

MÉMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE & D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

TOME **IV**

ANNÉE 1890

BRUXELLES

POLLEUNIS ET CEUTERICK, IMPRIMEURS

35, RUE DES URSULINES, 35

MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ BELGE
DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

BRUXELLES

LA GÉO-TECTONIQUE
DE LA HAUTE ITALIE OCCIDENTALE

PAR

le D^r Federico Sacco

Professeur de Paléontologie à l'Université de Turin.

PLANCHE I.

En géologie, aussi bien que dans toutes les autres sciences, il est très utile et très intéressant de faire de temps en temps une halte dans le chemin analytique si long et souvent si aride ; de jeter un regard qui embrasse la voie parcourue ; de chercher à synthétiser les travaux spéciaux accomplis et s'élever ainsi à des idées plus amples et plus générales qui servent d'impulsion nouvelle pour continuer les recherches analytiques, dont souvent même elles modifient plus ou moins profondément la direction.

Ces travaux délicats de synthèse sont d'autant plus utiles et plus importants que les recherches analytiques qui leur servent de base ont été plus nombreuses, plus longues et plus soignées, et que les connaissances scientifiques de celui qui accomplit ces études sont plus complètes et plus profondes. Si cependant ces conditions essentielles à la formation d'un bon travail synthétique font défaut totalement ou même en grande partie, des théories erronées peuvent apparaître — comme en effet cela s'est vu souvent — théories qui portent un préjudice plus ou moins grand et plus ou moins durable aux progrès scientifiques, selon les circonstances dans lesquelles elles ont été émises et selon l'auteur qui les a énoncées.

Récemment, M. Suess dans son ouvrage grandiose *Das Antlitz der*

Erde a cherché à réunir les phénomènes géo-tectoniques de la croûte terrestre en une sorte de loi générale par laquelle les plissements de cette croûte se seraient constitués comme de grandes ondes s'avancant graduellement depuis les époques géologiques les plus anciennes jusqu'aux plus récentes, du pôle Nord vers l'Équateur, donnant lieu aux zones de plissement *huronienne, calédonienne, hercynienne et alpine*, dans l'hémisphère septentrional.

Quoique cette espèce de loi générale sur les plissements de la croûte terrestre ait déjà trouvé des contradicteurs, parce qu'elle présente des exceptions nombreuses et qu'elle laisse sans explication plusieurs phénomènes en contradiction avec quelques autres, et bien qu'elle devra certainement être modifiée, elle a cependant été généralement bien accueillie par les géologues et nous voyons qu'ils en ont même déjà tiré quelques déductions très importantes, comme, par exemple, celles de M. Bertrand *Sur la distribution géographique des roches éruptives en Europe*.

Il me semble maintenant utile que les géologues des diverses nations, selon leurs forces et leurs connaissances, en se basant sur les études analytiques faites dans leur région spéciale d'observation et s'élevant à des conceptions synthétiques sur cette région même, cherchent à comparer les résultats qu'ils pourront obtenir par ce moyen avec la théorie générale dont je viens de parler. C'est seulement de cette manière, me paraît-il, que l'on pourra dégager cette théorie, qui, dans l'ensemble, me paraît bonne, des parties défectueuses et arriver à la modifier de manière à pouvoir la classer parmi les grandes lois générales formant la base de la science géologique.

Pour ma part, ne m'étant occupé jusqu'ici que d'une partie très restreinte de la zone de plissement alpin et apenninique, voire de la haute Italie occidentale, je tâcherai de résumer dans cette note les caractères géo-tectoniques principaux et les phénomènes les plus saillants de plissement que l'on peut y observer.

Comme cependant, à cause du genre de mes études, j'ai eu à m'occuper spécialement des formations tertiaires, je profiterai aussi, en ce qui regarde les terrains constituant la chaîne alpine, des importants travaux accomplis par MM. Sismonda, Lory, Gastaldi, Baretti, Zaccagna, Mattiolo, etc.

La géologie des Alpes étant dans son ensemble assez indépendante de celle des collines, tout en s'y rattachant sous certains rapports, je crois utile de traiter séparément chacun de ces groupes et de rechercher ensuite les résultats généraux qui découlent de cette étude et de leur comparaison.

I^{re} PARTIE.

RÉGIONS ALPINES.

Les régions alpines, en raison des grandes difficultés de parcours qu'elles présentent, à cause des phénomènes tectoniques qui se rencontrent dans leur constitution et par suite de la rareté relative de fossiles — qui, quand il y en a, sont souvent peu utiles au géologue à cause des altérations chimico-mécaniques subies par métamorphisme — ont été l'objet de graves contestations entre les savants, avec des différences d'opinion quelquefois vraiment extraordinaires.

Peu à peu cependant les idées s'éclaircissent, de nouvelles observations mirent à jour des faits importants qui donnèrent l'explication de quelques phénomènes que l'on avait d'abord interprétés fausement ; des comparaisons entre des régions éloignées aidèrent le géologue à s'expliquer des faits auparavant incompréhensibles ; des découvertes paléontologiques servirent à l'élimination de graves erreurs et d'idées préconçues, jusqu'à ce que, enfin, la géologie des Alpes nous apparut graduellement claire et, ce qui est assez curieux, assez simple dans son ensemble.

En effet, par rapport à la constitution géologique de la chaîne alpine, on peut l'indiquer synthétiquement de la manière suivante.

Les formations les plus anciennes qui viennent au jour par les grands plissements alpins sont constituées par de véritables *Gneiss* à gros grain, avec des amygdales quartzieuses très fréquentes, savoir, le gneiss central ou fondamental, qui prend souvent graduellement, et pour des régions plus ou moins vastes, la forme granitoïde, de laquelle résultent des lentilles irrégulières de granit et quelquefois aussi de protogine parmi le gneiss ; plus rarement, au contraire, ce gneiss passe localement au micaschiste ou calschiste et renferme des lentilles de quartzite et de calcaire cristallin. Cette zone présente parfois une puissance de 6 à 7000 mètres ; mais il est hors de doute qu'elle est d'une épaisseur bien supérieure à ce chiffre, peut-être de 20 ou 30.000 mètres ; probablement même, à de grandes profondeurs, d'ailleurs variables, elle passe très graduellement aux formations magmiques intérieures. Je crois que cette zone peut être placée dans le *Laurentien*.

Au-dessus de la zone laurentienne et avec un passage très graduel à cette dernière, s'étend une formation très puissante, qui arrive parfois à plus de 16.000 mètres, constituée essentiellement de *Micaschiste*, quelquefois assez gneissique, passant parfois au calschiste, surtout dans la partie supérieure de la zone ; mais dans ces roches, que l'on

pourrait appeler fondamentales, l'on voit s'insérer des roches très variées (des calcaires cristallins, des quartzites, des calcschistes, des chloritoschistes, des granits, etc.) qui s'entrelacent et alternent d'une manière variable et à plusieurs reprises, parfois sous la forme de simples amygdales, mais plus souvent comme des lentilles puissantes et très étendues. Parmi les roches renfermées dans le micaschiste d'autres ont aussi une grande importance, telles que les serpentines, les amphibolites, les euphotides, les diabases et plusieurs autres de couleur verdâtre, pour lesquelles le nom de zone des *Pietre Verdi* leur fut donné par M. Gastaldi qui, le premier, parvint à en reconnaître l'individualité et l'importance. Cette zone, spécialement micaphillitique, doit être placée, je pense, dans le *Huronien* en se servant de ce nom dans la signification la plus ample et la plus compréhensible, puisque en voulant adopter aussi les autres subdivisions (Taconique, Montalban, etc.) proposées pour les terrains azoïques supérieurs, je crois que l'on ne pourrait point les appliquer aisément à la série alpine.

Il est fort important de noter que, au-dessus de la puissante zone huronienne s'appuient directement, avec un hiatus très accentué (correspondant au Cambrien, au Silurien et au Devonien) les formations paléozoïques supérieures, savoir, le *Carbonifère* et le *Permien* ; ce fait s'explique facilement par de puissantes érosions et par des phénomènes orogéniques survenus entre la fin du Huronien et la moitié du Paléozoïque.

Notons d'ailleurs qu'il n'est pas impossible qu'avec le temps l'on n'arrive à découvrir aussi dans les Alpes occidentales, comme ce fut le cas pour les Alpes orientales, par d'heureuses trouvailles de fossiles, une zone de Paléozoïque inférieur, ou bien aussi que cette zone soit maintenant si métamorphosée dans les Alpes piémontaises que l'on ne puisse plus la distinguer aisément d'avec les formations supérieures du Huronien.

Comme cependant la distinction entre l'Azoïque et le Paléozoïque présente encore bien des contestations, même dans des régions beaucoup plus soigneusement étudiées que les Alpes, il convient de ne pas insister sur ce point.

L'on sait que le *Carbonifère*, assez développé et souvent fossilifère, renferme cependant bien peu de charbon fossile, réduit, pour la plus grande partie, à l'état d'antracite à cause du puissant métamorphisme qu'il a subi. Le *Permien* est très important dans la constitution des Alpes, soit pour sa puissance, soit parce qu'il se présente constitué en partie par des roches cristallines qui, à cause de leur facies, furent pendant longtemps attribuées aux terrains azoïques.

Pour ce qui se rapporte aux terrains mésozoïques dans les régions alpines proprement dites, on y voit spécialement et amplement développé le *Trias*, tandis que les bandes de terrains *jurassiques* et *crétacés* y sont peu étendues; ces derniers terrains se développent par contre largement autour de la chaîne alpine.

Enfin l'*Éocène* a une importance assez grande dans la constitution de la chaîne alpine, surtout le Parisien avec le *facies ligurien*. Si l'on ajoute à tout cet énoncé les puissantes formations *miocéniques* et *pliocéniques* qui se déroulent au pied des Alpes, nous pouvons dire que le plissement alpin piémontais a mis à jour une succession d'étages qui, superposés, atteindraient l'épaisseur d'environ 40.000 mètres.

Après avoir fait cet exposé sommaire de la constitution géologique des Alpes occidentales, examinons maintenant sa tectonique, qui, considérée dans son ensemble, est assez simple. En effet, la chaîne alpine ne nous représente guère autre chose qu'un plissement grandiose de la croûte terrestre, plissement qui, se développant sur une aire étendue dans la direction Est-Ouest à travers l'Europe méridionale, se replia vers le Sud, en séparant ainsi la France de l'Italie.

L'on doit probablement chercher la cause de ce changement de direction du pli alpin dans la présence du grand massif prépaléozoïque du plateau central de la France, lequel, probablement, fait partie d'un autre énorme plissement extérieur et de formation en partie antérieure au plissement alpin.

En examinant plus particulièrement le plissement qui donna naissance aux Alpes, nous voyons qu'il n'est pas simple et unique, mais que, au contraire, il présente plusieurs irrégularités et se trouve constitué par divers plissements. Ces plissements, considérés dans leur ensemble, peuvent être réduits à deux principaux, presque parallèles entre eux; l'un intérieur, grandiose, très développé, et l'autre extérieur, plus petit, plus étroit, mais également puissant.

Le plissement alpin azoïque commence, multiple et surtout bifide, au Sud dans l'empire autrichien entre Vienne et Agram (spécialement entre Marburg et Neustadt), se rétrécit un peu vers l'Est, constituant (limité dans un long parcours au Nord par l'Inn) le noyau des Alpes centrales. Le dédoublement du pli azoïque apparaît assez bien dans le haut Trentin et dans le haut bassin de l'Inn.

Considérons maintenant la zone de plissement intérieur et, pour ne point trop dépasser notre champ d'étude, commençons seulement cet examen à l'ouest de l'Adige, vallée qui, je crois, se trouve — de même que la profonde incision du lac de Garde — dans un synclinal irrégulier et

complexe (probablement compliqué par des cassures et des déplacements) de la formation azoïque. Cette zone intérieure de plissement prépaléozoïque se développe très largement à l'ouest de la vallée de l'Adige, en constituant les massifs montagneux de l'Adamello, du Bernina, du mont Della Disgrazia, du bassin hydrographique du Tessin, de l'Andolla, du mont Rose, du mont Cervin, du Grand Paradis, du mont Viso (depuis la vallée de Suse jusqu'à la vallée de la Stura de Cône) et de l'Apennin génois.

L'on peut dire, en règle générale, que ces massifs montagneux (qui représentent les régions des plissements alpins plus prononcés) sont généralement constitués par une partie centrale gneissique-granitique entourée par une zone micaschisteuse plus ou moins riche en grosses lentilles serpentineuses, amphiboliques, etc., savoir, de ce que l'on appelle communément les *Pietre Verdi*. Cette disposition régulière est parfois altérée parce qu'une partie des formations azoïques a été exportée par l'érosion ou bien elle est masquée par les terrains moins anciens; cependant elle est assez évidente dans le groupe de la Bernine (où les formations sont alignées par groupes complexes du Nord-Est au Sud-Ouest) et dans celui du mont Rose et du mont Cervin, qui ont la même direction; elle se présente plus caractéristique dans le magnifique massif allongé (avec la même direction du Nord-Est au Sud-Ouest) du Grand Paradis. Mais où l'on peut observer bien mieux cette disposition c'est dans la partie occidentale de l'étroit et long pli des Alpes Maritimes (Monts-Viso) qui s'étend dans la vallée de Suse, ou, pour mieux dire, de la vallée du Chisone jusqu'à Cône.

Quant au massif prépaléozoïque de l'Apennin génois, il est à noter qu'il a été considéré jusque dans ces tout derniers temps comme d'âge *permien et triassique*, tandis que probablement il appartient à la zone *huronienne* et correspond assez bien aux lentilles grandioses des *Pietre Verdi* du mont Viso, des vallées de Lanzo, de la vallée moyenne d'Aoste, etc.

Il est d'ailleurs logique de supposer que le très beau plissement du mont Viso, tout en s'abaissant un peu, continue assez régulièrement vers l'Est sous les terrains cénozoïques de la haute vallée du Pô et des Langhe, affleurant encore sur une zone assez étendue avec ses formations supérieures les plus résistantes, entre la vallée de la Bormida et la mer de Ligurie.

Cette allure souterraine — supposée — du plissement paléozoïque semble confirmée par la bande irrégulière d'affleurements (archaïques à mon avis) qui existent au pied des Alpes, depuis Cône jusqu'à Cairo; on en trouve aussi, me semble-t-il, une preuve, assez importante dans

le pli qui souleva les collines Turin-Valence et que je crois justement causé par la compression que les terrains tertiaires, occupant la vallée du Pô, subirent entre deux plissements presque parallèles et peu éloignés des terrains archaïques.

Passons maintenant à l'examen de la zone extérieure du plissement alpin. D'une allure un peu irrégulière dans la région suisse centrale, elle commence à mieux s'individualiser dans la haute vallée du Rhin, spécialement dans le groupe du Saint-Gothard, où elle présente une direction complexe de l'Est-Nord-Est à l'Ouest-Sud-Ouest; elle se développe ensuite d'une manière admirable dans le pli étroit du groupe du Mont Blanc, d'où elle continue vers le Sud-Ouest pour constituer la très belle chaîne des Belle Donne; de ce point, avec des plissements assez irréguliers, la zone prépaléozoïque, se dirigeant au Sud, forme la chaîne des Grandes Rousses et le massif important du Grand Pelvoux.

Au Sud de ce groupe important de montagnes, les formations archaïques s'affaissent sur un certain parcours et reparaissent peu après, constituant le grand massif du Mercantour, avec une direction à peu de chose près du Nord-Ouest au Sud-Est.

Ensuite la zone extérieure du plissement prépaléozoïque des Alpes disparaît complètement et elle doit s'approfondir beaucoup pour que les formations mésozoïques et cénozoïques extérieures puissent se développer aussi largement qu'elles le font.

Telle est l'allure générale, exposée à grands traits, du double pli archaïque des Alpes, laissant de côté un grand nombre d'irrégularités secondaires, déviations, apophyses, failles, etc. Ce pli se continue probablement sous la chaîne apenninique, comme nous l'indiquent les affleurements paléozoïques des Alpes apuanes, des Monts de Pise, etc.

Examinons maintenant rapidement la tectonique des formations qui couvrent les terrains azoïques. Au point de vue tectonique ils peuvent se réunir en deux groupes principaux : l'un constitué par les terrains paléozoïques et mésozoïques, l'autre par les terrains cénozoïques. Les formations du premier groupe, dans lequel le *Trias* a une énorme importance, enveloppent non seulement la grande zone azoïque, mais s'insinuent aussi parmi presque tous les plis secondaires et les dépressions de cette zone, se présentant cependant dans ces derniers cas presque toujours avec des plis répétés et comprimés, profondément érodés et déplacés.

Faisons cependant observer qu'entre les deux plis azoïques principaux de la chaîne alpine, les formations *crétacées* ne pénètrent généralement pas; elles entourent seulement le pli complexe.

En général, le développement des terrains paléozoïques et mésozoïques dans la partie extérieure de l'arc alpin est bien connu, il n'y a donc pas lieu de s'y arrêter; notons au contraire que plusieurs auteurs considèrent comme azoïques certains terrains paléozoïques de l'intérieur de la région alpine et vice-versa; cela a produit et continue à produire une certaine perturbation dans la connaissance de la géologie alpine. La zone étendue des terrains paléozoïques et mésozoïques qui se trouve comprise entre les deux plis prépaléozoïques principaux est assez intéressante; cette zone, localisée dans la haute vallée du Rhône, où elle est représentée par des terrains triasiques, s'élargit assez dans son développement vers le Sud, renfermant toute la série depuis le *Carbonifère* jusqu'au *Jurassique*; elle se rétrécit encore dans la vallée de la Stura de Cône, probablement à cause d'une faille qui doit s'y trouver entre la zone archaïque du Mont Viso et celle de Mercantour; ensuite elle s'élargit amplement, allant se plonger dans la mer Tyrrhénienne.

Quant à la zone intérieure des terrains en question qui se présente si largement développée dans les Préalpes lombardes, entourant magnifiquement les formations azoïques, elle se rétrécit rapidement vers l'Ouest, jusqu'à être réduite à de petites bandes éparses dans le Biellais et le Canavais. Je suis cependant persuadé que les terrains paléozoïques et mésozoïques, plus ou moins développés, occupent le fond de la vallée du Pô et se trouvaient en partie à découvert avant le dépôt des terrains cénozoïques; la preuve en est que ces derniers terrains renferment, dans les collines Turin-Valence, plusieurs cailloux appartenant précisément aux formations mésozoïques qui ne se trouvent maintenant au jour que très loin seulement. C'est un fait important qu'avec la réapparition de la zone archaïque de l'Apennin génois réapparaît aussi une bande de terrains *triasiques*, laquelle, au moyen de bandes éparses le long du littoral, va se relier aux terrains du même âge des Alpes Maritimes. Outre ces zones principales, il existe des lambeaux irréguliers, nombreux et très variés de terrains paléozoïques et mésozoïques au-dessus de la zone archaïque, ce qui serait trop long à examiner maintenant; nous indiquerons seulement comment ces formations paléozoïques et mésozoïques, qui constituent probablement le substratum de l'Apennin, réapparaissent ensuite çà et là le long de cette chaîne, spécialement dans les Alpes Apuanes, dans les monts de Pise, dans le Siénois, etc.

Quant aux terrains *cénozoïques* qui viennent faire partie de la chaîne alpine, ils appartiennent presque uniquement à l'Éocène Pari-

sien, pour la plupart avec le facies *ligurien* (Flysch, Macigno, Calcari alberesi, etc.), parfois avec des zones nummulitifères vers la base. Dans son allure et dans son développement, la formation *éocénique* se modèle assez bien sur les dépôts mésozoïques susnommés et pénètre, sur des aires même très étendues, entre les deux grands plis archaïques, mais seulement au sud de la chaîne du Mont-Blanc : on en voit un très bel exemple dans la longue bande éocénique que nous pouvons appeler bande de Saint-Jean de Maurienne.

L'abaissement du pli archaïque aux deux extrémités du massif du Mercantour nous explique l'énorme développement de la formation éocénique au sud du massif du Grand-Pelvoux et dans la province de Porto-Maurizio ; mais, même en ces régions, les terrains éocéniques se présentent fréquemment repliés à cause des pressions très puissantes subies après leur dépôt, dans la période orogénique de la chaîne alpine.

Le changement de direction que prennent les formations éocéniques dans le Niçois est notable, et a probablement pour cause l'affleurement archaïque que l'on observe le long de la côte à l'ouest de Cannes.

Passant maintenant à la côte *éocénique* qui entoure intérieurement la chaîne alpine, nous avons seulement à indiquer que ce terrain est actuellement masqué pour la plus grande partie. On en voit pourtant de petites apparitions dans les Préalpes lombardes jusqu'au lac Majeur, et il ne serait pas improbable que l'on doive lui attribuer quelques formations du Canavais ; mais il manque complètement plus au Sud, jusqu'à ce qu'il réapparaisse, avec la zone mésozoïque, dans l'Apennin génois, où il se développe d'une manière extraordinaire. La superposition de l'Éocène au Trias sous la mer Tyrrhénienne s'étend probablement entre Gênes et Albenga.

La formation éocénique s'étend certainement sous presque toute la vallée du Pô, ainsi que le prouvent soit les nombreux affleurements caractéristiques que l'on voit apparaître dans les plissements des collines Turin-Valence, soit l'abondance extraordinaire de cailloux éocéniques qui se trouvent dans les formations oligocéniques et miocéniques qui se déposèrent alors que plusieurs collines éocéniques, maintenant érodées ou ensevelies, se trouvaient encore émergées dans le Piémont.

L'Éocène de l'Apennin plaisantin et génois est en grande partie fréquemment replié à cause des puissantes pressions subies pendant son émergence ; c'est ce qui explique en partie son énorme développement. L'on doit considérer d'ailleurs que probablement des études ultérieures conduiront à placer dans le *Crétacé* des régions très étendues de cette partie de l'Apennin qui sont maintenant renfermées dans l'Éocène.

Mais de toute manière le très grand développement que prennent les formations éocéniques dans l'Apennin genoïs-piémontais dans la province de Porto-Maurizio et ensuite aussi à plus forte raison, au-dessous du vaste golfe de Gênes, nous font supposer que le large pli complexe archaïque qui constitue la chaîne alpine s'affaisse puissamment dans la Ligurie occidentale, après s'être fortement replié sur lui-même dans les Alpes Maritimes.

Dans la seconde partie de ce travail, qui se rapporte spécialement au bassin tertiaire du Piémont, je traiterai amplement la géo-tectonique des terrains *miocéniques* et *pliocéniques*. Cependant pour rendre complet l'examen général des formations géologiques qui apparaissent dans les régions alpines, considérées dans leur plus large signification, nous pouvons nous limiter à ce sujet aux données suivantes.

Les terrains *miocéniques*, représentés spécialement par des dépôts tongriens, aquitaniens et helvétiques, constituent dans la partie extérieure de la chaîne alpine, une bande très ample, parfois assez plissée, dont les parties intérieures s'avancent, notablement même, vers les régions alpines, comme par exemple dans les environs de Bonneville, d'Annecy, de Chambéry, de Grenoble, de Barrême, de Nice, de Finale, etc., allant se réunir avec la magnifique région miocénique intérieure ou piémontaise, par le moyen des bandes irrégulières de Cadibona, de Sassello, de Varazze, de Chiavari, de Savignone, etc.

Quant aux terrains *pliocéniques* dans la partie continentale des régions alpines, ils se trouvent assez éloignés des zones de plissement alpin, tandis que dans les régions marines ou littorales, soit dans celles actuelles, soit dans celles peu anciennes (vallée du Pô), ils se rencontrent disposés irrégulièrement au-dessus des formations anciennes, même sur les formations archaïques. Notons cependant qu'il existe aussi dans les régions alpines des formations *pliocéniques* d'origine fluviale qui sont encore peu connues. Dans tous les cas les terrains *pliocéniques* sont peu déplacés de l'horizontalité.

II^e PARTIE.

BASSIN TERTIAIRE DU PIÉMONT.

Alors que, après avoir fait une étude détaillée des puissantes et typiques formations tertiaires du Piémont, l'on vient à les considérer dans leur ensemble, il en résulte aussitôt ce fait que, par leurs facies, par leurs caractères paléontologiques et lithologiques, par leur tecto-

nique, etc., elles peuvent se partager assez nettement en deux larges zones ou groupes différents ; savoir, une zone *méridionale* s'étendant le long du pied septentrional des Alpes maritimes et de l'Apennin septentrional, et une zone *septentrionale* faisant face aux Alpes centrales; la première zone constitue les collines de Mondovi, les Langhe, le haut Montferrat et une partie des collines plus septentrionales de Tortone ; la seconde zone constitue les collines Turin-Valence.

Or, tandis que les différences lithologiques et paléontologiques entre ces deux grandes zones sont assez claires dans la description détaillée que j'ai eu occasion de faire sur les régions tertiaires piémontaises (1); les caractères tectoniques, par contre, quoique indiqués également dans cette étude pour chaque horizon géologique, se laissent cependant saisir difficilement dans leur ensemble de manière à permettre de concevoir la structure complexe du bassin tertiaire du Piémont et de remonter ensuite aux phénomènes orogéniques qui les amenèrent graduellement à leur forme actuelle. Cet examen tectonique complexe constitue justement l'objet de la seconde partie de cette note.

A l'égard de la constitution géologique du bassin tertiaire du Piémont on peut bien dire qu'elle est tout à fait typique et régulière; en effet, en commençant par le Parisien (à *facies ligurien*) on peut remonter très graduellement à travers le Bartonien, le Sestien, le Tongrien, le Stampien, l'Aquitaniens, le Langhien, l'Helvétien, le Tortorien, le Messinien, le Plaisancien, l'Astien, le Fossanien et le Villafranchien jusqu'au Quaternaire. Occupons-nous à présent de la tectonique de cette région tertiaire typique.

L'allure stratigraphique de la partie méridionale du bassin tertiaire piémontais est assez simple dans son ensemble, puisque tous les horizons se superposent régulièrement les uns aux autres avec une inclinaison de 10° à 20° environ, de manière que, en traversant les séries tertiaires du Sud au Nord nous pouvons assister, dirai-je, au retrait et au rétrécissement, lent et très graduel, du golfe marin de la vallée du Pô.

La série très puissante des étages qui constituent la formation tertiaire depuis l'Eocène inférieur jusqu'au Quaternaire, et qui, s'ils étaient superposés les uns aux autres, constitueraient un massif de plus de 10.000 mètres d'épaisseur, se présente, par contre, étendue de telle manière que les collines, formées par cette série stratigraphique, sont généralement inférieures de beaucoup à 800 mètres d'élévation.

(1) F. SACCO. — *Il bacino terziario del Piemonte*. — Atti Soc. Ital. di Sc. Nat. — 1889, 90.

L'inclinaison des couches ne diminue cependant pas très régulièrement depuis les terrains les plus anciens jusqu'aux plus récents, mais elle présente souvent des altérations assez notables. Les terrains *parisiens* (*liguriens*), étant les plus anciens, subissent naturellement les altérations les plus profondes, lesquelles se manifestent non seulement par de fortes inclinaisons des étages, mais encore par des plissements répétés et d'amplitudes variées (tant en grande qu'en petite proportion). Dans l'ensemble cependant, ces formations éocéniques, là où elles viennent en contact avec les couches oligocéniques, comme dans l'angle sud-est du bassin tertiaire que nous examinons ici, coïncident assez régulièrement avec elles, inclinant plus ou moins fortement vers l'intérieur du bassin.

L'absence presque générale de l'*Éocène* soit ligurien soit bartonien sur le côté méridional du bassin tertiaire est une chose à noter puisque cela nous démontre l'existence de phénomènes orogéniques grandioses à la fin de l'*Eocène*, spécialement dans les Alpes Maritimes, où les terrains liguriens se trouvent soulevés, en quelques points, jusqu'à environ 3000 mètres ; mais nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

Les formations *tongriennes*, quoique constituant la base des terrains oligocéniques, ne se présentent cependant pas, généralement, avec de fortes inclinaisons. En effet, si sur quelques points, surtout contre les roches prétertiaires, les bancs tongriens inclinent très fortement (phénomène qui, dans certains cas, doit peut-être s'attribuer en partie aussi au mode originaire de sédimentation), dans l'ensemble cependant elles pendent seulement de 10° à 15° vers l'intérieur du bassin ; pour des régions très étendues, spécialement dans la vallée de la Stura d'Ovada et de la Bormida, les dépôts tongriens sont même en grande partie à peine ondulés et par conséquent avec une inclinaison presque toujours dirigée vers le Nord, mais quelquefois aussi vers le Sud. On en voit des exemples spécialement dans le plateau apenninique de Cadibona, de S. Giustina, de Sassello, de Toletto, de Bandita, de Tiglieto, etc., où les terrains tongriens furent certainement soulevés puisque les roches prétertiaires qui sont dessous furent exhausées ; mais leur position originaire de dépôt horizontal ou ondulé s'adaptant très bien aux irrégularités du fond rocheux sur lequel ces sédiments se sont formés, n'en fut presque point altérée.

Ce fait est d'ailleurs assez naturel et l'on comprend aisément comment, par suite des puissantes compressions latérales qui donnèrent naissance aux reliefs actuels, tandis que les formations tertiaires étaient obligées de se plisser, les terrains plus anciens, rocheux, résistants — tels que celui constituant la charpente de la région apenninique

entre la vallée de la Bormida et la vallée de la Scrivia — furent par suite de ces actions orogéniques spécialement poussés vers le haut, entraînant avec eux, naturellement, dans la position presque primitive, les lambeaux tongriens qui les couvraient en différentes places.

Parmi ces hautes régions apenniniques recouvertes partiellement par des dépôts marins lagunaires tongriens, les plus spécialement intéressantes sont les environs d'Altare et de S. Giustina, car ce sont celles qui nous prouvent que, pendant la période tongrienne, le vaste golfe de la haute vallée de la Bormida se liait au golfe de Savone, au moyen d'une communication assez large, c'est-à-dire limitée par les reliefs rocheux qui constituent maintenant le Mont Alto à l'Ouest et le Mont Ermetta à l'Est. En effet, les preuves de l'existence de cet isthme adriatique tyrrhénien transformé ensuite en simple golfe tyrrhénien savonais se trouvent, non seulement dans les lambeaux tongriens de Cogoleto, de Celle et de Cadibona, mais aussi dans le large lambeau helvétique de Finale qui, à mon avis, ne marque autre chose qu'un simple retour (pendant la période helvétique) de la mer dans presque le même golfe occupé déjà dans l'époque tongrienne.

Ce dernier fait, qui n'est cependant pas étrange — puisque l'on peut observer dans diverses autres régions des lambeaux helvétiques posés transgressivement sur des terrains éocéniques ou oligocéniques — nous indique que, dans la période helvétique, les régions marines s'étendaient très notablement, constituant de larges golfes de mer basse, surtout dans les régions où des golfes tongriens avaient déjà existé. Cela nous prouve encore que, même dans des périodes géologiques assez éloignées, on peut constater généralement la persistance, à peu de chose près, des mêmes lignes de dépression et des mêmes lignes de soulèvement qui vont s'accroissant sous l'effort puissant des agents orogéniques. Cette règle générale peut probablement s'étendre aussi en dehors de la région que nous examinons.

L'horizon *stampien* suit assez régulièrement l'allure stratigraphique du Tongrien, se développant aussi, quoique en un moindre degré, sur les régions rocheuses apenniniques où on le rencontre souvent à peine ondulé.

Les formations oligocéniques et miocéniques qui viennent ensuite (Aquitainien, Langhien, Helvétique, Tortonien et Messinien) reposent, en général, régulièrement les unes au-dessus des autres, avec une inclinaison presque toujours dirigée vers le centre du bassin. Cette inclinaison va généralement diminuant d'intensité depuis les terrains les plus anciens, où souvent elle est de 20°, 30°, jusqu'aux plus récents, qui souvent pendent seulement de 2°, 3°. L'on observe cependant par-

fois que les bancs de certains horizons géologiques, spécialement du Langhien, présentent, pour des régions très étendues, un degré d'inclinaison un peu plus fort que celui des étages des horizons plus anciens.

Il est bien intéressant d'observer de quelle manière les formations miocéniques s'avancent très notablement vers le Nord-Ouest, occupant une aire très vaste, les Langhe, où les étages ont une inclinaison assez faible, soit environ 8° en moyenne.

Ce fait qui, dans le fond, est de nature simplement tectonique, peut s'expliquer, selon moi, en supposant que la grande formation rocheuse prépaléozoïque qui constitue l'Apennin génois entre la vallée de la Bormida et la vallée du Lemno se développe notablement vers l'Ouest à peu de profondeur sous les terrains tertiaires; cette hypothèse est confirmée encore par le fait que les crêtes de cette zone rocheuse ensvelie, pointent encore çà et là, sous les formations oligocéniques, comme près d'Acqui, de Spigno, de Caïro, de Bagnasco, de Vicoforte, etc.

Si cette zone rocheuse continue à se développer sous le Tertiaire vers l'Ouest, comme je crois pouvoir le dire d'après ce que l'on a vu plus haut, elle va se relier régulièrement aux formations analogues des Alpes Maritimes, et peut, par conséquent, être considérée comme l'affleurement plus oriental de cette magnifique zone prépaléozoïque qui s'enfouit sous la haute vallée du Pô, et que M. Zaccagna a fort bien démontré récemment exister dans les Alpes Maritimes.

Si cette hypothèse est exacte, la grande masse ophiolithique, amphibolique, quartzitique, etc., de la région susdite de l'Apennin génois correspond aux zones analogues, très développées aussi, du Mont Viso, des vallées de Lanzo, de la moitié de la vallée d'Aoste, etc., c'est-à-dire qu'elle rentre dans la zone prépaléozoïque des *Pietre Verdi* de M. Gastaldi, et appartient; par conséquent, au *Huronien* ou au *Montalban*, plutôt qu'au *Trias*, comme plusieurs géologues veulent l'admettre (Voir pour cela la 1^{re} partie de ce travail).

Naturellement, même en acceptant cette hypothèse, l'on ne contredit aucunement l'existence de formations ophiolitiques plus récentes que celles prépaléozoïques; je vois même que peu de régions se présentent aussi favorables que l'Apennin génois-piémontais, pour l'étude des serpentines éocéniques.

Passons maintenant à la partie septentrionale du bassin tertiaire piémontais. Si nous voulons en comprendre la constitution stratigraphique, nous devons en examiner d'abord le côté oriental, savoir, les collines tortonaises qui nous offrent précisément le point de suture de la partie septentrionale avec la partie méridionale du susdit bassin.

De fait l'on a dit que la formation éocénique (ligurienne) qui supporte pendant un long parcours, depuis la vallée de Lemno à celle de Borbera, les terrains oligocéniques, se raccorde assez bien avec eux comme allure stratigraphique, en constituant un vaste demi cercle ayant sa concavité et s'inclinant vers le centre du bassin piémontais; toutefois elle en diffère généralement pour le degré d'inclinaison, puisqu'il y a presque toujours un hiatus entre les deux séries tertiaires.

Or, tandis que la formation ligurienne continue à se développer assez régulièrement vers l'Est, on observe au contraire au Nord, dans les collines de Tortone et de Voghère, un phénomène assez notable, qui se résume ainsi :

La zone ligurienne, au lieu de s'abaisser peu à peu et de disparaître sous les dépôts oligocéniques et miocéniques, comme cela a lieu vers l'Ouest, après être cachée par les terrains oligocènes, réapparaît sous la forme d'un pli anticlinal irrégulier dirigé plus ou moins de l'Est à l'Ouest, c'est-à-dire entre Brignano Curone, Cerreto Grue et Spinetto.

Ce pli est très important puisqu'il limite soudainement le très régulier bassin tertiaire piémontais, en constituant une véritable ligne de division très nette entre deux facies fort différents des terrains tertiaires du Piémont. En outre, ce plissement, qui s'effectue ainsi tout à coup avec une direction Est-Ouest, nous explique assez bien l'origine des collines Turin-Valence qui, en effet, ne sont autre chose que la continuation, à l'Ouest, du plissement des collines tertiaires septentrionales.

La formation ligurienne du Tortonais, après avoir constitué le pli très important dont je viens de parler, s'enfonce pour la seconde fois vers le Nord sous les zones oligocéniques de Momperone, Montemanzino, Montegioco, etc., mais elle réapparaît encore sous la forme d'un pli presque parallèle au premier dans la zone Pozzol-Gropo, Monleale, etc., pli qui vient enfin — recouvert par les terrains oligocéniques, miocéniques et pliocéniques — constituer les bords septentrionaux des collines de Tortone. Faisons cependant remarquer de suite que, dans les collines plus à l'Est au delà du prolongement des deux plis éocéniques que nous venons de considérer, l'on voit apparaître encore d'autres plis; c'est même par ces plis situés plus au Nord qu'est occasionné le grand développement septentrional que présentent les collines Voghère-Plaisance.

Par contre, dans la partie occidentale des collines tortonaises, les deux plis principaux éocéniques susnommés viennent se confondre de telle manière que les terrains tongriens mêmes, au lieu de se disposer entre eux comme un synclinal régulier, ne se présentent plus qu'en lambeaux irréguliers et inclinés variablement au-dessus de la formation

ligurienne complexe qui va s'enfoncer vers le Nord-Ouest sous les terrains quaternaires, près de Tortone.

Il est cependant très probable que cette immersion n'est pas très profonde et que la zone éocénique, plus ou moins revêtue de dépôts oligocéniques, miocéniques et spécialement pliocéniques, constitue, sous les terrains quaternaires de la plaine de Tortone-Piovera-Castelceriolo-S. Giuliano, un pli ou un ensemble de plis assez accentués, quoique n'ayant pu se faire jour à travers la série des terrains superposés.

Dans les collines de Valence-Alexandrie nous voyons à peu près se répéter ce que nous avons observé dans les collines de Tortone : savoir, la formation ligurienne qui apparaît de nouveau, couverte irrégulièrement par des dépôts oligocéniques et miocéniques, mais qui semble cependant être représentée d'abord par un pli dirigé à peu près du Nord au Sud et couvert, vers le Sud, par un dépôt tongrien puissant.

Plus vers l'Ouest, pendant un parcours étendu, les plis répétés liguriens qui donnèrent naissance aux collines Valence-Casal, ne sont pas assez accentués pour se faire jour à la surface ; nous pouvons cependant supposer, d'après l'allure des formations tertiaires miocéniques et pliocéniques, que le pli éocénique principal a une direction vers l'Est-Ouest environ.

Mais dans les collines de Casal, à commencer du pays de Lu, les plis liguriens s'accroissent non seulement de façon à venir au jour, mais encore ils se multiplient de telle manière qu'ils viennent constituer plusieurs synclinaux et anticlinaux. La cause de ce phénomène doit probablement se trouver dans le rétrécissement, du Nord au Sud, du bassin rocheux prétertiaire, entre Acqui et Romagnano Sesia environ, de sorte que les formations liguriennes, comprimées latéralement de plus près, furent obligées de se replier plusieurs fois et avec plus d'énergie, phénomène que nous verrons d'ailleurs se continuer naturellement plus vers l'Ouest, où persistent les mêmes causes.

Les plis liguriens que l'on observe dans les collines de Casal et de Turin sont parfaitement comparables à ceux des collines tortonaises, puisqu'à mon avis les collines Turin-Valence ne sont autre chose que le prolongement occidental de la partie Nord de l'Apennin septentrional.

Si nous passons à l'analyse des plis liguriens des collines de Casal et de Turin, nous voyons qu'ils peuvent se grouper en trois plis principaux, qui sont souvent reliés ensemble par des digitations secondaires. Ce sont :

1. *Un pli méridional*, comparable à celui de Brignano-Spinetto des

collines tortonaises, quoique beaucoup plus restreint; il commence probablement déjà à se dessiner sous la plaine d'Alexandrie et de Quargnento, mais on ne peut le constater directement que dans l'affleurement ellipsoïdal de Cuccaro, dans la vallée de Grana. Vers l'Ouest, pendant plusieurs kilomètres, manque de nouveau absolument tout affleurement de cette zone ligurienne, mais nous pouvons en suivre également l'allure à cause du soulèvement curieux qu'elle produit dans les terrains messiniens d'Altavilla-Moncalvo; à Ouest de Penango cet anticlinal souterrain devient même si accentué qu'il amène au jour les formations tongriennes; par là prend naissance la chaîne de collines Penango-Villadeati, à bancs pour la plupart tongriens, fortement soulevés et même parfois quelque peu renversés.

Enfin, dans la partie occidentale de ce grand anticlinal tongrien apparaît une zone ligurienne ellipsoïdale, qui cependant peu après s'enfonce de nouveau sous les formations oligo-miocéniques; mais par la direction qu'elle présente vers le Nord-Ouest, on peut admettre que ce pli va se relier, sous le miocène de Robella, au pli central des collines de Turin, que nous allons examiner bientôt.

Cependant cette réunion ne doit pas être complète ni définitive, puisque dans les environs de Borgata Vignali nous voyons se détacher de la zone ligurienne principale des collines, une sorte d'apophyse qui se dirige vers l'Ouest. Ce petit pli éocénique méridional est d'abord peu indiqué, de sorte qu'il se présente masqué complètement par les autres formations tertiaires qui y constituent même une espèce de golfe profond vers le Nord-Ouest; mais il s'accroît ensuite très notablement vers l'Ouest faisant affleurer la formation ligurienne de Coccinato-Albugnano, englobant tous les horizons tertiaires superposés.

Ce pli méridional semble peu à peu disparaître vers l'Ouest, puisque nous n'en trouvons plus de trace même dans la tectonique des formations tertiaires plus récentes; ou bien il se replie graduellement au Sud pour aller s'enfouir profondément sous la plaine de Poirino.

Avant de passer aux plissements septentrionaux, nous devons indiquer que la réapparition des formations messiniennes au Sud-Ouest du pays de Grana, entre Castagnole Monferrato et Val Versa, près de Calliano, nous fait supposer qu'il existe encore là un autre pli ligurien, qui serait le plus méridional parmi ceux qui constituent les collines Turin-Casal; l'on doit même noter encore à ce propos que dans les collines, entre la plaine du Pô (Vercellais) et l'importante vallée du Tanaro dans l'Astesan, l'on peut constater cinq plis presque parallèles dirigés du Sud-Est au Nord-Ouest environ; ce fait nous donne à croire que ces plis existent aussi au Sud et au Nord dans

les formations liguriennes ; seulement, moins accentués, et aussi par suite de leur profondeur, ils n'influencent pas visiblement les formations tertiaires superficielles.

2. *Un plissement septentrional* des collines Casal-Turin ; il est le plus ample mais aussi le moins visible, excepté près de Casal parce que, précisément à cause de sa position septentrionale, il a été en grande partie ou érodé par les courants d'eau, ou seulement masqué par les dépôts quaternaires de la vallée du Pô.

Il ne s'agit pas ici, d'ailleurs, d'un véritable anticlinal accentué, comme ceux qui constituent l'axe des collines de Valence, mais plutôt d'ondulations plus ou moins fortes de la formation ligurienne, ondulations qui, pourtant, doivent toujours leur origine à des pressions latérales.

Sous les dépôts quaternaires, et en partie pliocéniques, de la plaine de Giarole-Borgo à S. Martino-Casale doit déjà exister une vaste zone ligurienne, comme nous l'indiquent les formations helvétiques de Pomaro inclinées vers le Nord-Est ; mais c'est seulement dans les collines de Casal que cette zone peut arriver au jour, constituant même une aire très vaste, l'aire éocénique la plus étendue de ces régions. Vers l'Ouest ce pli ligurien, ample et complexe, disparaît sous les dépôts helvétiques et quaternaires. Malgré cela nous pouvons en suivre encore très bien l'allure sous la plaine de Trino, Palazzolo, Fontanetto, etc. En effet, l'affleurement d'Helvétien supérieur qui constitue la base du plateau de Montariolo, nous indique approximativement la limite septentrionale éocénique que nous examinons ici, et les affleurements liguriens des collines de Brusaschetto et de la rive gauche du Pô, entre S. Silvestro et Palazzolo, nous en montrent très bien les limites méridionales.

Cependant ce vaste anticlinal ligurien subit probablement, sous la plaine de Crescentino, une forte déviation au Sud et ce doit être probablement à cause des phénomènes tectoniques qui ont lieu dans cette localité et que nous pouvons à peine entrevoir, qu'apparaît le lambeau *plaisantien* constituant la colline du château de Verrua.

Ce lambeau pliocénique à facies arénacé calcaire, n'est probablement autre chose que l'extrémité méridionale d'un golfe pliocénique qui s'avancait au-dessus des formations miocéniques directement jusque sur le Ligurien, comme on le voit très bien dans les collines tortoises. D'ailleurs ce phénomène est en rapport avec le fait que, déjà dans les collines voisines de Brurasco, toutes les formations oligocéniques et miocéniques vont s'amincissant et disparaissant de l'Ouest à l'Est contre le pli ligurien, de sorte que la transgression stratigraphique

devenant toujours plus grande entre ces terrains, il s'ensuit naturellement que le Plaisancien doit enfin aller reposer directement sur le Ligurien, ainsi qu'on le voit au château de Verrua.

La déviation méridionale signalée plus haut par cette zone éocénique dans la région du confluent de la Dora Baltea avec le Pô, doit probablement être attribuée à la lente déviation que dans le même sens présentent les zones voisines prépaléozoïques alpines (en partie aussi subpadanes) de manière que les terrains tertiaires sont naturellement repoussés vers le centre du bassin piémontais.

Ce qui est certain c'est que la zone ligurienne que nous étudions ici, au lieu de continuer son développement vers l'Ouest, tourne au Sud et vient constituer la colline de Verrua Savoie et de Marcoengo, se reliant ainsi au grand plissement ligurien central des collines de Turin.

Avant de quitter cette zone éocénique septentrionale nous devons cependant indiquer que l'on doit probablement considérer comme une ramification le pli, petit, mais régulier, qui, avec une direction d'environ Est-Ouest, constitue l'anticlinal de Fabiano-Mombello. Cette zone, qui affleure directement près du cimetière de Fabiano, quoiqu'elle s'abaisse notablement vers l'Ouest, doit probablement continuer encore à se développer, plus ou moins régulièrement, dans cette direction, puisque l'on doit peut-être en partie à cette même zone les altérations stratigraphiques de Rosingo. Enfin, la zone ligurienne septentrionale va se relier avec la zone centrale dans les collines au nord d'Oddalengo grande, après s'être cependant notablement abaissée de manière que le golfe miocénique de Varengo pût se constituer.

3° Le troisième anticlinal des collines Turin-Valence est formé par le *pli central ou axial* de ces collines; il est par conséquent le plus important, soit parce qu'il est en général plus développé et plus constant que les autres, soit parce qu'il est la principale cause de l'orographie de cette région de collines; nous verrons en effet que la tectonique des terrains tertiaires supérieurs est assez régulièrement modelée sur l'allure du pli ligurien central que nous allons maintenant passer en revue.

C'est déjà sous les collines de S. Salvatore qu'apparaît le pli ligurien en question, puisque ces terrains miocéniques commencent à s'y disposer en anticlinal dirigé de l'Est à l'Ouest; plus vers l'Ouest ce pli s'accroît de telle sorte que les formations oligocéniques sont aussi amenées au jour. Enfin, dans les collines de Lu, le terrain ligurien vient affleurer en divers points, d'une manière cependant un peu irrégulière; ce qui fait que l'on pourrait supposer qu'il ne s'agit pas sur ce point d'un simple pli, mais d'un plissement quelque peu complexe.

Ce fait se trouve vérifié spécialement entre la vallée de Grana et celle de Rotaldo, où l'on observe deux alignements éocéniques principaux, presque parallèles; savoir, l'un plus méridional (Molino di Campagna — G. Il Pizzico), et l'autre plus septentrional (Bricco Rosa — S. Rocco) qui présente vers le Nord des espèces d'apophyses qui le relie peut-être, à de grandes profondeurs, aux plis plus septentrionaux des collines de Casal.

A gauche du Val Rotaldo l'anticlinal ligurien continue dans son développement régulier vers le Nord Ouest, quoiqu'il soit en grande partie masqué par les terrains oligocéniques, lesquels cependant marquent assez bien, avec leur tectonique, l'allure souterraine du pli éocénique. Sous ce rapport non seulement les affleurements liguriens (avec des lentilles ophiolitiques, sont fort intéressants, mais souvent encore les affleurements *bartoniens* qui apparaissent çà et là sous la forme, en général, d'étroites zones élipsoïdales, dirigées du Sud-Est au Nord-Ouest; comme par exemple près de Ottiglio, près de Salabue, près de Ponzano, près de Piancerreto et près de Montalero dans la Vallée de Stura. Ici l'anticlinal que nous examinons perd, pour quelque temps, sa régularité ordinaire, s'abaissant vers l'Est; il semble même qu'il aille se relier avec les plis voisins de Mombello au Nord et de Villa-deati au Sud.

Mais, un peu à l'Ouest, le pli éocénique en question s'accroît de nouveau dans les collines de S. Antonio, où il apparaît d'abord en un pli double; c'est-à-dire avec un pli méridional très étroit qui laisse apparaître les terrains liguriens et bartoniens, et un pli septentrional plus ample qui fait affleurer seulement les marnes bartoniennes.

Vers Brozolo le grand pli éocénique vient largement au jour, se reliant sur ce point, comme nous l'avons déjà dit, au Nord et au Sud à la série voisine d'anticlinaux liguriens parallèles.

Cet anticlinal éocénique, après avoir été pour quelque temps individualisé et avec une direction de l'Est à l'Ouest, se dédouble de nouveau près de Piazzo; le pli plus petit, secondaire, se dirige au Sud-Ouest et ensuite directement à l'Ouest, ainsi que le démontre la tectonique des formations oligocéniques et miocéniques qui constituent justement un très bel anticlinal depuis Bersano jusqu'à Rivalba.

Par contre, l'anticlinal éocénique principal se développe vers le Nord-Ouest, ainsi que le prouvent les mêmes affleurements éocéniques aussi bien que la tectonique des terrains tertiaires plus récents, superposés à l'Éocène.

Pendant vers Chivasso, à cause probablement du rapprochement de la région rocheuse prétertiaire, tant visible (Alpes) que souterraine,

(sous la vallée du Pô) le pli en question, faisant un angle d'environ 120°, tourne rapidement au Sud-Ouest et constitue ainsi le relief des collines de Chivasso. Enfin, toujours avec la même direction du Nord-Est au Sud-Ouest, ce pli éocénique, après s'être abaissé quelque peu sous S. Raphael, s'accroissant assez fortement, constitue la magnifique zone ellipsoïdale des collines de Turin, s'enfonçant ensuite graduellement vers le Sud-Ouest.

Probablement ce pli éocénique va disparaissant un peu au Sud-Ouest de Moncalieri, puisque nous voyons s'abaisser, en ce point, l'anticlinal miocénique jusqu'à ce qu'il vienne à disparaître sous les terrains quaternaires de la vallée du Pô.

Avant de quitter le terrain éocénique, représenté spécialement par le Ligurien, il est nécessaire de rechercher quelle peut être en Piémont son aire véritable de développement, outre celle des régions où ses affleurements sont visibles. Il est hors de doute qu'au Nord des collines Turin-Valence-Tortone, etc., la formation ligurienne se développe très largement sous les terrains tertiaires plus récents et sous le Quaternaire ; sa limite septentrionale pourrait même s'indiquer grossièrement par une ligne qui relierait Turin (là où nous avons vu disparaître le pli éocénique) avec les Préalpes lombardes, là où ces terrains apparaissent de nouveau à la surface.

La vaste aire qui en résulte, dont le bord septentrional entoure probablement d'une manière très serrée le pied des Alpes, doit être constituée en grande partie par des terrains éocéniques plus ou moins puissants, recouverts par un voile miocénique, pliocénique et quaternaire plus ou moins considérable.

Naturellement ces formations liguriennes doivent être repliées plusieurs fois, pour la plupart parallèlement à la chaîne voisine des Alpes ; il est même probable que dans la période oligocène cette large région, alors éocénique et maintenant quaternaire, se présenta, non sous forme de plaine comme aujourd'hui, mais ondulée et assez accidentée ; cela nous expliquerait parfaitement la grande quantité de cailloux calcaires et arénacés liguriens qui s'observent dans les formations oligocéniques (Tongrien et Aquitanien) des collines de Turin-Valence.

Par rapport à l'argument en question, puisque, d'après l'opinion du Prof. Issel, une partie de la zone ophiolitique de Rivara Canavese appartiendrait au Tertiaire je dois cependant faire observer — quoique je n'aie pas fait d'études à ce propos — que cette idée serait assez d'accord avec mes hypothèses sur le développement de la formation éocénique en Piémont ; savoir, au pied des Alpes, entre la vallée de la Stura de Lanzo et la vallée de la Dora Baltea apparaîtrait la zone de

superposition des terrains tertiaires sur les prétertiaires, comme précisément cela a lieu entre Voltaggio e Sestri Ponente, près de Gênes ; cependant cette idée est encore à l'état d'hypothèse.

Le développement souterrain de la zone éocénique au Sud des collines Turin-Valence doit être moins vaste mais cependant notable. Ce terrain doit s'avancer généralement jusque contre les formations prépaléozoïques ; nous pouvons donc supposer que la formation ligurienne se développe à une profondeur plus ou moins grande, dans une grande partie de la haute vallée du Pô, sous l'Astesan et sous la plaine d'Alexandrie ; elle réapparaît près de Voltaggio. Probablement c'est précisément dans cette zone de passage entre les formations prépaléozoïques de l'Apennin génois et celles mésozoïques et liguriennes, ou bien dans la véritable zone archaïque, que prennent naissance, sous Acqui, à une assez notable profondeur, les fameuses sources thermales d'Acqui, lesquelles, je crois, peuvent être comparées à celles de Vinadio et de Valdieri ; dans ce cas les terrains tertiaires formeraient ainsi simplement un voile plus ou moins puissant mais de peu d'importance pour les sources thermales susnommées.

Il est probable que dans la vaste aire de Turin-Cavallermaggiore-Voltaggio-Alexandrie la formation ligurienne, que je suppose y exister, se présente aussi un peu plissée et que, par conséquent, au commencement de l'époque oligocénique cette large étendue aura été représentée en partie par des collines liguriennes ; et peut-être devons-nous reconnaître aussi en partie les vestiges de quelques-unes de ces collines dans les éléments caillouteux (avec prévalence ligurienne) qui se rencontrent abondamment dans les terrains oligocéniques des collines Turin-Valence. Il est même tout à fait naturel que, comme les grandes aires prépaléozoïques alpines présentaient vers le Piémont une espèce de bord éocénique (avec des rapports fort semblables dans l'ensemble à ce qui se voit maintenant entre Gênes et Voltaggio), les formations oligocéniques caillouteuses qui se déposaient dans le centre du Piémont (par l'action de transport exercée par les grands courants d'eau descendant des régions alpines environnantes), soient constituées en grande partie par des éléments tirés de ces formations liguriennes sans que l'on doive recourir, pour expliquer ce fait, aux formations éocéniques de la Ligurie orientale comme certains géologues l'ont supposé.

J'ai déjà dit plus haut que, de Voltaggio vers l'Est, la tectonique du *Ligurien* est assez simple, dans son ensemble ; presque toujours ses bancs inclinent vers le centre du bassin piémontais, présentant cependant plusieurs plissements et dérangements stratigraphiques dans la partie centrale de la région apenninique.

Par contre, de Voltaggio vers Gênes comme le Ligurien, avec les lentilles ophiolitiques qui y sont renfermées, entoure la large zone archaïque de l'Apennin central génois, ses bancs sont généralement inclinés vers l'Est; leur inclinaison, souvent très forte, contre la formation prétertiaire, diminue graduellement vers l'Est; en même temps les bancs liguriens se disposent généralement en demi cercle ouvert assez régulièrement vers l'Ouest, mais qui cependant se modifie tectoniquement vers l'Est.

L'on doit remarquer le long de cette ligne de superposition de la zone tertiaire à la zone prétertiaire que, à cause des notables transgressions et altérations stratigraphiques que l'on y vérifie, les formations triasiques, — réduites à de petites zones souvent interrompues, — pointent parfois au milieu des formations liguriennes, comme l'on peut spécialement bien l'observer près de Voltaggio.

D'après ce qui vient d'être exposé ci-dessus, il résulte naturellement que, quoique la formation ligurienne disparaisse complètement sous la mer au Sud de Gênes, nous pouvons cependant en suivre idéalement le développement. En effet, il est tout à fait probable que la zone ligurienne aille se réunir à la vaste aire ligurienne des Alpes Maritimes, étant limitées du Nord-Ouest par une ligne courbe, avec la convexité au Sud-Est, qui relie Gênes à Albenga.

Quant à la zone éocénique des Alpes Maritimes, son rétrécissement si prononcé — que, à peu de choses près, elle disparaît même tout à fait depuis la haute vallée du Tanarello jusqu'à la haute vallée de l'Ubayette — dépend spécialement de la zone ellipsoïdale prépaléozoïque du Mercantour; sa position et les fortes élévations qu'elle atteint, proviennent de ce qu'elle forme la partie extérieure de ce magnifique anticlinal, renversé vers le centre du bassin piémontais, qui constitue la plus grande partie des Alpes Maritimes.

D'après les phénomènes stratigraphiques, repliements et contorsions très répétés, que présente cette zone éocénique alpine, et d'après l'élévation assez notable (parfois presque 3000 mètres) qu'elle atteint quelquefois, l'on peut déduire que cet anticlinal prépaléozoïque des Alpes Maritimes s'est très fortement accentué et a souffert de notables modifications tectoniques vers la fin de l'époque éocénique. Mais nous nous arrêtons ici, car ce sont là des arguments traités déjà dans la première partie de ce travail.

Ayant indiqué ainsi à grandes lignes la distribution et la tectonique des terrains éocéniques du Piémont, il nous reste peu à dire sur les formations oligocéniques, miocéniques et pliocéniques de la partie septentrionale du bassin piémontais, puisqu'elles sont, la première

surtout, assez bien moulées stratigraphiquement sur la tectonique éocénique.

J'ai déjà dit que dans les collines tortonaises les formations *tongriennes* constituent, depuis la vallée de Staffora jusqu'à Val Grue, une ou plusieurs baies irrégulières, allongées d'Est à Ouest, entre les plissements liguriens; et que, par contre, ce terrain, jusque près de Tortone, aussi bien que dans les collines d'Alexandrie jusqu'à Valence, se présente plus généralement par lambeaux, de disposition tectonique variée, au-dessus des diverses ondulations liguriennes. Au contraire, dans les collines Casal-Turin les formations tongriennes se présentent en général sous forme d'anticlinaux souvent si fortement comprimés latéralement que les bancs sont redressés presque verticalement et même parfois légèrement renversés; il en résulte, par conséquent, des ellipsoïdes étroites et allongées, dont l'ellipsoïde d'Ottiglio-Montalero et celles des collines de Turin sont le type.

Ces plis tongriens se présentent aussi répétés en lignes parallèles, comme ceux sus-mentionnés du Ligurien; il est donc inutile d'en parler encore.

Si la formation oligocénique disparaît dans les collines de Turin, nous pouvons cependant en suivre idéalement le développement régulier au Sud, sous la plaine de Carignan, Savigliano, sous les collines de l'Astesan et du Monferrat jusqu'à la voir se réunir aux formations contemporaines qui entourent les pieds des Alpes Maritimes et de l'Apennin septentrional.

Vers le Nord, au contraire, l'aire de développement de l'Oligocène reste un peu plus douteuse; je crois cependant que ce terrain, éminemment conglomératique, plissé plusieurs fois, s'avance, sous les terrains plus récents qui le masquent, jusque contre le pied des Alpes; et en effet nous le voyons apparaître, essentiellement conglomératique, au pied des Alpes lombardes près du Lac Majeur, et se développer largement vers l'Est.

De toute manière je crois que les formations oligocéniques existent, à une plus ou moins grande profondeur, sous presque toute la vallée du Pô. Le même fait doit d'ailleurs se vérifier pour une grande partie de la mer Tyrrhénienne, puisque nous avons déjà remarqué que la formation tongrienne du Piémont passe en Ligurie au moyen des lambeaux de Cadibona, Savignone, etc. Si, pour la plus grande partie, la formation tongrienne de la Ligurie est aujourd'hui submergée, les affleurements de cette formation que l'on voit près de Rapallo, de Varazze, etc., nous démontrent cependant clairement que par son bord septentrional elle suit, à une petite distance sous la mer, la ligne du littoral du Golfe de Gênes.

Il existe souvent une transgression notable entre le Tongrien et les terrains superposés, de telle sorte que souvent le Stampien et l'Aquitainien ne viennent point au jour, ainsi que cela se voit dans les collines d'Alexandrie à Valence et dans une grande partie des collines tortonaises. Au contraire, depuis l'Aquitainien jusqu'au Quaternaire il existe presque toujours une succession stratigraphique régulière.

Les terrains miocéniques sont aussi, pour ce qui se rapporte à leur allure stratigraphique, assez bien modelés dans leur ensemble sur la tectonique oligocénique; cependant les anticlinaux et les synclinaux sont naturellement beaucoup plus amples, les inclinaisons des bancs beaucoup moins accentuées. L'on constate même, en certains points, des golfes miocéniques qui semblent être en contradiction avec les lignes des plissements éocéniques, mais qui, à la vérité, correspondent seulement à des régions de moindre accentuation de quelques-uns de ces plis.

Le développement souterrain, dirai-je, des formations miocéniques piémontaises y doit être presque égal à celui des zones oligocéniques; l'*Helvétien* est la formation qui se montre la plus développée, de telle sorte que nous en trouvons des lambeaux posés en discordance sur toutes les formations précédentes, par exemple dans les collines de Tortone et de Pavie, dans les collines Turin-Valence et aussi dans le Savonais en Ligurie.

Ce développement des formations helvétiques est en rapport avec une accentuation à la fin de l'Oligocène dans les phénomènes de plissement, de manière que de nouveaux bassins ou golfes secondaires se sont constitués, au moins pendant la période helvétique, bassins qui pour la plupart cependant, correspondent plus ou moins parfaitement aux bassins oligocéniques.

Le vaste lambeau helvétique de Finale indique, à mon avis, que cette formation se trouve amplement développée sous la mer Tyrrhénienne comme en Piémont; c'est seulement en certains cas, et justement dans une situation peu éloignée de l'ancien golfe tongrien du Savonais qu'elle put rester à jour. Des faits semblables s'observent aussi près de Nice.

Il existe assez souvent des transgressions stratigraphiques entre le Miocène et le Pliocène; ce dernier terrain n'a pas, en ce qui concerne sa tectonique, une grande importance en Piémont, puisque dans sa disposition il ne fit, pourrait-on dire, que subir les conséquences des plis précédents, en remplissant presque toutes les dépressions restantes; le Pliocène, en effet, qu'il soit marin ou lacustre, constitue véritablement le substratum de la vallée du Pô, de sorte que, quoique recouvert en général par des terrains quaternaires, il apparaît très fréquemment le long des bords alpins et apenniniques et autour du pli Turin-Valence. Le même fait a lieu sous la mer Tyrrhénienne comme nous le montrent

les nombreux lambeaux pliocéniques qui existent le long du littoral de la Ligurie.

A raison des phénomènes séismiques très puissants qui s'opèrent à la fin du Tertiaire, la tectonique de la région que nous venons d'examiner a dû subir à cette époque quelques modifications, consistant surtout dans l'accentuation des plis préexistants et par conséquent en soulèvements, en recourbements et en déplacements altimétriques, phénomènes qui donnèrent lieu pour la plus grande partie à la constitution des grands lacs subalpins et au retrait de la mer de la vallée du Pô.

CONCLUSIONS

D'après ce qui vient d'être exposé dans les deux parties de ce travail, nous pouvons déduire les principales conclusions suivantes :

1° La chaîne alpine occidentale doit son origine à un grand pli de la croûte terrestre ; ce pli, qui se résout en plusieurs plis secondaires — dont deux principaux — combinés avec des failles nombreuses, se disposa en ligne courbe à raison de l'obstacle formé par le Plateau central de la France, qui en empêcha le développement libre et régulier de l'Est à l'Ouest.

2° Le plissement qui donna origine à la chaîne alpine prit naissance à la fin de l'ère archaïque, il s'accrut fortement au commencement de la période jurassique, atteignit son maximum d'intensité à la fin de l'Éocène, ne présentant plus, par la suite, que des périodes secondaires d'accentuations, spécialement à la fin de l'Helvétien et à la clôture des temps tertiaires.

3° Dans la région piémontaise la vaste vallée du Pô ne peut nullement être considérée comme une *zone d'effondrement* ou de *chutes verticales* (comme le pense M. Neumayer dans son *Erdgeschichte*) mais bien comme une *zone de plissement*, affectant la forme d'un large pli synclinal qui, cependant, dans son ensemble, se souleva graduellement par rapport au niveau marin, comme nous le prouvent le rétrécissement et le dessèchement graduel du bassin tertiaire si typique du Piémont.

4° Dans l'intérieur de la courbe du grand plissement alpin, et comme conséquence directe, soit de sa forme courbe vers l'Occident, soit de son accentuation plusieurs fois répétée, prirent naissance — à cause de la pression très puissante qui s'en suivit — une série de plissements, qui constituèrent les collines Turin-Valence entre la Ligurie et les Alpes.

5° Les plissements, les failles et les érosions des régions alpines-penniniques examinées, ont mis au jour une épaisseur de formations d'environ 40.000 mètres d'épaisseur.

