesser, la tranquillité règne dans la lagune et elle ne peut être troublée que par les effets de la marée ou par des affluents d'eau douce qui viennent s'y jeter.

Dans ces conditions, on conçoit que les dépôts de lagune doivent être généralement fins, vaseux et dépourvus de gravier à la base. Ces sédiments reposent directement sur l'ancien sol immergé.

Un faible soulèvement correspondant à l'affaissement précédent n'amènerait, dans la plupart des cas, que l'écoulement paisible dans la mer des eaux de la lagune, ou l'assèchement de celle-ci, dans le cas où une levée de galets aurait fermé toute communication de la lagune avec la mer.

5° Plages sous-marines et sables d'émersion.

Nous avons vu précédemment que lorsqu'un soulèvement suit un affaissement correspondant du sol, pendant lequel des sédiments : graviers, sables et argiles, se sont déposés, il se forme au-dessus de ces derniers une nouvelle série inverse de dépôts qui donnent à l'ensemble la *disposition symétrique*.

Or, les dépôts marins s'accumulant peu à peu sur le fond, tendent à combler l'excavation, de sorte qu'en fin de compte, la partie supérieure des dépôts présente naturellement une surface beaucoup moins concave que le fond primitif.

Lors de l'émersion lente de pareilles surfaces, il arrive parfois un instant où, par suite du manque de profondeur d'eau suffisante sur de grandes surfaces, il se forme d'immenses plages couvertes d'eau sur lesquelles les vagues viennent mourir.

C'est alors que se déposent ces masses de sable à grains généralement uniformes et que l'on rencontre parfois sur des épaisseurs assez considérables.

Lors du retrait définitif des eaux par suite de la continuation du soulèvement, les cordons littoraux successifs, formant *gravier d'émersion*, qui viennent s'étaler sur les sables d'émersion déposés sur les plages sous-marines, ne peuvent guère être constitués d'éléments bien grossiers; aussi se composent-ils le plus souvent d'un amas de coquilles brisées et triturées. D'un autre côté, à mesure que la mer se retire, la superficie des sables peut garder la trace des derniers clapotements des eaux et former des surfaces ondulées qui ont reçu le nom de *ripple-marks*.

Dans certains cas favorables, ces *ripple-marks* peuvent se conserver par durcissement, mais le plus souvent, le vent les efface et la plage émergée se couvre de dunes.

Nous venons de passer en revue les divers cas particuliers qui peuvent se présenter et, sauf le cas des lagunes, qui ne sont à proprement parler que des annexes stagnantes de la mer, nous avons vu que les lois de la sédimentation marine, lors des oscillations du sol, viennent toujours se résumer dans ce que nous avons appelé la *disposition symétrique*.

Or, à la surface du globe, il est rare de trouver des régions qui n'ont pas été affectées au moins par quelques oscillations du sol; il

est donc de la plus haute importance d'étudier d'une manière abstraite, comme nous venons de le faire, les effets de ces mouvements du sol occasionnant des envahissements et des retraits successifs de la mer ainsi que la disposition des dépôts qui en sont la conséquence ; c'est ce qui fera l'objet du chapitre suivant.

Disposition des sédiments déposés pendant une succession d'oscillations complètes du sol affectant une région déterminée.

Quelles que soient les perturbations locales ou passagères, tout grand mouvement d'immersion, suivi d'émersion totale, provoque inévitablement la formation de sédiments occupant la disposition symétrique et dont le terme supérieur est le *gravier d'émersion*.

Cela étant, si au bout d'un certain laps de temps un deuxième mouvement d'immersion se fait sentir, on conçoit aisément que la succession des phénomènes que nous avons déjà si souvent décrite va se reproduire.

La mer, en envahissant le sol émergé, va attaquer celui-ci le long des rivages successifs et en remaniera les éléments.

Or, quels sont ces éléments ? Ils consistent tout d'abord dans le *gravier d'émersion* déposé à la fin de la période précédente, puis dans les couches sableuses puis argileuses sous-jacentes.

L'érosion de la mer le long de ses rivages produira donc un *ravinement* ou une *dénudation* de ces couches, de sorte que les éléments de celles-ci, remaniés, serviront à former les premiers dépôts de la nouvelle mer.

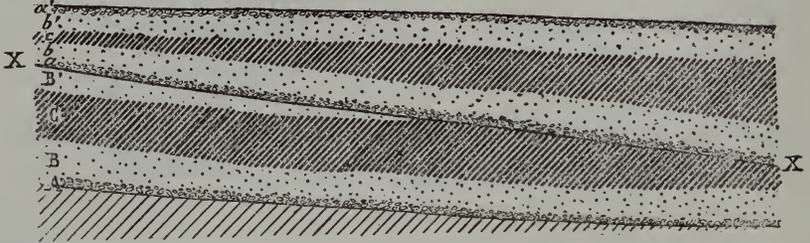
Or, le premier de ces dépôts est le *gravier d'immersion*, de sorte que ce gravier sera formé en grande partie aux dépens du *gravier d'émersion* de l'ancienne mer.

De même les sables d'émersion situés sous le gravier d'émersion, mis en suspension, serviront à former les sables d'immersion de la nouvelle mer et ainsi de suite jusqu'au niveau où la dénudation s'arrête.

De toute façon, les dépôts formés pendant la nouvelle oscillation complète se disposent à leur tour symétriquement et d'une manière intégrale sur ce qui reste des sédiments déposés lors de la première oscillation ; de telle sorte que nous pouvons représenter

fidèlement par le diagramme ci-dessous les faits que nous venons d'exposer :

Fig. II.



- | | | |
|---|---|---|
| Sédiments restant de la première oscillation complète. | } | A Gravier d'immersion.
B Première zone sableuse (<i>sable d'immersion</i>).
C Noyau argileux. (Fin de l'immersion et commencement de l'émersion.)
B' Deuxième zone sableuse (<i>sable d'émersion</i>). |
| XX Ligne de ravinement. | | |
| Sédiments déposés pendant la deuxième oscillation complète. | } | a Gravier d'immersion.
b Sable d'immersion.
c Noyau argileux.
b' Sable d'émersion.
a' Gravier d'émersion. |

On conçoit que si une troisième oscillation du sol suit la deuxième, les mêmes phénomènes se reproduiront, le *gravier d'émersion* terminant la deuxième période sera raviné à son tour et fournira ainsi les éléments principaux du *gravier d'immersion* de la troisième période, et ainsi de suite.

D'où il suit que dans le cas de récurrence de phénomènes marins consistant en séries d'oscillations suffisamment amples, amenant des immersions et des émersion successives :

1° Les bases des dépôts correspondant à chacune des oscillations, ravinent les dépôts sous-jacents et sont caractérisées par la présence d'un gravier d'immersion toujours plus ou moins apparent.

2° Tous les dépôts distincts, formés pendant chacune des périodes d'oscillation, excepté le dernier ou le plus récent, perdent en tout ou en partie par le ravinement leur *gravier d'émersion* et une partie plus ou moins grande de leurs zones supérieures.

3° Les bases successives des dépôts, formées des *graviers d'immersion*, sont constituées en majeure partie par les éléments remaniés du gravier d'émersion de la période précédente.

Enfin, avant de terminer ce chapitre, il nous reste encore à voir ce qui se passe dans le cas d'oscillations relativement faibles et dans le cas d'oscillations successives entre lesquelles le mouvement d'exhaussement n'a pas été suffisant pour amener, lors du soulèvement maximum, une émergence complète.

1° *Cas d'oscillations successives et complètes, mais d'amplitude variable.*

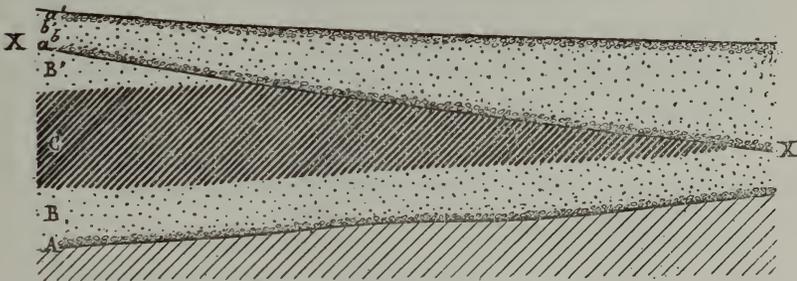
Si l'amplitude est suffisante, on sait qu'il se produit des dépôts avec *disposition symétrique* complète.

Si l'amplitude est moins prononcée, on constate des absences de sédiments à commencer par les plus fins, c'est-à-dire par les argiles.

Cependant, dans les deux cas, le gravier d'émergence existant toujours, il s'ensuit que celui de la période la plus ancienne sera toujours raviné lors de l'immersion suivante et disparaîtra.

Si donc, à une oscillation complète de grande amplitude succède une oscillation complète d'amplitude moindre, ne permettant pas le dépôt d'argile, la série des superpositions se présentera comme nous l'avons figuré ci-dessous :

Fig. 12.



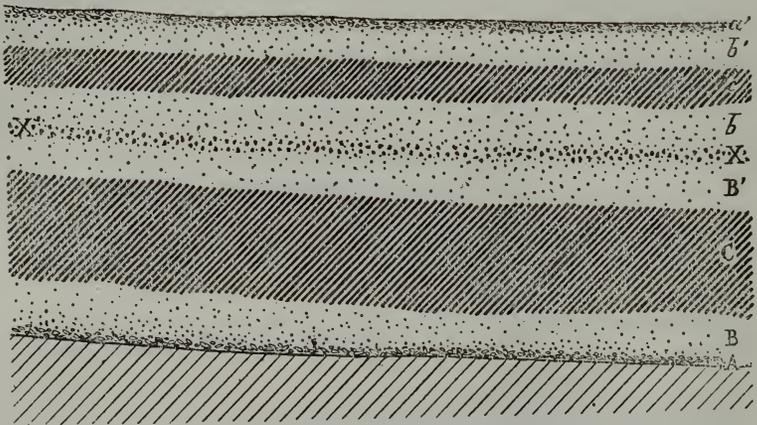
- | | | |
|--|--|--|
| Sédiments restant de la première oscillation complète de grande amplitude. | } A Gravier d'immersion.
B Sable d'immersion.
C Noyau argileux.
B' Sable d'émergence. | |
| XX Ligne de ravinement. | | |
| Sédiments de la seconde oscillation complète de moindre amplitude. | | } a Gravier d'immersion.
b Sable d'immersion.
b' Sable d'émergence.
a' Gravier d'émergence. |
| | | |

2° Cas d'oscillations successives mais incomplètes.

Soit une première oscillation de grande amplitude, pendant la période de soulèvement de laquelle le mouvement ascensionnel a cessé pour se transformer en un nouveau mouvement d'affaissement, avant que le fond se soit complètement émergé.

Pendant toute la première partie du phénomène les sédiments prendront la *disposition symétrique* ordinaire, mais, le soulèvement cessant alors que les sables d'émersion se déposent, il s'ensuit que toutes les parties restant couvertes d'eau, et ne devenant point rivage, du gravier ne peut se déposer; *il ne se forme donc point de gravier d'émersion* (1).

Fig. 13.



Sédiments déposés pendant la première oscillation.	{ A Gravier d'immersion. B Sable d'immersion. C Noyau argileux. B' Sable d'émersion.
XX Zone graveleuse.	
Sédiments déposés pendant la deuxième oscillation.	

(1) On conçoit que si l'émersion complète a été sur le point de s'effectuer, les derniers éléments déposés seront d'autant plus grossiers; il pourra même se former une *zone graveleuse* composée de grains de gravier disséminés au sommet des sables d'émersion; mais l'affaissement intervenant alors, il ne se produit pas de ravinement, et le nouveau gravier d'immersion ne se forme pas. La *zone graveleuse* s'intercale entre les deux dépôts avec transitions insensibles.

Le mouvement de soulèvement se transformant ensuite en mouvement d'affaissement, la profondeur d'eau s'accroît de nouveau, et les sables d'émergence précédents se recouvrent, avec transition insensible, d'autres sables, d'abord identiques, puis devenant de plus en plus fins jusqu'à passer à l'argile.

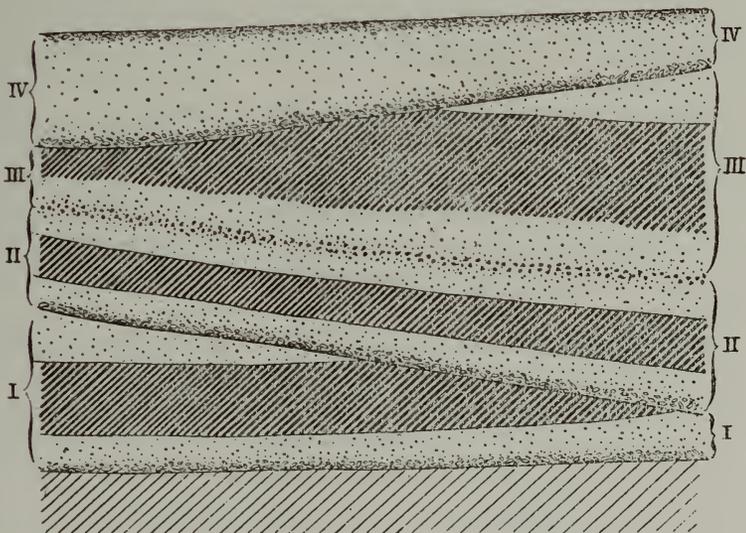
Enfin, lorsque le soulèvement définitif s'effectue, les sables succèdent aux argiles, puis le gravier d'émergence vient recouvrir les sables.

Le diagramme (fig. 13) rend compte de cette disposition, dans l'hypothèse d'un soulèvement ayant presque occasionné l'émergence du fond, entre les deux oscillations.

Ce cas se présente assez souvent et reçoit plusieurs applications directes dans l'étude des terrains tertiaires de la Belgique.

Enfin, pour résumer tout ce que nous venons de dire au sujet des divers cas qui peuvent se présenter, nous les avons réunis ci-après, fig. 14, en un seul diagramme, montrant la succession des sédiments déposés pendant :

Fig. 14.



1° Une oscillation complète de grande amplitude.

2° Une oscillation de grande amplitude dont le mouvement de soulèvement n'a pas été suffisant pour produire l'émergence totale.

3° Une oscillation de grande amplitude succédant immédiatement à une émergence incomplète, mais avec émergence propre complète.

4° Une oscillation complète de faible amplitude.

Il est impossible de ne pas être frappé de l'identité parfaite existant entre les diagrammes que nous venons d'obtenir en traitant le sujet d'une manière abstraite, et les superpositions réelles qui s'observent dans nos terrains tertiaires de la Belgique.

Disposition symétrique, graviers continus avec ravinement, zones graveleuses, passages insensibles, absence de zones argileuses médianes, couches terminées en biseau, tous ces cas se présentent à chaque instant dans notre pays, et de l'identité des résultats il n'est pas possible d'admettre — même en l'absence momentanée d'autres preuves — autre chose que l'identité des causes.

Les graviers continus qui séparent si nettement nos couches tertiaires sont donc bien les restes des anciens cordons littoraux successifs; nos sables, nos argiles marines sont bien les dépôts effectués pendant le cours des oscillations de la région; par conséquent Dumont a été bien inspiré, lorsque, frappé par la netteté des divisions que les graviers fournissent, il n'a pas hésité à s'en servir comme d'une ligne de démarcation.

Ici se termine ce que nous avons à dire relativement à la partie mécanique de la formation des graviers et de la sédimentation marine appliquée à la notion des oscillations du sol; nous concevons maintenant, dans tous les principaux cas qui peuvent se présenter, la série des phénomènes qui se produisent et la manière dont les superpositions de couches sédimentaires s'édifient et s'agencent.

D'un autre côté, il suffit d'ouvrir l'un quelconque des bons traités de géologie pour être au courant de tous les phénomènes de la sédimentation des eaux douces (torrents, rivières, fleuves, lacs, embouchures de rivières, deltas, barres, etc.), de sorte que nous pouvons nous considérer comme étant en possession des faits qui, dans un très grand nombre de cas, permettront de nous faire une idée de l'origine précise de dépôts dont le géologue a à entreprendre l'étude.

Quand nous serons en présence de coupes montrant des superpositions de couches sédimentaires, nous pourrons donc dire, à l'inspection de leur nature, de la façon dont leurs transitions

s'effectuent, de leur mode de stratification, de leur allure générale, si ces couches ont une origine marine, fluviale, torrentielle ou lacustre; si elles ont été déposées pendant une immersion ou pendant une émerision, etc.

Mais, nous dira-t-on, il existe mille circonstances locales qui, agissant pendant la formation d'un dépôt, peuvent le modifier et le rendre analogue comme aspect ou composition à des sédiments résultant de phénomènes d'ordre très différent; d'où l'on pourrait être amené à croire qu'en pratique, l'application de la théorie peut amener de graves erreurs.

Nous sommes loin de contredire qu'il puisse se présenter des cas embarrassants et, à première vue, insurmontables; mais deux moyens de contrôle extrêmement puissants et certains peuvent être utilisés pour se tirer d'embarras.

Le premier de ces moyens consiste dans l'*extension des observations*.

Extension des observations. — Évidemment, si l'on ne considère qu'une coupe locale, celle donnée par une carrière, par exemple, il peut se présenter quantité de cas où le doute sera permis pour des couches mal caractérisées, dont on ne voit pas la base ou dont on ne distingue pas le sommet. Dans des cas semblables, on conçoit qu'on ne puisse émettre que de simples opinions et que de graves erreurs soient possibles.

Mais si l'on suit les couches rencontrées sur de grandes distances, si l'on note toutes les superpositions visibles dans les carrières, les chemins creux, dans les affleurements naturels ou artificiels de toute nature qui nous sont offerts, on ne tarde pas à se faire une idée nette et exacte des faits et de l'origine des couches.

Les observations ne doivent donc pas être simplement locales, elles doivent au contraire être poursuivies sur de grandes distances et c'est cette manière d'opérer qui, seule, permet de reconnaître les allures vraies, les caractères qui donnent des certitudes.

On comprend donc que si, après de nombreuses observations faites en tous les points observables d'une région, nous trouvons un gravier tranchant nettement sur des couches sous-jacentes, suivant une allure régulière et de composition sensiblement homogène; dont les éléments, d'abord grossiers vers le bas, vont en décroissant, puis passent à des sables qui le surmontent, puis à des argiles, il est indiscutable et absolument vrai que nous sommes

en présence des traces d'un phénomène marin et, de plus, devant les résultats d'une immersion lente de la contrée.

Si cette argile dont il vient d'être question passe elle-même insensiblement, en montant, à des sables fins qui deviennent peu à peu grossiers en s'élevant, jusqu'à passer au gravier, nous sommes de même absolument certains que nous suivons les progrès de l'émersion de la contrée, à la suite d'un retrait de la mer.

De même, si nous nous trouvons devant une série de coupes montrant une couche ravinant violemment celle sur laquelle elle repose, et formée de sables grossiers et de graviers disposés en lignes ondulées et discontinues, si cette couche grossière est recouverte à son tour par des sables irrégulièrement stratifiés et des argiles disposées en masses lenticulaires, il ne pourra exister aucun doute : nous sommes bien en présence d'une manifestation d'eaux douces qui ont coulé à l'état torrentiel à la surface de l'ancien sol.

Nous pourrions multiplier les exemples à l'infini, mais nous le jugeons inutile et nous répéterons simplement que l'on ne peut tirer, au moyen de la stratigraphie seule, des conclusions certaines relatives à l'origine des couches, que lorsque les observations ont été effectuées sur une étendue suffisante pour que la *caractéristique* apparaisse.

Il ressort donc de l'examen physique des roches sédimentaires, que toutes les conclusions que l'on peut en tirer au point de vue de leur origine, ne sont pas fondées le plus souvent sur la nature même de la roche considérée, étudiée en un point local quelconque ; mais que ces conclusions sont presque toujours tirées des relations de cette même roche avec celles situées au-dessus et au-dessous et que la caractéristique d'une couche est principalement donnée par la manière dont elle passe à celle qui précède et à celle qui suit.

Dans une coupe locale, une couche sableuse, argileuse ou calcaire dont on ne voit ni la base ni le sommet, pourra ressembler autant à un dépôt d'eau douce ou d'eau saumâtre qu'à un sédiment marin ; mais lorsqu'un réseau suffisant d'observations aura donné clairement la manière dont la couche considérée repose sur la sous-jacente et est surmontée par la supérieure, le problème pourra presque toujours être résolu d'une façon certaine et sans chance d'erreur.

Dans le cas où des observations étendues seraient rendues difficiles ou impossibles et par conséquent lorsque les relations des couches entre elles ne pourraient pas être nettement saisies, le

second moyen dont nous avons parlé ci-dessus vient alors se présenter, ou plutôt s'imposer avec toute son importance.

Preuves paléontologiques. — Le moyen dont il est question réside dans l'étude des fossiles, c'est-à-dire des restes laissés par les animaux et les végétaux qui ont vécu pendant que se succédaient les phénomènes de la sédimentation.

Mais il existe une distinction très importante à constater ici tout d'abord : elle consiste en ce que, dans le cas de recherches sur l'origine des couches, ce n'est pas l'étude des *espèces* fossiles qui est utile, c'est la connaissance des *genres* auxquels appartiennent les espèces.

Les *genres* d'animaux ou de végétaux sont la caractéristique des *circonstances*, des *conditions spéciales* à chaque nature de dépôt sédimentaire; les *espèces* d'animaux ou de végétaux sont la caractéristique des *temps* ou de l'*âge relatif*.

Les *genres* auxquels appartiennent des débris organiques enfouis au sein d'une formation quelconque équivalent, pour ainsi dire, à des étiquettes sur lesquelles seraient inscrites les conditions physiques de cette formation.

En effet, chacun sait que les animaux et les végétaux ne sont pas distribués au hasard sur la terre et dans les eaux.

Chaque habitat particulier a ses habitants propres et cette distinction pénètre même jusque dans les détails les plus infimes de la création.

Un embranchement du règne animal est surtout précieux au point de vue des déductions que l'on peut tirer de la présence de ses représentants dans les couches de terrains, à cause de leur profusion sur la terre et dans les eaux et de la facile conservation d'une des parties constitutives les plus caractéristiques : c'est l'embranchement des *mollusques*.

Partout où il y a de l'eau salée ou de l'eau douce, ou simplement de l'humidité, on peut être certain de trouver des mollusques; or, l'eau étant le principal agent de dépôt, il est rare que dans les circonstances normales, les dépôts ne renferment pas de restes de mollusques.

Ces restes sont naturellement les coquilles, qui servent en quelque sorte de squelette extérieur aux animaux qui les portent.

Ainsi que cela existe pour les autres formes organiques, et même pour beaucoup de corps inorganiques, les formes des coquilles des mollusques sont parfaitement définies, et elles sont toujours en relation intime avec les conditions de vie de l'animal.

D'après ce que nous venons de dire, l'embranchement des mollusques se divise en familles, en genres et en espèces définis, chaque genre ayant pour ainsi dire sa destination spéciale.

Non seulement il existe des mollusques marins, d'eau saumâtre, d'eau douce et terrestres, mais chacune de ces catégories se subdivise encore suivant les conditions particulières dans lesquelles peuvent se trouver ces eaux ou le continent.

C'est ainsi que les genres de mollusques marins changent avec les profondeurs de l'eau, avec la nature du rivage et du fond, avec la température de l'eau et enfin avec la latitude.

De même, les genres de mollusques d'eau douce changent suivant que l'eau est courante ou stagnante : les genres d'eau saumâtre changent avec le degré de salure et enfin les genres terrestres changent avec le degré d'humidité, la nature du sol, la température et l'altitude de la région.

Les naturalistes ont minutieusement étudié et noté toutes ces différences, si bien que nous sommes actuellement en possession d'éléments déjà très complets sur ce sujet, éléments dont l'application conduit à d'autant plus de certitude que les faits observés sont multiples.

Grâce à cette précieuse loi naturelle, les restes organiques que nous rencontrons à foison dans la plupart de nos terrains sédimentaires, deviennent donc un élément important de conclusion ou de preuve pour toutes les questions se rattachant à l'origine des couches, suivant que celles-ci manquent de caractéristique stratigraphique ou la possèdent clairement.

Observant plus spécialement ce qui se passe dans les eaux marines, si nous parcourons un littoral de plage, puis que nous observons les manifestations de la vie en nous enfonçant successivement dans les profondeurs, nous voyons d'abord le cordon littoral formé d'éléments grossiers et de gravier, se chargeant le plus souvent d'une quantité double de son volume, de débris de coquilles qui vivent sous l'eau à des profondeurs diverses.

A marée basse, nous voyons la plage sableuse couverte de tortillons de sable agglutiné rejetés par des myriades d'annélides vivant dans leur tube arénacé ; nous observons les mollusques lithophages ou xylophages accomplir leur œuvre de destruction ; les balanes, les bryozoaires, etc., garnir et couvrir les parties dures que les lithophages n'ont pas envahies ; un peu plus loin, vers le large, à l'abri de la grande agitation des eaux, nous constatons la présence des espèces littorales vivantes : *Cardium*, *Ostrea*, puis *Murex*, *Buc-*

cinum, *Triton*, *Purpura*, *Natica*, *Turritella*, *Pleurotoma*, etc., c'est-à-dire la variété infinie des gastéropodes carnassiers; c'est là que nous rencontrerons aussi en abondance les crustacés : crabes, homards, etc.

Plus loin encore, se plaisent les lamellibranches à valves bâillantes et à syphon allongé, plantées verticalement dans le sable fin ou la vase, tels que les *Solen*, *Cultellus*, *Solecurtus*, *Mya*, *Panopea*, etc.

Enfin, lorsque la vase argileuse fine et pure apparaît dans la profondeur, la vie semble s'éteindre.

Or, si nous étudions les genres d'animaux renfermés dans des couches géologiques renfermant des fossiles et affectant la *disposition symétrique*, c'est-à-dire déposées pendant une oscillation complète du sol, nous constaterons à coup sûr une disposition analogue.

Dans le *gravier d'immersion*, nous trouverons les restes en mauvais état, brisés, triturés et roulés, d'une faune variée dont nous retrouverons dans les couches supérieures la majeure partie des formes en bon état de conservation.

Les grès épars sont perforés par des mollusques lithophages, ou couverts de bryozoaires; des fragments de bois souvent minéralisés sont perforés par les tarets, etc. Enfin, à tous ces matériaux divers viennent se mêler des débris roulés de poissons, de crustacés, d'oursins, etc.

D'un autre côté, sur les mêmes grès faisant primitivement partie du gravier littoral, se trouvent des huîtres, des spondyles, des petits polypiers, qui s'y sont attachés lorsque le mouvement d'affaissement, commençant à se faire sentir, a enfoncé ces blocs sous la zone de perpétuelle agitation des eaux.

Dans les sables généralement stratifiés qui surmontent le gravier d'immersion, on trouve d'abord les innombrables traces tubulaires, laissées par les générations d'annélides qui y ont vécu, puis on rencontre une faune de lamellibranches côtiers tantôt bivalves, tantôt à valves dépareillées, et quelquefois roulées (*Cardium*, *Ostrea*, *Pectunculus*, etc.), ainsi que des gastéropodes, avec débris assez fréquents de végétaux terrestres, indiquant la proximité du rivage.

Plus haut, dans les sables homogènes déposés sous une plus grande profondeur d'eau, se développent, en masses compactes généralement bien conservées, les espèces caractéristiques abondantes : les bancs de Turritelles, de Ditrupa, etc., ainsi que certains bancs de foraminifères, tels que les *Nummulites*.

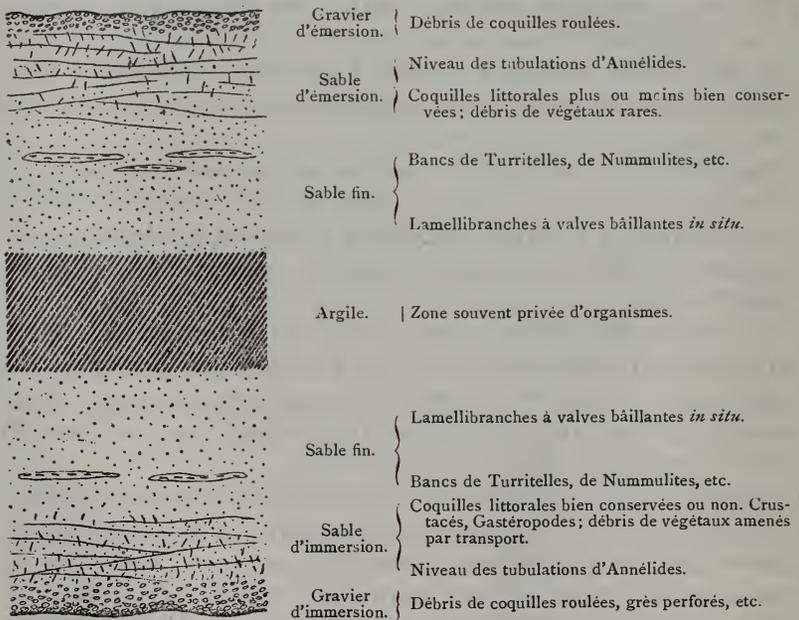
Enfin, dans les sables fins ou argileux, se présentent des lamellibranches à valves bâillantes, ayant souvent conservé la position verticale qu'ils occupaient pendant la vie.

Après ces sables fins arrivent les argiles d'eau profonde, qui semblent ordinairement azoïques.

Dans toute la masse argileuse centrale, les fossiles sont donc très rares; mais, dès que la zone sableuse supérieure apparaît, la faune réapparaît avec elle et nous voyons se reproduire, en ordre inverse, la série des formes organiques déjà connues, caractérisant à leur tour les sables et le gravier d'émerison.

C'est ce que nous avons cherché à représenter dans le diagramme suivant (fig. 15) :

Fig. 15.



Évidemment, tous les caractères paléontologiques que nous venons de signaler ne se retrouvent pas au grand complet dans toutes les couches fossilifères déposées pendant une oscillation; mais les principaux s'y présentent toujours.

Dans tous les cas, c'est par *absence de caractères* que les exceptions à la règle générale se produisent et jamais par *interversion*.

L'absence de caractères se comprend du reste aisément par les

conditions particulières qui peuvent se présenter, telles que influence de la température, des courants, des embouchures de fleuve, ou absence dans l'apport des éléments inorganiques nécessaires pour constituer nettement l'une des zones que nous avons considérées.

D'un autre côté, on conçoit que les caractères des *sables et graviers d'émerision* sont toujours un peu différents de ceux des *sables et graviers d'immersion*, en ce sens que ces derniers peuvent contenir par ravinement des formes organiques ayant vécu pendant la période antérieure, tandis que les premiers ne peuvent guère contenir que la faune pure et propre au bassin déterminé, plus les légères modifications que l'évolution a pu produire sur les formes animales et végétales pendant la longue suite de siècles nécessaires à l'accomplissement d'une oscillation complète.

Ainsi viennent se confirmer d'une manière claire et naturelle tous les principes que nous avons tirés de la seule étude des phénomènes de la sédimentation marine, combinée avec la notion des oscillations du sol.

Avant d'aller plus loin et d'exposer nos dernières conclusions, nous croyons encore nécessaire de traiter à fond un cas dont l'appréciation inexacte pourrait faire commettre de graves erreurs au point de vue de la distinction des faunes qui se sont succédé pendant deux oscillations successives.

Nous avons vu, en effet, que les *graviers d'immersion* sont formés par les avancements lents et continus des eaux marines envahissant un continent et qu'ils sont constitués par les éléments grossiers provenant du remaniement des roches immédiatement sous-jacentes.

Or, si ces roches sont fossilifères, il devient évident que les fossiles, arrachés, dégagés, roulés, se mêleront aux restes de la faune nouvelle qui se développe, grâce au changement des conditions vitales et de l'évolution.

Si la roche inférieure renferme un grand nombre de fossiles, il est certain qu'il peut arriver des cas où le nombre d'espèces ou d'individus de la faune remaniée pourra dépasser le nombre d'espèces de la faune nouvelle et si l'étude de la faune du gravier d'immersion est confiée à un paléontologue qui ignore les conditions de gisement des fossiles, ce paléontologue, en se basant sur l'âge relatif des espèces les plus abondantes, commettra de bonne foi des erreurs grossières en fournissant au stratigraphe des résultats qui bouleverseront les conclusions de celui-ci.

Dans le cas de deux oscillations marines successives, il est certain que le gravier d'immersion correspondant à la seconde, sera encombré de coquilles remaniées, enlevées aux dernières couches déposées pendant la première oscillation; et l'ensemble de la faune du nouveau gravier ne possédera plus de caractères propres. Dans la nature, des faits de ce genre se rencontrent souvent.

C'est de cette manière que des discussions interminables se sont produites entre stratigraphes et paléontologues, relativement à des proportions d'espèces dont la signification était nulle.

C'est aussi pour les mêmes raisons que pendant si longtemps l'on a omis de considérer à leur vraie valeur les lignes de graviers marins continus et bien caractérisés, parce que les éléments fauniques de ces graviers semblent marquer une transition insensible ou un changement de faune presque inappréciable, alors que certaines espèces auxquelles on accordait beaucoup d'importance sont simplement remaniées.

Pour connaître les faunes propres des subdivisions géologiques, il faut donc s'attacher à l'étude des fossiles recueillis dans les couches situées entre les graviers: c'est alors que l'on voit ressortir d'une façon lumineuse les vrais caractères propres et distinctifs de chaque faune.

Avec les preuves paléontologiques dont nous venons d'exposer la portée considérable, les erreurs ne sont plus possibles dans l'appréciation de l'origine des couches sédimentaires, ni dans celle des mouvements du sol qui en ont été la cause; donc, plus d'hésitations pour l'établissement des subdivisions des couches déposées à différentes reprises dans un même bassin géologique, si l'on suit la méthode admise par le Service de la Carte géologique et que nous allons exposer ci-après.

Le but de la géologie étant la reconstitution complète de l'histoire organique et inorganique du globe terrestre depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, il est certain qu'on ne pourra atteindre le but que l'on s'est proposé, avant d'avoir établi une chronologie générale des événements, concordant avec la succession des faits.

Ce ne sont pas les faits isolés, énoncés sans ordre, qui font l'histoire; c'est leur classement chronologique et les relations qui les lient entre eux.

L'histoire de l'humanité se divise naturellement en grandes périodes, pendant lesquelles certaines influences prépondérantes ont profondément marqué leur empreinte et relégué à l'arrière-plan tous les faits secondaires.

A côté de l'histoire universelle des peuples, qui n'admet que les grandes périodes principales, il y a les histoires locales, intéressant séparément les peuples ou certaines régions et qui se subdivisent elles-mêmes en faits ou périodes d'importance diverse, suivant qu'elles exerçaient leur influence sur des régions plus étendues ou qu'elles modifiaient plus ou moins profondément le genre de vie des populations ou les institutions des États.

De même que la raison humaine a divisé l'histoire de l'humanité comme il vient d'être dit, de même les géologues sont amenés à prendre ce mode de division comme base de l'histoire générale du globe terrestre, histoire embrassant des faits bien plus considérables et de plus longue durée que ceux qui ont influencé l'humanité.

Nous devons donc prendre pour base de la géologie générale la chronologie des faits généraux, et ces faits sont les divers degrés de l'évolution de la vie à la surface du globe.

De même que l'histoire universelle des peuples, la chronologie géologique se divisera en grandes périodes caractérisées par une similitude de faits se passant en même temps sur une grande partie de la surface terrestre, faits causés par un état général qui s'impose et prime tous les autres.

Ces grandes périodes de l'histoire n'ont pas un commencement ni une fin nette et précise, elles se fondent insensiblement l'une dans l'autre; les nouvelles conditions générales qui tendent à remplacer celles existantes, devant d'abord combattre et contre-balancer les premières; il s'écoule ainsi entre les deux manifestations distinctes un temps plus ou moins long, formant transition insensible.

C'est ainsi qu'il faut comprendre l'établissement des grandes divisions connues généralement sous les noms de *périodes primaire, secondaire, tertiaire* et *quaternaire*, caractérisées chacune par l'apparition, le développement et la prédominance de certains types organiques.

Passant alors à l'histoire locale, la situation change complètement: les faits se précisent, les transitions se pressent ou s'éteignent et, s'il s'agit de l'histoire d'un peuple, par exemple, on se trouve devant une suite de faits nettement séparés qui, le plus souvent, se réduisent à la chronologie des règnes successifs des rois, des empereurs ou des divers modes de gouvernement qui se sont succédé.

Dans l'histoire locale des régions naturelles du sol, les mêmes subdivisions s'imposent; au lieu de peuples bien définis, nous avons des bassins géologiques, des contrées affectées des mêmes mouvements du sol et qui subissent la loi commune.

De même que, dans l'histoire d'un peuple, les subdivisions commencent avec l'avènement d'un roi ou d'une autorité quelconque, pour finir avec la disparition politique de ce roi ou de cette autorité; de même, en géologie, les subdivisions doivent commencer avec un phénomène établissant un ordre de choses déterminé dans la région, et finir avec le renversement ou la fin de cet ordre de choses.

Or, pour une région déterminée, pour un bassin géologique, quels sont les phénomènes qui satisfont le plus exactement au principe qui vient d'être énoncé? Ce sont évidemment les mouvements locaux du sol, les oscillations locales comprenant un affaissement qui amène les eaux marines dans la contrée, puis un soulèvement qui les éloigne, mouvements qui provoquent ainsi le dépôt des sédiments marins, lesquels, à leur tour, conservent dans leur masse les débris de la vie qui s'était développée à la faveur des conditions particulières.

Pour une région naturelle, pour un bassin géologique, les subdivisions doivent donc être en rapport immédiat avec les phénomènes stratigraphiques qui se sont accomplis successivement, c'est-à-dire qu'elles doivent commencer avec l'établissement de chaque nouvel état de choses, pour finir avec le renversement de l'état de choses qui s'était établi.

De là il suit que si, à la surface d'une région, il s'est produit une succession d'immersions et d'émersions, qui ont permis aux eaux marines de déposer leurs sédiments réguliers, il est nécessaire d'établir les subdivisions de manière à fixer aussi exactement que possible le commencement et la fin de chaque oscillation.

Or, pour nous, les traces certaines auxquelles nous reconnaissons le commencement et la fin d'une période d'oscillation, ce sont les ravinements, les lits continus de galets ou de gravier, que nous avons si bien appris à distinguer; ou, si les oscillations n'ont pas amené des émersions complètes, ce sont les zones graveleuses ou les amas de sables d'émersion suivis immédiatement de ceux d'immersion.

S'agit-il d'une période marine isolée, nous en reconnaissons immédiatement le commencement et la fin aux *gravieres d'immersion* et *d'émersion*, que nous sommes toujours certains de retrouver et de reconnaître à leurs caractères distinctifs; et, dans ce cas, toutes les roches comprises entre les deux graviers appartiendront à la même subdivision.

S'il s'agit de périodes d'oscillations successives, séparées par des

émersions totales ou partielles, les faits pourront aisément être reconnus; suivant que l'émersion aura été complète ou incomplète, les couches de la subdivision la plus récente ravineront celles de la période précédente, ou elles passeront de l'une à l'autre sans dénudation, par l'intermédiaire des sables d'émersion plus ou moins grossiers.

De même, nous reconnaitrons les périodes continentales qui se sont établies entre deux oscillations successives, aux dépôts d'eau douce généralement bien caractérisés par leur irrégularité, s'il est question d'eaux courantes, ou par leur composition homogène et peu variable et la présence de coquilles, si l'on est en présence de dépôts formés dans de vastes étendues d'eau stagnante.

En résumé, le mode de subdivision des couches d'une région déterminée, au moyen des graviers marins continus sur de grandes étendues, d'une part, et des dépôts d'eau douce, de l'autre, correspond exactement aux subdivisions naturelles de l'histoire locale de cette région, conçue dans l'ordre chronologique des faits stratigraphiques qui s'y sont passés, faits qui ont influencé à leur tour le développement de la vie, et qui sont, avec l'évolution, les deux principaux facteurs des changements fauniques.

La méthode de subdivision par les graviers rendra donc toujours, dans les régions peu bouleversées, où les sédiments ont conservé leur facies général et leurs positions relatives, les plus grands services, car elle est la plus naturelle, la plus sûre et la plus expéditive.

C'est cette méthode qui, pressentie et appliquée par Dumont, a permis à cet illustre géologue de créer les subdivisions si naturelles qui subsistent encore toutes aujourd'hui et nous semblent maintenant définitivement établies; c'est elle qui, complétée par M. E. Van den Broeck et par moi et formulée dans le présent travail, nous a toujours guidé dans toutes nos études sur les terrains tertiaires de la Belgique et nous a permis de surmonter bien des difficultés; c'est elle enfin que, dans nos voyages à l'étranger, nous avons trouvée toujours de mieux en mieux établie et confirmée et que nous espérons voir appliquer partout, pour parvenir à l'unité scientifique qu'il serait si désirable d'établir entre tous les géologues.

