

507

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ DES SCIENCES

DE
NANCY

—♦♦—
FONDÉE EN 1828
—♦♦—

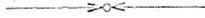
Série IV. — Tome II. — Fascicule V

MARS-MAI 1925



NANCY
SOCIÉTÉ D'IMPRESSIONS TYPOGRAPHIQUES
1925

SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

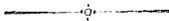
des

Sédiments Argilo-Calcaires

DU

BASSIN DE PARIS

par J.-Lucien THIÉBAUT



PRÉFACE



Malgré de nombreuses recherches, on n'a pas établi jusqu'alors d'une façon précise la constitution minéralogique des marnes. La composition chimique de leur élément essentiel n'a pas été déterminée; l'origine, et souvent même la nature des différentes bases que l'analyse y décèle n'ont pas été précisées.

C'est à cette tâche que je me suis adonné, sur les conseils de M. le Professeur LACROIX.

Désireux également d'apporter mon tribut aux travaux entrepris dans la région lorraine, et en particulier à ceux de mon Maître regretté, R. NICKLÈS, j'ai fait porter mes premières recherches sur les principales assises marneuses du Nord-Est de la France; je les ai étendues ensuite aux principaux niveaux argileux du Bassin de Paris et à quelques autres sédiments du Midi.

Le but de cette thèse est donc de définir la nature des composants minéraux des principales assises argilo-calcaires du Bassin parisien, de préciser l'importance et autant que possible l'origine

de chacun d'eux dans ces divers sédiments, enfin de tirer de cet ensemble les conclusions générales qu'il comporte.

Avant tout exposé, j'ai l'agréable devoir de rendre hommage à l'extrême bienveillance de M. le Professeur LACROIX qui, malgré la lourde tâche qu'il a assumée, a bien voulu me guider dans mes recherches. Je suis heureux de lui dire ici toute ma reconnaissance pour ses conseils, ainsi que pour l'accueil plein de bonté qu'il m'a toujours témoigné.

J'adresse aussi l'expression de toute ma gratitude à M. le Professeur LE CHATELIER, dont les avis m'ont été particulièrement précieux au cours de ce travail.

Je suis également très reconnaissant à M. le Doyen PETIT, à MM. les Professeurs MAUGUIN, CAYEUX, GUNTZ, BOURION, DUFFOUR, DE LAPPARENT et VERNADSKY de l'intérêt qu'ils ont bien voulu me témoigner durant mes recherches.

La sympathie de M. le Professeur FALLOT à cette occasion et les bons conseils qu'il a bien voulu me donner pendant la rédaction de ce mémoire m'ont particulièrement touché.

MM. les Professeurs GIGNOUX et JACOB, ainsi que M. DURAND, m'ont permis, par leur très grande obligeance, de compléter mes travaux par l'étude de quelques sédiments tertiaires.

Je ne saurais oublier mon collègue et ami, M. CHEVALLIER, dont les précieuses connaissances en océanographie m'ont été si profitables. Je suis heureux de lui adresser ici l'expression de mon affectueuse reconnaissance.

Enfin, la Société Industrielle de l'Est a bien voulu me fournir le matériel nécessaire à mes recherches et la Société des Sciences de Nancy s'est chargée de la plus grande partie des frais de publication de ce mémoire. J'en remercie vivement leurs Présidents, MM. BRUN, GUINIER et GAIN.

INTRODUCTION

Avant de commencer l'exposé de mes recherches et des conclusions auxquelles je suis arrivé, il me semble utile d'esquisser un aperçu des théories admises jusqu'ici sur la composition des sédiments argilo-calcaires.

Les *argiles pures* sont définies, en minéralogie, comme des corps formant tout un groupe de minéraux composés uniquement d'alumine, de silice et d'eau et sont considérées aujourd'hui par la plupart des savants, entre autres PUCKALL et VERNADSKY comme des acides alumo-siliciques.

On désigne ordinairement sous le nom d'*argiles communes* et de *marnes*, des sédiments en apparence amorphes, renfermant une proportion variable de *calcite* et parfois de *dolomite*. La teneur en carbonates marque la distinction que l'on établit entre ces roches : si cette teneur est inférieure à 20 %, la substance est une *argile*, si elle est comprise entre 20 et 50 %, c'est une *marne* ; au-dessus de 50 %, c'est un *calcaire marneux* ou une *dolomite* (1).

Les *sédiments argileux*, suivant les notions anciennes, seraient formés d'un mélange en proportion variable d'une argile du groupe de la *kaolinite* et de *carbonates* auxquels se joindraient quelques minéraux détritiques que révèle du reste l'examen microscopique. On y trouve en particulier du *quartz* et du *mica blanc* ; souvent le tout apparaît souillé d'oxyde de fer hydraté.

Contrairement à ce qui se passe avec les argiles pures, l'acide chlorhydrique, comme je l'ai vérifié, attaque énergiquement les sédiments argileux et une forte proportion de magnésie et d'alcalis passe dans la liqueur.

Ce fait devait forcément jeter un doute sur l'exactitude de la

(1) Les *gaises*, en plus d'une substance argileuse, renferment de la silice libre, soluble dans les alcalis.

composition minéralogique de ces roches telle qu'elle vient d'être exposée et peu à peu l'opinion se modifia à ce sujet. C'est ainsi que LACROIX, dans sa « Minéralogie de la France et de ses Colonies », distingue l'argile pure de nombreuses « argiles sédimentaires qui constituent de véritables roches généralement riches en produits clastiques (1) » et que H. LE CHATELIER écrit : « On parle souvent, mais à tort, de calcaires argileux ou d'argiles calcaires connues sous le nom de marnes, telles que les marnes oxfordiennes de l'étage jurassique. En réalité, les matières siliceuses des marnes que l'on peut facilement isoler par l'action d'un acide faible, comme l'acide acétique, n'ont aucun rapport de composition avec la kaolinite (2). » Déjà CAYEUX, dans un récent ouvrage, sépare soigneusement les minéraux des roches désignées sous le nom d'argiles, les secondes résultant « de l'association de ces mêmes minéraux en proportions dominantes avec des éléments de nature variée » (3).

J. DE LAPPARENT, émettant même une opinion plus avancée, dit à propos des calcaires argileux ou des marnes : « S'il y a lieu de penser qu'ils sont partiellement faits de silicates d'alumine hydratés que leurs compositions chimiques rapprocheraient de la kaolinite ou de l'halloysite, il faut croire en outre qu'ils sont aussi, et souvent en majeure partie, constitués par des micas blancs du type de la séricite ou par des chlorites (4). »

Cette conception nouvelle des argiles concorde avec les conclusions des premières études que j'ai entreprises sur les marnes du Keuper lorrain (5).

Depuis, j'ai étendu mes recherches aux principales assises argilo-calcaires du Bassin parisien. Ces travaux m'ont démontré que contrairement aux premières notions admises, l'argile pure manque à peu près complètement dans ces sédiments. Le mica blanc et une chlorite potassique en constituent par contre les éléments essentiels.

(1) A. LACROIX. — Minéralogie de la France et de ses colonies, t. 1, 2^e partie, p. 474. Paris, 1895.

(2) H. LE CHATELIER. — La Silice et les Silicates, p. 469. Paris, 1914.

(3) L. CAYEUX. — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. Paris, 1916, p. 229. Collection des mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France.

(4) J. DE LAPPARENT. — Leçons de pétrographie, p. 377. Paris, 1923.

(5) L. THIÉBAUT. — C. R. A. S., t. 175, année 1922, p. 447.

Pour plus de clarté, j'ai divisé cette thèse en quatre parties :

La première comprend l'exposé des méthodes employées jusqu'alors pour l'étude minéralogique des argiles et des marnes, ainsi que l'esquisse d'un procédé d'analyse.

Dans la seconde partie, les effets des réactifs usuels sur les minéraux rencontrés habituellement dans les marnes sont étudiés en détail. Des résultats ainsi acquis, une méthode d'analyse rationnelle est déduite.

L'application de cette méthode à toute une série de roches prélevées pour la plupart dans le Bassin de Paris, fait l'objet de la troisième partie.

Le résumé de toutes ces recherches et les conclusions qui en découlent sur la composition générale des sédiments marins et sur l'origine probable de leurs éléments, terminent ce travail.

PREMIÈRE PARTIE

I. - HISTORIQUE

La complexité des sédiments argileux conduisit naturellement les savants à rechercher des procédés d'analyse aptes à définir les composants de ces dépôts. Les divers processus utilisés jusqu'à présent dans ce but, peuvent être classés suivant leur mode opératoire, en procédés physiques et en méthodes chimiques.

Les premiers tendent à séparer quantitativement les uns des autres les divers éléments des roches étudiées ou à les reconnaître qualitativement à l'aide du microscope.

Les secondes comprennent toute une série d'essais ayant pour but de doser séparément sur une même prise les divers composants.

En réalité, on est bien souvent obligé d'avoir recours simultanément à ces deux techniques.

L'exposé qui suit traitera d'abord des moyens physiques puis des divers modes d'analyses chimiques dites rationnelles. Un aperçu des résultats obtenus jusqu'ici terminera ce chapitre.

PROCÉDÉS PHYSIQUES DE SÉPARATION

L'isolement des divers éléments minéralogiques contenus dans les terres parut d'abord chose facile.

PROCÉDÉ HYDROMÉCANIQUE

Une lévigation prolongée de la substance sous l'action entraînant d'un courant d'eau devait permettre d'obtenir le classement désiré en séparant l'argile. Tel est le principe de la méthode hydromécanique employée par CORDIER, puis par GASPARIN et MASURE et enfin par NOBEL (1864), SCHULZE et SCHOENE (1867). Ces derniers se préoccupèrent surtout de perfectionner l'outillage utilisé.

L'appareil de SCHOENE, modifié par MAVER, et celui de THOULET sont les plus récents.

Méthode de Schloesing. — Une autre méthode physique consiste à mettre en suspension dans l'eau les particules à analyser et à les laisser se déposer. Il ne reste plus dans la suite qu'à recueillir les dépôts qui se forment à des intervalles de temps plus ou moins longs. Cette méthode, imaginée par CHEVREUL, fut appliquée à l'étude de la terre arable par Th. SCHLOESING père, et perfectionnée par lui. Il pensait ainsi séparer les particules colloïdales qu'il considéra comme des argiles. Pour mieux les isoler, l'auteur lavait d'abord les terres avec de l'acide azotique étendu, afin de détruire les carbonates. Le résidu lavé était filtré jusqu'au trouble. Un traitement à l'ammoniaque permettait alors de solubiliser l'acide humique, et l'argile, ainsi débarrassée du calcaire et de ce produit organique, était coagulée par une addition d'un peu de chlorhydrate d'ammoniaque, puis reçue sur un filtre. Un dispositif fort ingénieux permettait alors de recueillir automatiquement les divers dépôts, fractionnés par temps de chute, provenant de l'argile mise en suspension dans l'eau. D'autres appareils ont été imaginés dans le même but par de nombreux auteurs sans permettre d'atteindre de meilleurs résultats (1).

Perfectionnements de Muntz et Gaudechon. — Cependant, en 1913, MUNTZ et GAUDECHON (2) sont arrivés à un fractionnement plus complet des particules les plus fines des argiles. Ils utilisèrent à cet effet des éprouvettes graduées à pied et étudièrent à divers moments la répartition des particules mises uniformément en suspension dans ces vases, en les plaçant dans une pièce à température sensiblement constante pour éviter « l'irradiation latérale et toute variation locale de température susceptible de produire des mouvements de convection au sein du liquide ». Dans d'autres essais, ces auteurs constatèrent que le transport des particules argileuses

(1) H. W. WILEY. — Principles and Practice of agricultural Analysis, seconde édition, vol. I. Soils, Easton Pa. 1906.

(2) A. MUNTZ et H. GAUDECHON. — Contribution à l'étude des argiles. C. R. A. S., t. 157, année 1913, p. 968.

par un courant électrique (phénomène de cataphorèse) produit sur elles un effet inverse de celui de la gravité. En effet, grâce au courant, ce sont les particules les plus fines qui se déposent le plus vite.

Ayant appliqué leur premier mode opératoire à des argiles différentes obtenues par la méthode de SCHLOESING, MUNTZ et GAUDECHON purent les caractériser grâce à des proportions différentes d'éléments légers, faits que confirma l'étude de ces mêmes sédiments, suivant leur second procédé.

Ils purent ainsi fractionner en plusieurs lots, mais cela d'une façon tout à fait arbitraire, des argiles définies sous un nom unique par la méthode de SCHLOESING.

EMPLOI DE LA FORCE CENTRIFUGE

Depuis, la centrifugation des sédiments meubles fut essayée elle aussi par WHITHNEY (1). J. DUMONT en 1905-1907 y eut également recours en l'améliorant. L'opération consiste simplement à substituer la force centrifuge à la pesanteur pour hâter la séparation de matériaux mis en suspension dans un liquide.

APPRÉCIATION DE CES MÉTHODES

Malheureusement, tous ces procédés présentent les mêmes inconvénients qui ressortent de l'expérience suivante de VOGT: celui-ci ayant finement broyé divers minéraux entrant d'ordinaire dans la composition des sédiments détritiques, les mit séparément en suspension dans de l'eau très légèrement ammoniacale. Au bout de neuf jours, une portion importante de chacun d'eux ne s'était pas encore déposée au fond du vase dont le liquide restait trouble. L'addition de quelques gouttes d'acide chlorhydrique, en coagulant toutes ces parcelles, en amena la précipitation. L'auteur en conclut à l'impossibilité de séparer, dans les argiles, par un procédé de lévigation, « le silicate d'alumine hydraté » des corps étrangers qui peuvent l'accompagner, car ceux-ci à l'état de très fines particules

(1) L. J. BRIGGS, F. O. MARTIN et J. R. PEARCE. — The Centrifugal Method of mechanical Soil Analysis (U. S. Dep. of Agr. Bureau of Soils, bull. N° 24, p. 7, note infra paginale).

se comportent comme les argiles (1). D'ailleurs SCHLOESING père lui-même arriva aux mêmes conclusions en donnant l'explication de ce phénomène. Tous ces minéraux, « ayant à peu près la même densité, on peut dire que l'action de la pesanteur est proportionnelle à leurs volumes, tandis que la résistance de l'eau dépend surtout de leur surface et de leurs formes, et comme pour un même volume, formes et surfaces sont infiniment variées, il arrive que des grains qui devraient être réunis en raison de leurs volumes, sont en réalité répartis dans des dépôts différents, en raison de leur forme ou de leur surface (2). »

En résumé, si ces méthodes conviennent pour séparer par grosseur les matériaux d'un sédiment, elles sont insuffisantes pour classer par espèces les fines particules en partie colloïdales qui forment la partie argileuse. Leur emploi ne peut donc être vraiment utile dans une analyse rationnelle des roches sédimentaires qui nous occupent.

SÉPARATION A L'AIDE DES LIQUEURS DENSES

Ces critiques s'adressent également aux méthodes de séparation à l'aide des liqueurs denses. L'emploi de celles-ci ne peut être de quelque utilité que si les minéraux à séparer présentent des différences de densité notables et si leurs grains sont de dimensions suffisantes. Les minéraux à l'état de poudre fine peuvent en effet rester indéfiniment en suspension dans les liquides d'une densité supérieure, par les seuls effets des forces capillaires et de la viscosité de la solution. Cette condition de grosseur est d'autant plus nécessaire qu'est grande la proportion d'éléments colloïdaux dans le mélange, car ceux-ci en se coagulant, peuvent enrober les fines particules des corps lourds et rendre ainsi inopérante l'action des liqueurs denses. C'est malheureusement ce qui se produit avec les sédiments argileux, aussi je n'ai pu utiliser qu'accessoirement ces procédés de séparation pour la seule détermination qualitative des minéraux lourds d'un certain nombre de roches. J'ai employé pour

(1) A. VOGT. — C. R. A. S., t. 110, année 1910, p. 1199.

(2) Th. SCHLOESING. — C. R. A. S., t. 137, année 1903, p. 373.

cela la liqueur de THOULET et l'entonnoir cylindrique à robinet de CHURCH.

PROCÉDÉ ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

L'analyse électro-magnétique permet de trier en plusieurs lots des minéraux plus ou moins attirables qui sont intimement mélangés les uns aux autres. A l'aide d'un électro-aimant, on peut ainsi séparer la glauconie du quartz et la magnétite de la glauconie; mais on ne peut songer à y avoir recours dans les mélanges où les éléments magnétiques n'existent qu'en faible quantité, surtout s'ils sont très fins et enrobés dans un dépôt colloïdal comme dans les sédiments étudiés.

L'inefficacité de toutes les méthodes que je viens de résumer ne permet donc pas de les utiliser seules pour définir la composition minéralogique des sédiments argileux.

EMPLOI DU MICROSCOPE POUR L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS

L'emploi du microscope polarisant paraît, *a priori*, être plus efficace. La plupart des composants des roches sédimentaires possèdent des propriétés optiques bien définies. La kaolinite elle-même apparaît parfois à l'œil nu sous forme de lamelles cristallines; mais, suivant les propres termes de LACROIX, le plus souvent ces lames sont très petites et leur structure cristalline ne peut être mise en évidence que par l'examen au microscope. Les argiles « dites amorphes elles-mêmes sont constituées (et en particulier la montmorillonite et l'halloysite) en partie ou en totalité par une substance cristallisée formant des lamelles plus ou moins enchevêtrées perpendiculaires à une bissectrice aiguë négative... je ne puis affirmer que dans toutes les argiles que j'ai étudiées, ce produit cristallisé soit exactement le même, car étant donné la faible biréfringence de ce minéral et la grande difficulté de la taille des plaques minces d'épaisseur connue, le nombre des vérifications que l'on peut faire est peu élevé. Ces propriétés optiques sont voisines de celles de la kaolinite (1). »

(1) LACROIX. — Minéralogie de la France et de ses Colonies, t. 1, 2^e partie, p. 472.

A cette difficulté de distinguer les argiles entre elles, s'en ajoute une autre : la reconnaissance des minéraux détritiques qui peuvent entrer dans la composition des sédiments argileux est rendue la plupart du temps très difficile par leur degré de finesse et par la présence de substances colloïdales qui les enrobent. Entre autres, le mica blanc (que j'ai toujours rencontré) ne peut être reconnu que si ses dimensions atteignent au moins quelques millièmes de millimètres, et en l'absence de particules argileuses.

La différenciation de l'orthose et du quartz détritiques ne peut se faire que dans les mêmes conditions et d'une façon souvent imparfaite, tant sont voisines les propriétés optiques de ces corps, en particulier l'indice moyen et la biréfringence.

Mais, si l'identification du quartz détritique est difficile pour les très petits grains, il n'en est pas de même pour les gros éléments et surtout pour les petits cristaux bipyramidés qui abondent dans certaines roches.

Leur biréfringence et leur indice moyen élevé permettent de reconnaître facilement le rutile, le zircon et même la tourmaline qu'on rencontre dans tous les sédiments. Mais l'identification partielle de tous ces minéraux n'est guère possible que si l'on opère sur des sédiments débarrassés, par un traitement chlorhydrique, des carbonates et d'une partie des substances argileuses.

Insuffisance des données du microscope. — L'emploi du microscope ne permet donc pas une analyse rationnelle complète des sédiments qui nous occupent. Il ne peut être, en cette occasion, qu'un guide souvent précieux, mais insuffisant. En particulier, en ce qui concerne les argiles, on peut dire avec CAYEUX (1) que « somme toute, la part du microscope dans leur diagnostic est des plus restreintes. Sauf la kaolinite en cristaux et sa variété, la leverrièreite, qui se laissent identifier sans difficulté, les autres, y compris l'hallowysite et la montmorillonite ne peuvent jamais être reconnues avec certitude. Cela est tellement vrai, que si l'on suppose associés des représentants de ces argiles, y compris la kaolinite en lamelles irrégulières, il est de toute impossibilité d'en faire le départ sous le microscope. En fait, l'argile échappe généralement aux investi-

(1) L. CAYEUX. — Mémoire cité, p. 233.

gations, quand elle figure comme élément très accessoire dans les roches; et même lorsque sa présence est signalée par l'analyse, on éprouve souvent de grandes difficultés à la déceler dans les coupes minces. Or, ce qui nous intéresse avant tout, c'est bien moins la présence de telle ou telle variété minéralogique, que l'argile considérée d'une façon globale. A ce point de vue, il est hors de conteste que l'emploi des réactifs colorants est appelé à faciliter la tâche du pétrographe. »

EMPLOI DES COLORANTS POUR LA RECONNAISSANCE DES MATIÈRES ARGILEUSES

La recherche de l'argile à l'aide de réactifs colorants fut tentée en 1909 par GROSJEAN. Il constata qu'une argile sédimentaire quelconque, finement pulvérisée, est teintée fortement par les couleurs d'aniline en solution, et en particulier par le bleu de méthylène. Comme solvant, on peut employer entre autres, l'eau, l'alcool, la benzine.

Les argiles cristallines ont un pouvoir adsorbant un peu moindre que les autres, mais sont polychroïques.

Malheureusement, d'autres minéraux possèdent la même propriété, tels sont: la magnésite, le talc, la glauconie. La calcite toutefois, n'agit pas ainsi, d'où la méthode imaginée par l'auteur pour déceler dans les calcaires la présence des silicates argileux qui viennent d'être cités.

Si l'on ne peut songer à faire usage de réactifs colorés pour reconnaître la présence d'argile pure dans les sédiments, les méthodes colorimétriques permettent cependant de distinguer facilement la calcite de la dolomite.

Parmi toutes celles employées jusqu'ici, j'ai choisi celle de LEMBERG (1), qui est basée sur le principe suivant: Si l'on traite pendant quelques minutes un mélange de calcite et de dolomite réduites en poudre, par une solution de nitrate d'argent au dixième, il se forme sur la calcite seulement un léger dépôt de carbonate d'argent. Après avoir lavé soigneusement le mélange, si on le soumet pendant

(1) J. LEMBERG. — Zur microchemischen Untersuchung einiger Minerale (Zeits, d. Deutsch Geol. Ges. Bd. XLIV, 1890, p. 231-232).

quelques instants (une à deux minutes) à l'action d'une solution de chromate de potasse, le carbonate d'argent se transforme en chromate d'argent qui teinte en brun la calcite seule, la dolomite étant pratiquement sans action sur le nitrate. Il est alors facile, par un examen microscopique, de distinguer ces deux minéraux l'un de l'autre.

Les chimistes peuvent être guidés dans leurs recherches par les résultats obtenus grâce à cette méthode et par ceux purement qualitatifs fournis par l'emploi du microscope. Cependant ces données perdent de leur précision avec l'augmentation de finesse des éléments; il est ainsi très difficile de définir de cette manière la plupart des argiles et la chose devient impossible quand il s'agit d'argiles amorphes.

MÉTHODES CHIMIQUES

ANALYSE RATIONNELLE DES ARGILES

La destruction successive des divers éléments qui composent les sédiments argileux parut donc être le meilleur procédé chimique à employer. On sait en effet que certains minéraux sont très facilement attaquables par les acides faibles: la calcite en est un exemple; d'autres, au contraire, résistent même à l'acide sulfurique concentré: tel est le quartz. Il paraissait donc logique de doser les éléments carbonatés en faisant agir à froid sur les roches argileuses l'acide chlorhydrique très étendu ou même un acide organique. On peut ainsi définir dans un sédiment les proportions respectives de carbonates et d'argile. Celle-ci, mise à bouillir avec de l'acide sulfurique dilué, est en partie décomposée. Le résidu renferme presque exclusivement du quartz et de la silice primitivement combinée. Cette dernière est facilement extraite du mélange par une solution alcaline, qui, pratiquement, laisse inaltérés le quartz et les éléments détritiques qui peuvent l'accompagner.

Tel est le principe de la méthode imaginée en 1835 par FORCHAMMER et appliquée ensuite par BRONGNIART (1844), FRESSENIUS (1852), MALAGUTI, BISCHOF (1884), SEGER (1893), HECHT (1895), SABECK (1902), BERDEL (1903), LUNG (1908) et particulièrement

recommandée par HANCOCK (1910) (1). Les différences de processus employés par ces divers auteurs, ne portent guère que sur le degré de concentration de l'acide (qui varie en volume entre un quart et un cinquième) ou de la solution d'alcali caustique dont la teneur oscille entre 2 et 10 %, ainsi que sur les conditions d'attaque.

Procédé de Vogt. — VOGT (2), puis LAVEZARD (3) utilisèrent une méthode analogue lors de leurs recherches sur la composition des argiles de France. Pour chacune d'elles, ils établirent son analyse globale, en l'attaquant par le carbonate de sodium en fusion, et par l'acide fluorhydrique. En même temps, par une attaque à l'acide sulfurique et une reprise par une solution de soude, ils isolèrent et dosèrent la portion inattaquable par cet acide. L'analyse de ce résidu leur permit de déduire par différence la composition de la partie attaquée. Ces chimistes purent déterminer ainsi avec exactitude la proportion de mica blanc et d'argile kaolinique existant dans les principales terres réfractaires de France. Leurs teneurs en feldspath peuvent être calculées d'après la proportion d'alumine et d'alcali contenus dans les résidus. Malheureusement, toutes ces analyses sont incomplètes. Elles ne portèrent en effet que sur les parties les plus fines des sédiments et les auteurs n'ont pas tenu suffisamment compte d'une forte proportion de mica et d'éléments détritiques isolés par lévigation. Une autre cause d'incertitude résulte du fait que l'acide carbonique n'a pas toujours été dosé. Enfin, la méthode suivie ne permet pas de distinguer les minéraux inattaquables par l'acide chlorhydrique et rend ainsi difficile l'interprétation d'un certain nombre de résultats.

Malgré ces imperfections, on peut tirer d'importantes déductions de l'ensemble des données fournies par ces auteurs, surtout

(1) HANCOCK. — The rational analyse of clay (London Soc. Chem. Industry 29, 1910, p. 307-311).

(2) G. VOGT. — De la composition des argiles (Bull. de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, mai 1897); reproduit dans les mémoires publiés par cette Société, année 1906, p. 193 à 218.

(3) E. LAVEZARD. — Contribution à l'étude des argiles de France (mémoires publiés par la Société d'Enc. pour l'Ind. Nationale, 1906, p. 113 à 192).

pour les roches peu attaquables par l'acide chlorhydrique et riches en argiles kaoliniques.

Procédé de Van Bemmelen. — En 1889, VAN BEMMELEN, étudiant les terres argileuses provenant d'alluvions modernes de la Hollande et de terres volcaniques des Indes Orientales, fit précéder l'attaque sulfurique de ces matériaux par des attaques chlorhydriques de durées de plus en plus longues, faites à des concentrations et à des températures croissantes. Chacune d'elles était suivie d'un lavage sodique.

Voici, du reste, le détail de toutes ces opérations, d'après l'auteur lui-même :

« Je prends 3 à 5 gr. de terre finement pulvérisée et je les extrais pendant quelque temps au moyen de 50 à 100 c/m³ d'acide chlorhydrique de diverses concentrations. Dans la suite, les lettres a, b, c, etc... serviront à indiquer un extrait :

a	- au moyen d'acide chlorhydrique (p. spéc. 1,035)	à 55°	pendant 5'	à 1/2 h.
b1	- — — — —	1,10	55°	— —
b2	- — — — —	1,10	100°	— 1/2 h. à 1 h.
c1	- — — — —	1,2	à l'ébullition	pendant 1 heure.
c2	- répétition de c1.			
k1	- lessive de soude (ou de potasse)	— 1,04	à 55°	pendant 5'.
k2	- — — — —	— 1,04	à l'ébullition	pendant 1/2 h.
s.	- Chauffage avec de l'acide sulfurique concentré (5 à 10 cm ³) jusqu'à ce que l'acide était évaporé pour la plus grande partie.			

« Après chaque traitement par l'acide, le liquide clair est enlevé aussi parfaitement que possible, et la terre agitée pendant cinq minutes avec la lessive diluée (p. spéc. 1,04) à 50°. La silice et la minime quantité d'alumine qui se dissolvent pendant cette manipulation sont déterminées et mises sur le compte de l'extrait acide précédent.

« Le volume de la petite quantité de liquide qui reste dans la terre après le traitement par la lessive diluée est évalué d'une façon approchée.

« Le liquide enlevé est filtré par excès de précaution et l'on tient compte de la minime quantité de matière fixe qui reste sur le filtre (1). »

(1) J. M. VAN BEMMELEN. — Contribution à la connaissance des produits

Malheureusement, cette méthode fort longue et fort délicate, est pratiquement inapplicable à des éléments formés en partie d'alcalis.

Procédés d'attaque par l'acide chlorhydrique. — Dès le début du siècle dernier, plusieurs auteurs allemands : GMELIN en 1826, FEHLING et KURR en 1851, FAISST vers la même époque prétendirent doser l'argile dans les marnes et les calcaires par une simple attaque à l'acide chlorhydrique. Celui-ci, d'après eux, ne laissait inaltérés que l'argile et le quartz.

C'est cette méthode qui fut reprise et perfectionnée en 1898 par WULFING (1). Ayant entrepris l'étude de quelques marnes du Keuper de Souabe et ayant reconnu l'insuffisance des données du microscope, il ne les utilisa que pour guider les déductions tirées de ses essais chimiques. Voici quelle était sa façon d'opérer :

Par une attaque à froid au moyen de l'acide chlorhydrique dilué à 10 %, il détruit les carbonates dont il calcule la teneur en admettant que toute la chaux et la magnésie passées en solution existaient primitivement sous cette forme. Une prise d'essai est mise à bouillir avec ce même acide ; le filtrat est analysé, la silice mise en liberté est extraite par une solution sodico-potassique. En retranchant des quantités trouvées ainsi la chaux et la magnésie des carbonates, il conclut à la composition de la partie silicatée détruite par l'acide chlorhydrique.

Une analyse globale de la roche lui donne par soustraction des éléments calculés précédemment, la composition totale du résidu de ses premières attaques. Celui-ci est formé uniquement d'un mélange de quartz, de muscovite, de kaolin et de mica. L'auteur en établit la perte au feu au-dessous et au-dessus de 500°. Puis, se basant sur ce fait que le kaolin perd presque toute son eau (de 84 à 89 %) au-dessous de 500°, il en déduit les proportions des quatre

de décomposition des silicates dans les terrains argileux, volcaniques et détritiques (Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles, série II, t. X, p. 209, La Haye, 1905).

(1) E. A. WULFING. — Untersuchung des bunten Mergels der Keuperformation auf seine chemischen und mineralogischen Bestandteile, Jahresshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 56, Ha VIII, 1900, p. 1 à 46.

minéraux cités à l'aide de quatre équations où il fait état de leur composition théorique et de la composition globale du résidu.

Cette méthode a plusieurs défauts; d'abord, en ne dosant pas directement l'acide carbonique des sédiments étudiés, WULFING compte souvent comme carbonate une partie de la magnésie existant à l'état de silicate.

En deuxième lieu, l'acide titanique n'a pas été dosé. De plus la composition du résidu de l'attaque de l'acide chlorhydrique est calculée par différence et, de ce fait, manque de précision.

Enfin, le pourcentage des minéraux qui constituent ce résidu est des moins rigoureux puisqu'il est basé sur un calcul de perte au feu matériellement inexact, car d'une part, il existe toujours dans ce résidu des matières organiques qui, disparaissant avant 500°, faussent la proportion d'eau rapportée au kaolin, et que, d'autre part, le mica blanc perd déjà une forte proportion de son eau au-dessous de 500°, ainsi que le montrent les chiffres qui suivent donnés par une muscovite des Vosges :

Perte au feu, de 108 à 250°.....	0,36	} au total, 5,36 %.
— 250 à 350°.....	0,30	
— 350 à 500°.....	0,48	
— 500 à 600°.....	0,77	
— au-dessus de 600°.....	3,45	

Au-dessous de 500° la muscovite perd donc déjà plus de 20 % de son eau et 35 % environ au-dessous de 600°.

OPINIONS ÉMISES JUSQU'ALORS SUR LA COMPOSITION DES SÉDIMENTS MARNEUX

WULFING conclut de ses travaux que l'argile kaolinique n'entre, que pour une très faible proportion dans les sédiments qu'il a étudiés. Pour lui, ceux-ci seraient surtout formés d'une *chlorite* renfermant des alcalis et de *pilolite*, minéral du groupe de la *pali-gorskite* (1).

(1) D'après FERSMANN, il existerait deux pilolites (α et β) répondant respectivement aux formules: 10 SiO², 1 Al²O³, 4 MgO, 13 H²O et 13 SiO², 1 Al²O³, 6 MgO, 17 H²O. A. E. FERSMANN: Mémoire de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg, t. 7, 1913 (en russe).

Ces conclusions concordent dans leur ensemble avec celles auxquelles était arrivé VOGT (1). Pour ce dernier, « la matière argileuse des marnes qui est de toute autre nature que la kaolinite, semble en grande partie formée par des débris de *minéraux magnésiens* (*biotite, chlorite* ou autres) »

LAVEZARD signale également des argiles pour lesquelles « le rapport moléculaire $\frac{\text{Si O}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ est supérieur à 2, et celui de $\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ inférieur à ce nombre. Il entre dans leur composition chimique des quantités notables de magnésie, de chaux et d'alcalis, surtout à l'état de potasse. Les matières étrangères qui accompagnent les argiles de cette classe sont en général le carbonate de calcium, l'oxyde de fer, le quartz et l'acide titanique » (2).

Cet auteur a constaté également que le rapport moléculaire: $\frac{\text{Si O}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ augmente avec la teneur en magnésie.

Les marnes donnent les résidus argileux les plus pauvres en alumine.

Ces mêmes résidus, traités par une solution de soude, s'y dissolvent légèrement, et le *rapport moléculaire* des éléments est voisin de *quatre*, tandis que pour les *argiles* il est voisin de *deux*.

Toutes ces conclusions ne font que confirmer celle émise par LE CHATELIER en 1894 (3). Ayant analysé les résidus insolubles obtenus « dans le traitement par l'acide acétique des calcaires à ciment et chaux hydrauliques », il conclut que les analyses provenant de trois des calcaires étudiés « pourraient être rapprochées de celles de certains silicates d'alumine mal définis et toujours très impurs désignés suivant leur provenance par les noms de *Montmorillonite, Confolensite, Stéargilite, Cimolite*, etc... Le quatrième résidu se rapprocherait plutôt, par sa composition, de la *Bravaisite*, silicate d'alumine renfermant de la potasse, qui a été étudié par M. MALLARD. »

On peut donc admettre, d'après ces divers auteurs, que la partie

(1) G. VOGT. — Mémoire cité, p. 217.

(2) LAVEZARD. — Contribution à l'étude des argiles de France (mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, 1906, p. 191).

(3) H. LE CHATELIER. — C. R. A. S., t. 118, 1894, p. 263.

argileuse des sédiments marneux et calcaires n'est pas formée, pour la plus grande partie, par du kaolin. Mais la détermination des composants de ces résidus argileux restait à faire.

Comme on l'a vu, toutes les méthodes physiques sont inopérantes pour séparer les minéraux en grains très fins; de ce fait, elles ne peuvent être vraiment utiles aux chimistes, car leurs procédés d'attaque fractionnée ne perdent de précision que par l'existence de particules minérales beaucoup trop fines pour être isolées physiquement. D'autre part, les données du microscope sont insuffisantes. J'ai été amené ainsi à rechercher une méthode d'analyse rationnelle plus complète que celles employées jusqu'ici. Je me suis inspiré plus particulièrement de celle imaginée par VAN BEMMELEN, en la simplifiant et en la perfectionnant. Mais on ne peut obtenir ainsi de résultats appréciables qu'en détruisant successivement et séparément, par des attaques convenables, les divers constituants reconnus par un examen microscopique des sédiments étudiés.

Toute une série d'essais préliminaires pouvait seule permettre de régler les détails opératoires d'une telle méthode. Les résultats de ces premières recherches, ainsi que le détail du processus analytique que j'en ai déduit, font l'objet du chapitre qui suit.

DEUXIÈME PARTIE

II. - Recherches

sur les conditions d'attaque des minéraux rencontrés habituellement dans les sédiments argileux

L'action des acides chlorhydrique et sulfurique, celle des solutions d'alcalis caustiques sur les composants essentiels des roches argileuses a été l'objet de nombreuses recherches.

Si, dans leur ensemble, les résultats analytiques concordent, il existe souvent entre eux des écarts notables.

La cause de ces contradictions apparentes doit être recherchée tant dans la différence du degré de finesse des éléments étudiés que dans la diversité des modes opératoires.

C'est pourquoi, je me suis efforcé de mettre en relief cette première cause de divergence dans un certain nombre de cas particulièrement importants.

A cet effet, les divers minéraux à essayer ont été broyés dans un mortier d'agate à une dimension inférieure à 0 m/m 060 (maille 270) puis délayés dans de l'eau distillée additionnée de quelques gouttes d'une solution de soude à 1/100. Les particules restées en suspension pendant 24 heures furent recueillies et séchées. Ce sont les particules les plus fines que j'ai obtenues (*portion a*), leur dimension atteint à peine 0 m/m 001. Une autre catégorie comprend les éléments de 0 m/m 001 à 0 m/m 060 (*portion b*) et enfin une dernière série, ceux dont la grosseur varie entre 0 m/m 060 et 0 m/m 150 (*portion c*).

Toutes les poudres ont été séchées au préalable jusqu'à poids constant, à l'étuve à 105°-108°.

Pour éviter toute incertitude résultant des conditions d'attaque,

j'ai toujours travaillé avec des solutions de même concentration et à la même température: les attaques chlorhydriques ont été faites avec de l'acide étendu de son volume d'eau, agissant constamment à la température du bain-marie bouillant dans une capsule de platine dont le fond trempait dans l'eau (soit 80° à 85°).

Les essais par une solution *d'alcali caustique* (une partie de soude pour neuf d'eau) ont été conduits de la même manière et le volume était maintenu constant par addition d'eau toutes les demi-heures.

Les attaques *sulfuriques* ont été faites par évaporation, sans ébullition, jusqu'à siccité, de 50 gr. d'une solution d'acide sulfurique dilué à 10 fois son volume.

La substance était ensuite reprise de nombreuses fois par l'acide chlorhydrique étendu (une partie d'acide pour trois parties d'eau) jusqu'à épuisement complet de la solution.

En opérant ainsi, j'ai obtenu toute une série de données qui forment l'objet de l'exposé qui suit. Je les ai classées par espèces minérales, en faisant précéder les miennes de celles de VOGT.

QUARTZ ET SILICE. — *Les acides cités sont absolument sans action sur ces corps, mais une solution de soude au 1/10^e agit faiblement sur le quartz.*

VOGT a étudié ce fait sur du quartz pulvérisé et sur du sable siliceux de Fontainebleau. Ces matières, dit-il, « sous l'action d'une solution bouillante de potasse caustique (D = 1,08) (1) ne sont que faiblement attaquées, les quantités dissoutes après 15 minutes ne dépassant guère 1 %.

« La quantité de silice entrée en dissolution après chacune de ces opérations successives paraît rester constante, ou du moins dépendre de la durée de l'ébullition. »

Voici, au reste, les résultats obtenus sur environ 2 gr. 5 de substance:

QUARTZ BROYÉ DU LIMOUSIN

Opérations successives.....	1 ^{re}	2 ^e
Durée de l'expérience.....	15'	2 h.
Quantité dissoute SiO ²	0,0288	0,504
Silice dissoute %.....	1,06	1,56

(1) Soit une partie d'alcali pour neuf parties d'eau.

QUARTZ (SABLE SILICEUX DE FONTAINEBLEAU)

Opérations successives	1 ^o	2 ^o	3 ^o
Durée	2'	1' 5	3'
Silice dissoute	0,0133	0,0054	0,0123
<i>Pour cent</i>	0,53	0,21	0,49

Ces données, comme toutes celles de ce savant, ne tiennent aucun compte du degré de finesse du minéral étudié. Pour mettre en relief l'importance de la chose, j'ai repris moi-même ces essais, d'abord sur un grès très pur de l'Infralias des environs de Nancy (Varangéville) soigneusement broyé, puis sur les grains les plus tenus d'un grès de Fontainebleau réduit en poudre très fine et mis en suspension dans l'eau.

Les premiers résultats obtenus sont du reste tout à fait comparables aux précédents. Les seconds mettent en relief l'importance du degré de finesse des éléments.

GRÈS DE L'INFRALIAS (broyé très finement)

Poids de l'essai: 2.997

Opérations successives	1 ^o	2 ^o	3 ^o
Durée de l'expérience.....	1/2 h.	2 h.	2 h.
Quantité dissoute	0,0040	0,0114	0,0092
<i>Silice dissoute %</i>	0,13	0,38	0,31

GRÈS DE FONTAINEBLEAU (sable siliceux)

Portion a. — Poids de l'essai: 1.4542

Opérations successives	1 ^o	2 ^o
Durée de l'expérience.....	1/2 h.	2 h.
Quantité dissoute	0,0742	0,0776
<i>Silice dissoute %</i>	5,10	5,34

Portion b. — Poids de l'essai: 1.5451

Opérations successives	1 ^o	2 ^o
Durée de l'expérience.....	1/2 h.	2 h.
Quantité dissoute	0,0150	0,0058
<i>Silice dissoute %</i>	0,96	0,37

Enfin, j'ai complété ces recherches par des expériences identiques faites sur une *gaize cénomaniennne* des environs de Sainte-

Meneshould, simplement broyée à la maille 200. Voici les données recueillies :

Poids de l'essai: 1 gr. 0574

Opérations successives	1 ^{re}	2 ^e	3 ^e
Durée de l'expérience	1/2 h.	2 h.	2 h.
Quantités dissoutes } SiO ²	0,4698	0,0632	0,0198
} Al ² O ³	0,0058	0,0053	0,0034
Silice dissoute %	44,43	5,98	1,87
Rapport moléculaire $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$)	137,70	20,40	9,90

Ces données montrent qu'à côté d'un minéral renfermant de l'alumine, il existe une variété de silice très soluble dans la soude. Toutes ces recherches permettent de conclure que le quartz anhydre n'est que fort peu attaqué. Seules les particules extrêmement fines sont dissoutes en proportion appréciable par les solutions d'alcalis caustiques.

Par contre, la silice des gaizes est très facilement solubilisée.

FELDSPATH ORTHOSE. — *Action des acides.* — L'orthose, d'après VOGT, n'est pour ainsi dire pas attaqué par les acides sulfuriques, azotiques et chlorhydriques.

Pour mieux vérifier la chose, je n'ai opéré que sur des particules très fines (portions a et b).

Avec l'acide chlorhydrique, j'ai obtenu les données suivantes :

	a)	b)
Poids des essais	1,0170	1,5366
Quantité d'alumine passée en solution.	0,0085	0,0054
Poids du minéral y correspondant. %	4,54	2,93

Avec l'acide sulfurique:

Poids des essais	0,7830	1,4278
Quantité d'alumine passée en solution.	0,0150	0,0093
Poids du minéral y correspondant. %	10,42	3,54

Voici également d'autres données fournies par la portion A d'un cristal d'adulaire du Saint-Gothard (1). Toutefois, les attaques chlorhydriques et sulfuriques furent faites sur la même prise d'essai, l'attaque sulfurique ayant été précédée d'un traitement d'une demi-heure par la solution sodique.

(1) L'échantillon renfermait: SiO²: 65,24; Al²O³: 18,15.

Poids de l'essai: 1.0914

	Quantités dissoutes		Proportion du minéral attaqué
	SiO ²	Al ² O ³	
1. Attaque par l'acide chlorhydrique..		0,0159	8,03 %
2. Traitement par la solution sodique.	0,0678	traces	1,49 %
3. Attaque par l'acide sulfurique.....		0,0090	4,54 %

Les proportions d'éléments détruits au cours de toutes ces opérations sont très faibles comme on l'a admis jusqu'à présent.

Action des alcalis caustiques. — Les alcalis caustiques n'agissent que faiblement. Voici les résultats obtenus par VOGT (1):

Opérations successives	I ^{re}	2 ^e	
Durée de l'expérience.....	1' 5	15'	
Quantités dissoutes {	SiO ²	0,0166	0,0007
	Al ² O ³	traces	traces
Silice dissoute en %.....	0,664	0,028	

soit environ 1 % du minéral.

J'ai, de mon côté, obtenu les données suivantes:

	Portion a		Portion b	
	0,9300		1,0660	
Opérations successives	I ^{re}	2 ^e	I ^{re}	2 ^e
Durée des expériences.....	1/2 h.	2 h.	1/2 h.	2 h.
Quantité de silice passée dans la solution	0,0450	0,0530	0,0128	0,0041
Proportions correspondantes du minéral attaqué	7,31	8,49	1,81	0,58

Comme on le voit, en comparant ces deux séries d'essais, les particules très fines sont beaucoup plus facilement attaquées que les autres; c'est là une constatation semblable à celle que j'ai faite avec le quartz. Cependant la proportion du minéral détruit est faible, puisqu'elle n'atteint pas 10 % dans chaque opération.

FELDSPATHS CALCOSODIQUES. — Toutes les recherches faites sur les feldspaths plagioclases ont montré qu'ils sont d'autant plus facilement attaqués par les acides que leur teneur en chaux est élevée.

(1) G. VOGT. — Mémoire cité, page 196.

Je n'ai pas cru devoir vérifier la chose en détail, d'autant plus que dans les *parties argileuses* des sédiments que j'ai étudiés, je n'ai jamais rencontré de chaux en proportion notable.

MICA MUSCOVITE. — *Action de l'acide chlorhydrique.* — D'après VOGT, « l'acide chlorhydrique, de densité 1,10 (1) chauffé à l'air libre entre 70° et 90° pendant six jours, avec un mica que l'acide sulfurique décomposait totalement, en a dissous 85,1 % ».

En opérant suivant les conditions habituelles sur des poudres de muscovite classées par grosseurs, j'ai obtenu les nombres suivants:

	MUSCOVITE DES VOSGES (2)			MUSCOVITE de Madagascar (3)
	a) au-dessous de μ .	b) de μ à 60 μ .	c) de 60 μ à 150 μ .	a) au-dessous de μ .
Poids des essais.....	0,4263	0,8030	0,7861	0,4606
Poids de l'alumine attaqué...	0,0522	0,0355	0,0149	0,0408
Proportion correspondante. %	32,56	11,75	5,04	23,10

L'acide sulfurique détruit complètement le mica blanc réduit en poudre très fine.

Action des alcalis caustiques. — D'après VOGT (4), « le mica blanc traité par une solution de potasse de densité 1,08 (soit la même concentration 1/10) maintenue pendant un temps plus ou moins long à l'ébullition n'est que fort peu attaquée; la solution potassique obtenue par filtration ne renferme que de faibles quantités de silice et des traces d'alumine; après quelques attaques répétées, la solution ne semble plus agir sur le mica. »

Opérations successives	1 ^{re}	2 ^e	3 ^e	
Durée de l'expérience.....	1' 5	15'	20'	
Quantités dissoutes	$\left\{ \begin{array}{l} \text{SiO}^2 \dots \\ \text{Al}^2\text{O}^3 \dots \end{array} \right.$	0,0245	0,0060	0,0023
		traces	traces	traces
Silice dissoute, pour %.....	0,980	0,240	0,092	

(1) Soit un volume d'acide pour un volume d'eau.

	SiO ²	Al ² O ³	K ² O	H ² O
(2) Analyse de la muscovite des Vosges.....	43.84	37.62	13.21	5.26
(3) Analyse de la muscovite de Madagascar.	42.69	38.34	13.80	5.30
(4) G. VOGT: mémoire cité, page 195.				

J'ai obtenu, avec la portion *a*, pour un poids d'essai de 0,3558 (muscovite de Madagascar):

Opérations successives	1 ^{re}	2 ^e
Durée des opérations.....	1/2 h.	2 h.
Quantité de silice dissoute.....	0,0310	0,0092
Quantité d'alumine dissoute.....	0,0278	0,0083
Proportion du minéral attaqué %	2,15	0,65
Proportion d'alumine solubilisée par rapport à la totalité de l'essai %	0,83	0,25

De ces deux séries d'essais on peut conclure que les solutions d'alcalis caustiques agissent plus énergiquement sur les particules très fines. L'action diminue rapidement avec le temps.

MICAS NOIRS (BIOTITE ET PHLOGOPITE). — A l'état de poudre fine (au-dessous de 20 μ) ces minéraux sont complètement détruits par l'acide chlorhydrique.

KAOLINITE, HALLOYSITE ET ARGILES AMORPHES DE MÊME COMPOSITION. — *Action de l'acide chlorhydrique.* — « VOGT (1) avait déjà constaté qu'en chauffant entre 70° et 90° pendant six jours, avec de l'acide chlorhydrique de 1,10 (2) de densité un kaolin issu des Eyzies, il avait pu en dissoudre 93,4 % . »

J'ai repris ces essais sur une kaolinite très pure de l'Etat d'Utah, due à l'obligeance de M. le professeur MÉRILL et sur un kaolin commun de Saint-Yriex. Ces essais ont porté sur des échantillons broyés et tamisés au-dessous de la maille N° 270, soit sensiblement au-dessous de 60 μ . En voici les résultats:

	Kaolinite	Kaolin de St-Yriex
Poids de l'essai.....	0,8763	0,8958
Quantité d'alumine précipitée.....	0,0327	0,0543
Proportion correspondante du minéral détruit.	9,44	15,85

La proportion de *kaolinite* détruite est légèrement inférieure à 10 % pour les éléments mélangés des portions A et B, alors que la proportion de muscovite attaquée dans les mêmes conditions était un peu supérieure à ce rapport pour la portion B seule (11,48 %).

Ce minéral, en poudre très fine est donc plus attaquable que la

(1) G. VOGT: mémoire cité, page 193.

(2) Soit un volume d'acide pur pour un volume d'eau.

kaolinite, fait constaté en même temps que moi par ZEMJATCHENSKY (1).

L'halloysite pure ou une argile colloïdale de même composition forme l'élément essentiel des argiles réfractaires. La première ne possède pas de structure cristalline bien définie. Ses propriétés optiques la rapprochent cependant de la kaolinite dont elle a la composition. La seconde est entièrement amorphe.

J'ai étudié trois argiles qui m'ont été communiquées aimablement par la COMPAGNIE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION DE FOURS. Les deux premières agissent sur la lumière polarisée, la dernière est entièrement amorphe. Voici les données obtenues au cours de ces recherches :

	Argile de Bedenac	Argile de la Charente-Inf ^{re}	Argile de La Capelle (Gard)
	Portions a et b (2)	Portions a et b (3)	Portions a et b (4)
Poids des essais.....	0,8502	1,6661	0,6276
Alumine dosée.....	0,0180	0,0499	0,0220
Proportion du minéral détruit. %	6,22	7,73	14,31

L'acide sulfurique détruit complètement ces substances.

Action des alcalis caustiques. — VOGT fit quelques essais sur un kaolin du Limousin (5). Il opérait sur « 2 gr. 5 de matière séchée à l'air libre, chauffés avec 100 cent. cubes d'une liqueur alcaline de densité 1,08 (soit une partie de potasse caustique pour neuf parties d'eau) portée à l'ébullition.

Il en tira le tableau suivant :

Opérations successives	1 ^{re}	2 ^e	3 ^e	Quantité dissoute	Total contenu dans ce kaolin
Durée	2' 1/2	30'	2 h.	—	—
Quantités entrées en dissolution :					
Al ² O ³	0,1263	0,1738	0,1581	0,4582	1,2487
SiO ²	0,1120	0,1508	0,1364	0,3992	0,9484
Rapport moléculaire $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ }	1,917	1,955	1,97	1,95	2,24

(1) ZEMJATCHENSKY. — Etudes sur les argiles russes (en russe). Petrograd, 1923.

(2), (3) et (4) Les teneurs en alumine des échantillons étudiés étaient de : (2) 34,06; (3) 38,79; (4) 24,47 correspondant à 62,23 d'argile pure.

(5) G. VOGT. — Mémoire cité, page 195.

La proportion de substance dissoute a donc été au total d'environ 38 %.

J'ai repris ces essais suivant mon procédé habituel sur quelques argiles très pures, broyées au-dessous de la maille 270.

Poids des essais.....	Kaolin de Saint-Yriex		Argile des Eyzies (1)		Argile très pure (Charente-Inf ^{re})		
	1,6314		1,0492		1,1388		
Opérations successives	1 ^{re}	2 ^e	1 ^{re}	2 ^e	1 ^{re}	2 ^e	
Durée des opérations.....	1/2 h.	2 h.	1/2 h.	2 h.	1/2 h.	2 h.	
Quantités dissoutes	SiO ²	0,0206	0,0412	0,0530	0,0552	0,0397	0,0560
	Al ² O ³	0,0176	0,0360	0,0504	0,0400	0,0360	0,0492
Proport. d'alumine solubilisée. %	1,08	2,21	4,38	3,81	3,16	4,32	
Proportion du minéral dissous %	2,70	5,56	11,80	10,26	8,14	11,13	
Rapport moléculaire	$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$						
	1,98	1,95	1,79	2,34	1,87	1,93	

Les rapports moléculaires des éléments passés en solution sont ceux du corps étudié. Les solutions d'alcalis caustiques dissolvent donc une proportion très notable des argiles kaoliniques. C'est un point sur lequel j'aurai à revenir.

PYROPHYLLITE ET MONTMORILLONITE. — Ces deux argiles se présentent sous une forme cristalline qui n'est discernable, à l'œil nu, que dans le premier de ces minéraux.

Action des acides. — Toutes deux, réduites en poudre fine (au-dessous de la maille 270) sont détruites par l'acide sulfurique, mais, pratiquement, l'acide chlorhydrique n'agit que sur la montmorillonite.

Ayant attaqué 0 gr. 9676 d'un échantillon provenant de Montmorillon, j'ai précipité de la solution 0 gr. 1328 d'alumine correspondant à : 62,51 % (2) du minéral.

La *montmorillonite* est donc beaucoup plus facilement attaquée que le *kaolin* par l'acide chlorhydrique.

Ces argiles furent soumises à l'action de la solution de *soude caustique*. Seule une portion notable de la montmorillonite fut dissoute, comme le montre le tableau suivant :

(1) L'argile des Eyzies renfermait 37,11 % d'alumine.

(2) La substance employée renfermait : SiO², 56,68 ; Al²O³, 21,96 ; H²O, 21,23.

	Pyrophyllite (Belgique)	Montmorillonite (Montmorillon)		
		1,1418		
Poids des essais.....	0,9326			
Opérations successives	1 ^{re}	1 ^{re}	2 ^e	
Quantités dissoutes {	SiO ²	0,0052	0,0612	0,0906
	Al ² O ³	0,0022	0,0264	0,0392
Proportion d'Al ² O ³ par rapport à la totalité de l'essai %	0,23	2,31	3,43	
Proportion du minéral attaqué. %	0,83	10,89	15,63	
Rapports moléculaires $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ }	4,03	3,94	3,95	

HYDRARGILLITE, BAUXITE. — BAUER découvrit le premier la présence d'alumine libre dans la latérite des îles Seychelles en 1898 (1). Trois ans après, SCHLOESING père (2), en traitant par une solution diluée, mais bouillante, des terres de culture de Madagascar, y constata la prépondérance de l'alumine par rapport à la silice. VAN BEMMELEN, qui signale ces résultats, étudia l'action de l'acide chlorhydrique sur l'hydrargillite (Al²O³, 3 H²O) cristalline de Ouro-Pieto, Etat de Minas-Géraès (Brésil).

Voici le résumé de ces recherches (3) :

« Réduit en poussière fine, le minéral se dissolvant par chauffage durant un quart d'heure :

Dans l'acide chlorhydrique dilué
puis concentré

I) 40 % (pas de SiO²)

II) 70 % (pas de SiO²)

Dans une solution diluée de potasse
caustique

10 % (traces de SiO²)

24 % (3 % de SiO²)

« Le minéral n'est donc pas insoluble, ni dans l'acide chlorhydrique, ni dans une solution étendue de potasse; mais la vitesse de dissolution dépend à un haut degré de l'état de division. Par contre, le diaspore Al²O³, H²O est insoluble dans les acides. »

Quelques mois après, ARSANDAUX (4) en étudiant la composition

(1) BAUER. — Neues Jahrbuch für Mineralogie u. s. w. 2, 168, 1898.

(2) Th. SCHLOESING. — Recherches sur l'état de l'alumine dans les terres végétales. C. R. A. S., tome 132, page 120, année 1901.

(3) J. M. VAN BEMMELEN. — Contribution à la connaissance des produits de décomposition des silicates dans les terrains argileux, volcaniques et latéritiques (Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles, série II, tome 10, année 1905, page 219).

(4) ARSANDAUX. — C. R. A. S. Sur la composition de la bauxite, tome 148, pages 936 et 1115, année 1909.

de diverses bauxites a constaté que l'alumine de ces roches est en général fort peu attaquable par l'acide chlorhydrique concentré, agissant une heure à la température du bain-marie.

La partie attaquée ainsi, a une composition très voisine de l'hydrargillite. Un hydrate d'alumine renfermant une molécule d'eau pour une molécule d'alumine, et détruit seulement par l'acide sulfurique, forme la partie essentielle des bauxites.

Ces données m'ont paru suffisamment probantes et je n'ai pas jugé utile de les contrôler.

REMARQUE CONCERNANT L'ACTION DE LA SOUDE SUR LES ARGILES

Comme on a pu le constater dans les conditions expérimentales où nous nous sommes placés, VOGT et moi, les solutions d'alcalis caustiques agissent sur les argiles à la façon d'un véritable solvant.

Les rapports moléculaires des portions ainsi solubilisées sont les mêmes que dans les minéraux étudiés. Ces faits sont en contradiction avec les données de BRONGNIART et de MALAGUTI (1) comme l'a fait observer VOGT (2).

D'autre part, SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1861) obtint un silico-aluminate de soude insoluble dans l'eau. Il définit ainsi le mode d'attaque employé par lui pour dissoudre la bauxite à la suite de ses travaux et de ceux de LE CHATELIER, JACQUEMART et P. MORIN.

« Je prépare une solution concentrée à 40 % de soude caustique pure que j'introduis dans un creuset d'argent; j'y verse une quantité déterminée de minerai alumineux préalablement dépouillé de calcaire par la digestion avec de l'acide muriatique faible et bien lavé, et j'évapore lentement jusqu'à consistance de sirop concentré. Le terme *cuite à la soude* dont je me servirai indiquera nettement la nature de cette opération. On peut d'ailleurs sans inconvénient évaporer à sec et calciner à sec le mélange alcalin, ce qui n'est pas inutile dans un essai quantitatif. »

(1) A. BRONGNIART et MALAGUTI. — Deuxième mémoire sur les kaolins ou argiles à porcelaine. C. R. A. S., t. 13, 1841, p. 735.

(2) A. VOGT. — « De la composition des argiles ». Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, mai 1897, reproduit dans les mémoires de la Société, 1906, p. 197.

Dans la suite, SAINTE-CLAIRE DEVILLE eût l'idée d'attaquer par la lessive de soude concentrée la poudre de feldspath orthose, les argiles et le kaolin.

« La cuite prolongée amène une sorte de dissolution de ces matières, sous forme de sirop épais et sans transparence. Lorsqu'on y verse de l'eau, il se produit une véritable décomposition à la manière des sels de bismuth. On peut en effet considérer la matière sirupeuse comme un verre alumineux hydraté et fortement alcalin qui se partage en deux parties par l'action de l'eau. La substance soluble est du silicate de soude sans traces d'alumine; la matière insoluble est un silicate aluminosodique, de composition constante, dont l'analyse m'a donné les résultats suivants :

Silice	44,6
Alumine	26,4
Chaux	0,4
Soude	14,9
Potasse	1,0
Eau par différence.....	12,7
	100,0

« Il est remarquable qu'on arrive toujours au même résultat quand on traite par la cuite à la soude, soit une matière silico-alumineuse avec excès d'alumine comme la bauxite, soit une matière avec excès de silice comme le feldspath. Dans le premier cas, il se dissout un aluminat de soude sans traces d'alumine. Quant au résidu, il est le même dans les deux cas.

Le silicate, insoluble dans l'eau, est, bien entendu, soluble dans les acides. Les argiles, le kaolin se conduisent de la même manière vis-à-vis de la lessive caustique (1). »

Afin d'expliquer cette contradiction apparente entre les résultats de VOGT et les miens d'une part, et les faits constatés par H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE d'autre part, j'ai fait agir la lessive de soude sur de la montmorillonite, mais cette fois sans maintenir constant le niveau de l'eau et en laissant la liqueur s'évaporer lentement sur le bain de sable jusqu'à dessiccation à peu près complète.

(1) H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE. — De la présence du vanadium dans un minéral alumineux du midi de la France. Études analytiques sur les matières alumineuses. Annales de Chimie et de Physique, t. 61, p. 310 et 326, 1861.

Dans ces conditions, la liqueur obtenue en lavant le résidu à l'eau bouillante ne renfermait plus qu'une très forte proportion de silice et seulement des traces d'alumine. Il s'était formé en même temps une substance insoluble dans l'eau, mais qui s'est dissoute à peu près instantanément à froid dans l'acide chlorhydrique étendu d'eau à vingt fois son volume primitif sans laisser aucun résidu.

Les faits constatés par SAINTE-CLAIRE DEVILLE étaient ainsi vérifiés.

Les alcalis en solution agissent donc d'une façon différente sur les argiles, suivant que la liqueur est suffisamment diluée ou qu'elle est desséchée lentement.

Dans le premier cas, il s'agit d'un simple phénomène de dissolution; dans le second cas il y a formation d'un corps nouveau.

MINÉRAUX ACCESSOIRES DES MARNES. — J'ai vérifié également la façon dont se comportent un certain nombre de minéraux accessoires quand on les soumet à l'action des acides et de la solution de soude suivant mon processus habituel.

Tous ces corps furent broyés au-dessous de 60 μ .

Voici les résultats obtenus :

Attaque par l'acide chlorhydrique

Nature du minéral.....	Pyrite cubique Ardennes	Magnétite	Ilménite	Rutile
		p. inconnue	Suède	Piémont
Poids de l'essai.....	0,8717	1,1202	1,3720	0,9105
Poids du résidu.....	0,8525	néant	0,8287	0,9055
Proportion de la substance attaquée.	2,20	la totalité	39,60	0,55

Attaque par l'acide chlorhydrique

Nature du minéral.....	Pyrite cubique Ardennes	Magnétite	Ilménite	Rutile	Zircon
		p. inconnue	Suède	Piémont	p. inconnue
Poids de l'essai.....	1,0372	1,0044	1,1276	0,7090	0,6274
Poids du résidu.....	0,3413	0,0476	0,3458	0,6308	0,6267
Proportion de la substance attaquée.	67,79	(1) totalité	69,33	11,03	0,11

(1) A l'état de FeS².

Action de la solution sodique

Nature du minéral.....	} <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>Rutile</td> <td>Zircon</td> </tr> <tr> <td>Piémont</td> <td>p. inconnue</td> </tr> </table>	Rutile	Zircon	Piémont	p. inconnue	
Rutile		Zircon				
Piémont	p. inconnue					
Poids de l'essai.....	1,0192	1,0297				
Poids du résidu.....	1,0190	»				
Proportion de la substance attaquée.	traces	néant				

On peut conclure de toutes ces données que la *pyrite* n'est pratiquement pas attaquée par l'acide chlorhydrique. Il en est de même pour le *rutile* et le *zircon*. Par contre la *magnétite* est entièrement détruite et l'*ilménite* l'est partiellement.

Tous ces minéraux, à l'exception du *zircon*, sont totalement ou partiellement détruits par l'acide sulfurique.

La solution sodique est sans action sur le *rutile* et sur le *zircon*.

RÉSUMÉ DE TOUTES CES RECHERCHES. — Toutes les données que j'ai établies peuvent être résumées de la façon suivante (1):

L'acide chlorhydrique est absolument sans action sur le *zircon*, le *rutile*, le *quartz* et la *pyrite*. Il agit fort peu sur le *feldspath orthose*, un peu plus sur les *argiles* du type de la *kaolinite*, et ne détruit la *muscovite* dans une assez forte proportion que si les éléments de celle-ci ont une dimension inférieure à μ . Il attaque au contraire facilement la *montmorillonite* et détruit complètement la *biotite* et la *magnétite*.

La plupart de ces minéraux (*argiles*, *micas* et *magnétite*) sont entièrement attaqués par l'acide sulfurique. Cependant la *pyrite* et l'*ilménite* ne sont pas totalement détruites; le *rutile* résiste mieux encore à l'action de cet acide; l'*orthose* est fort peu altéré par lui, le *zircon* et le *quartz* ne le sont pas du tout.

La solution de soude agit différemment sur ces substances. Elle solubilise facilement la silice des *gaïzes*, mais son action sur le quartz est très faible, tout en augmentant avec la finesse des grains. Elle agit un peu plus sur l'*orthose* en poudre très fine et, à degré égal de finesse, détruit plus facilement le *mica* que cette dernière. Enfin elle dissout partiellement la *kaolinite* et surtout l'*halloysite* et la *montmorillonite*.

(1) Voir aussi le tableau qui suit.

Toutes ces données ont été établies comme il a été dit précédemment sur des échantillons broyés au-dessous de μ . ou de 60 μ .

Attaque par l'acide chlorhydrique

	Biotite	Muscovite	Kaolinite	Halloysite	Montmorillonite	Orthose (1)	Quartz
a	totalité	25 à 32 %	10 %	6 à 15 %	62 %	3 à 8 %	néant
b	—	10 à 15 %	—	—	—	2 % env.	—
c	—	5 % env.	—	—	—	—	—

Attaque par l'acide sulfurique

	Biotite	Muscovite	Kaolinite	Halloysite	Montmorillonite	Orthose	Quartz
a	totalité	totalité	totalité	totalité	totalité	8 à 10 %	néant
b	—	—	—	—	—	3 à 4 %	—
c	—	—	—	—	—	—	—

*Attaque par la solution sodique
(durée une demi-heure)*

	Biotite	Muscovite	Kaolinite	Halloysite	Montmorillonite	Orthose	Quartz
a	—	15 %	—	2 à 12 %	8 % env.	7 à 9 %	5 % env.
b	—	—	—	—	—	2 %	1 % à peine
c	—	—	—	—	—	—	—

Or, et c'est là un point important, dans toutes les marnes étudiées, j'ai toujours pu constater au microscope qu'une forte proportion des éléments de *quartz* et de *muscovite* avait une dimension moyenne voisine de 20 μ . et même supérieure.

On peut donc admettre a priori qu'en soumettant un mélange de tels minéraux à l'action de l'acide chlorhydrique, la proportion de chaque substance détruite serait plus faible que celle indiquée au tableau pour des grains d'une dimension inférieure à μ . Dès lors, si par une attaque plus énergique, on détruit ensuite tout le minéral resté précédemment inaltéré, on pourra définir la quantité maxima disparue dans l'opération précédente.

Enfin, on doit admettre que dans un mélange de minéraux susceptibles de donner les mêmes ions, l'attaque des éléments les plus sensibles à l'action d'un acide gênera d'une façon notable la destruction des éléments les moins attaquables.

(1) Suivant l'état d'altération du minéral.

III. - Exposé de la méthode d'analyse déduite des recherches précédentes

En tenant compte de tous les faits qui viennent d'être exposés, on peut maintenant prévoir la façon dont les minéraux mentionnés précédemment se comporteront dans un mélange intime, analogue à ceux que constituent les sédiments étudiés, quand on les attaquera par l'acide chlorhydrique, puis par l'acide sulfurique.

Les argiles du type de la kaolinite, cristallisées ou non, ainsi que le mica blanc, ne seront que très faiblement détruites lors de la première de ces opérations; la montmorillonite le sera en majeure partie, de même que les oxydes de fer. La biotite disparaîtra complètement. L'acide, par contre, n'aura pratiquement aucun effet sur le rutile, l'orthose et même sur la pyrite. L'absence de chaux dans la liqueur, garantira l'absence de feldspaths calco-sodiques. L'ilménite pourra manifester sa présence par la réaction si caractéristique du titane avec l'eau oxygénée. Cette recherche peut être exécutée dans une prise d'essai faite à part, après addition d'acide phosphorique à la liqueur.

Une reprise de quelques minutes par la solution de soude n'attaquera que fort peu les grains de quartz et d'orthose les plus fins; par contre, elle agira énergiquement sur la silice des gaizes. Elle dissoudra une partie notable des argiles et restera sans effet sur le rutile et le zircon. Dès lors, l'analyse de la liqueur obtenue pourra, à elle seule, donner quelques indications sur la présence d'argiles. Une teneur appréciable d'alumine dans la solution serait un indice sérieux de leur existence dans le mélange.

L'acide sulfurique réagira ensuite complètement sur les argiles, le mica, la pyrite et l'ilménite restés dans le résidu, sous réserve

toutefois que ces deux derniers minéraux n'existent qu'à l'état de très fines particules. Dans ces mêmes conditions, le rutile lui-même sera presque entièrement détruit, l'orthose le sera fort peu; le zircon et le quartz resteront entièrement inattaqués.

En reprenant quelques instants par la solution sodique, on ne dissoudra plus pratiquement que la silice. Les rapports moléculaires silice: alumine, dans l'ensemble des deux liqueurs obtenues, devront être très voisins de deux, bien qu'un peu plus élevés par suite d'une légère attaque du quartz par la soude.

Pratiquement, suivant cette hypothèse, on devra trouver un rapport moléculaire alcali: alumine compris entre 0 et 0,33. Il sera d'autant plus élevé que sera forte la proportion de muscovite. La teneur en eau variera en sens inverse.

Le résidu de tous ces essais ne renferme plus que de l'orthose, du quartz et du zircon. L'acide fluorhydrique en présence de l'acide sulfurique permettra de déterminer la proportion de feldspath orthose contenu dans le mélange et d'isoler les zircons (1).

PRINCIPE DE LA MÉTHODE D'ANALYSE EMPLOYÉE

C'est en m'inspirant de ces conclusions que j'ai pu préciser dans le détail une méthode d'analyse rationnelle.

Celle-ci comporte essentiellement :

1° Une opération préliminaire: *un délitage et des lavages de la marne à l'eau bouillante*, suivis d'un tamisage sur toile N° 60, de façon à débarrasser les éléments de la roche des grains de sable de forte dimension et de tous les sels solubles dans l'eau, tels que le gypse et le chlorure de sodium.

2° *Une première attaque faite à l'aide de l'acide chlorhydrique très dilué* pour doser et éliminer les carbonates, l'on obtient ainsi « *un premier résidu chlorhydrique* ».

3° *Une double attaque par l'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau jusqu'à dessiccation complète, à la température du bain-marie bouillant, la capsule de platine plongeant dans l'eau.* Après avoir éliminé par une solution de soude la silice mise en

(1) Ceux-ci n'existent jamais qu'à l'état de traces dans les sédiments.

liberté, le résidu est lavé à chaud de nombreuses fois: c'est le « deuxième résidu chlorhydrique ».

4° On l'attaque alors par l'acide sulfurique à chaud jusqu'à évaporation complète de l'acide. Après lavage, la silice libre est extraite comme précédemment.

5° Le dernier résidu (*résidu sulfurique*) est lavé soigneusement puis traité par l'acide fluorhydrique en présence d'acide sulfurique.

D'après ces essais, chaque roche sera donc décomposée en quatre parties:

La première portion se compose de carbonates: je l'ai appelée *portion A*.

La deuxième comprend un ou plusieurs silicates facilement attaquables par l'acide chlorhydrique: c'est la *portion B*.

La troisième est formée de silicates que seul l'acide sulfurique décompose facilement: c'est la *portion C*.

La dernière ne comporte que des éléments inattaquables par ces acides: c'est le *résidu sulfurique ou portion D*.

Remarque relative à l'emploi de la soude. — Pour extraire la silice mise en liberté par chaque attaque, j'ai employé une solution de soude au 1/10^e en ne la laissant que cinq à six minutes en contact avec la substance à la température de 50 à 60°. La très faible quantité d'alumine qui a pu être mise ainsi en liberté (au maximum 0 gr. 0050) était rapportée à l'essai précédent.

J'ai préféré utiliser une solution d'alcali caustique plutôt qu'une solution d'alcali carbonaté, parce que l'emploi de cette dernière est des plus délicats, très souvent la silice se précipite au cours des filtrations et les avantages purement théoriques que l'on peut retirer de l'emploi des carbonates alcalins ne compensent pas suffisamment les difficultés inhérentes à cette pratique.

Les solutions d'alcalis caustiques agissent en effet très peu sur le quartz en présence de l'argile. VOGT rend compte des essais qu'il fit dans ce sens (1). Ayant mélangé « 80 portions d'argile de Condé (2) et 20 de quartz broyé », il fit bouillir le tout avec une

(1) G. VOGT. — Mémoire cité, page 196.

(2) Cette argile était formée presque entièrement d'halloysite et pour le reste d'alumo-silicates alcalins et de quartz.

solution de potasse (de densité 1,08). Il obtint les résultats suivants au bout de 2 minutes 1/2 :

Quantité dissoute :	{	SiO ²	0,0762
		Al ² O ³	0,0623
Rapport moléculaire :		$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3} =$	2,07.

Alors que l'argile seule donnait dans les mêmes conditions le rapport 2,02.

LAVEZARD fit à ce sujet des expériences analogues : « On pourrait craindre, écrit-il, lors de la dissolution dans la soude caustique de la silice provenant de la décomposition des silicates, que des quantités appréciables de quartz ou de feldspath soient attaquées. Pour vérifier s'il en est ainsi, j'ai fait deux attaques comparatives. Dans l'une, la silice soluble provenant de la décomposition des silicates a été traitée par la soude, et dans l'autre, par le carbonate de sodium, le résidu sableux insoluble n'a été que de 0,3 % supérieur à celui obtenu par la soude caustique. C'est là une différence inférieure à l'exactitude qu'on peut espérer dans ce procédé d'analyse.

« De plus, quand on se sert de carbonate de sodium pour séparer la silice du quartz et du feldspath, non seulement la dissolution de la silice se fait avec lenteur, mais encore, si l'on n'a pas soin de filtrer très chaud et vite, la solution peut, par refroidissement, se gélatiser et arrêter la filtration ; avec la soude caustique au contraire, ces inconvénients ne sont pas à redouter et la dissolution de la silice se fait presque instantanément, c'est pourquoi nous avons choisi la soude, de préférence au carbonate de sodium, comme du reste SEGER l'avait fait (1). »

En réalité, lors de ces traitements par une solution de soude, la plus grosse difficulté consiste à éviter tout entraînement de fines particules de quartz par la liqueur. Celles-ci y restent très facilement en suspension et traversent les meilleurs filtres, causant ainsi de petites erreurs dans le dosage de la silice dont le pour cent est alors un peu trop fort.

(1) E. LAVEZARD. — Contribution à l'étude des argiles de France. Mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, année 1906, page 117.

AUTRE MODE D'UTILISATION DE LA LIQUEUR SODIQUE

L'emploi de la liqueur sodique peut permettre également de révéler la présence de l'opale (telle que l'opale des gaizes) ou d'argile dans les sédiments étudiés. En faisant agir ce réactif sur ces roches à plusieurs reprises et pendant des temps suffisants, Vogt a pu préciser davantage les conclusions qu'il tirait de ses recherches. J'ai eu également recours à cette pratique dans un certain nombre de cas. Elle s'impose même pour la préparation des prises d'essai des gaizes.

EMPLOI DU MICROSCOPE

Dans tous les cas, je me suis servi du microscope pour guider mes recherches chimiques, pour en contrôler les données et en interpréter plus sûrement les résultats. Ces travaux ont été faits en majeure partie au Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Nancy, qui a été mis aimablement à ma disposition par les divers titulaires de cette chaire, en particulier par M. le Professeur LONGCHAMON. Je tiens à les en remercier ici et tout spécialement MM. les Professeurs MAUGUIN et DUFFOUR qui ont bien voulu me guider au début de ces recherches.

Mes examens ont porté sur la matière première et sur les divers résidus d'attaque.

J'ai pu ainsi, grâce au procédé de LEMBERG, vérifier la présence de calcite et même parfois de dolomite en proportion importante dans la plupart des roches.

Dans le résidu de la première attaque, j'ai constaté d'une façon générale la présence d'une substance crypto-cristalline. Les pétrographes lui ont donné le nom de *phylite*. L'acide chlorhydrique en attaque une partie. C'est à celle-ci seule que je réserverai provisoirement ce nom en excluant ainsi de sa composition tous les minéraux qu'elle enrobe. Elle constitue l'élément essentiel des marnes et la facilité avec laquelle l'acide chlorhydrique la détruit suffit déjà à la distinguer des argiles comme le montre le tableau qui suit :

Proportion des diverses parties silicatées attaquables par les acides	Marne verte du Keuper de Varangéville	Marne grise Lias supérieur (Piennes)	Marne verte du Sannoisien de Romainville	Kaolinite	Argile pure
Par l'acide chlorhydrique.....	91,49	66,08	83,20	9,44	15,85
Par l'acide sulfurique seul.....	8,51	33,92	16,80	90,56	84,15

Comme on le verra dans la suite, j'ai pu prouver que ces phyllites diffèrent encore totalement des argiles par leur composition chimique; LES ALCALIS Y FIGURENT POUR UNE PART, LA MAGNÉSIE ET SURTOUT LES OXYDES DE FER EN SONT LES ÉLÉMENTS ESSENTIELS. Leurs propriétés m'ont conduit finalement à les considérer comme étant des variétés de BRAVAISITE.

Le microscope m'a permis également de reconnaître dans tous les sédiments, la présence de paillettes de *mica blanc* et de mesurer le diamètre moyen des plus grosses. Ce mica est toujours accompagné de *rutile* et d'*ilménite*. L'ensemble constitue la *portion C* attaquant seulement par l'acide sulfurique.

Dans le résidu de cette attaque (*portion D*) à côté du quartz facilement discernable dans la roche primitive, j'ai pu reconnaître assez souvent d'une façon indiscutable, la présence de grains d'*orthose* dont le diamètre moyen *dépassait* toujours 20 μ .

Enfin, dans quelques cas, j'ai pu identifier la présence de *pyrite* et d'*opale*, celle-ci d'origine biologique; ce sont là des faits sur lesquels j'aurai à revenir.

REMARQUE SUR L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ANALYTIQUES DE LA PORTION B

La présence de tous ces minéraux dans les résidus argileux des marnes paraît pouvoir fausser dans une certaine mesure l'interprétation des résultats analytiques de la portion B: on peut attribuer ainsi à la composition de la phyllite une petite proportion d'éléments chimiques provenant d'autres minéraux (en particulier de mica blanc et d'argile du groupe de la kaolinite). Jusqu'ici des considérations théoriques seules m'avaient fait admettre que les

attaques par l'acide chlorhydrique ont très peu d'action sur ces derniers minéraux (1) quand ceux-ci sont enrobés dans une forte proportion de phyllite.

Des expériences m'ont permis de constater que cette action est à peu près nulle et que la phyllite est seule détruite par ces attaques.

Je suis arrivé à cette conclusion en traitant par l'acide chlorhydrique, suivant le processus qui vient d'être exposé, deux résidus argileux bien différents, provenant l'un d'une *dolomie marneuse du Keuper* (échantillon n° 6), l'autre d'une *marne sannoisienne de Fresnes* (échantillon n° 20). D'après mes recherches, ces substances avaient les compositions suivantes :

	Echantillon n° 6 (Laneuveville- devant-Bayon)	Echantillon n° 20 (Fresnes)
Portion B attaquée par l'acide chlorhydrique.	29.9	42.4
Portion C... {	Halloysite	néant
	Mica blanc	17.3
	Ilménite, rutile	0.8
Portion D: orthose, quartz, zircon.....	52.0	37.0

J'ai divisé chacune d'elles en trois lots d'importance comparable, séparés par temps de chute, chacun d'eux étant formé d'éléments de plus en plus fins, déposés: les premiers avant quinze minutes, les deuxièmes entre quinze minutes et quatre heures, les derniers et les plus fins par conséquent, comprenant toutes les particules restées en suspension après ce temps. Ces opérations ont été faites dans une grande éprouvette à pied munie d'un robinet à sa partie inférieure et renouvelées plusieurs fois sur chaque portion recueillie.

Les éléments se classent ainsi d'après leur degré de finesse. Or, leur facilité d'attaque varie dans le même sens: ceci a été vérifié en particulier pour le mica blanc et même pour l'argile (2).

(1) Page 41.

(2) Je l'ai constaté également dans deux expériences annexes faites sur des éléments de ces minéraux, classés eux aussi au préalable par temps de chute croissant et de la même façon.

	Partie déposée avant 15'	Partie déposée entre 15' et 4 h.	Partie déposée après 4 h.	
<i>Argile amorphe très pure 'Charente-Infér.)</i>	Partie attaquée par l'acide chlorhydrique %	7.63	7.78	8.07
	Partie dissoute lors du la- vage sodique %	1.34	1.65	2.60
	Total %	8.97	9.43	10.67
	<i>Mica blanc (Vosges)</i>	Partie attaquée par l'acide chlorhydrique %	8.82	17.3

Indépendamment de ce fait, il est bien évident que si la proportion de mica blanc et d'argile va en croissant dans les diverses portions recueillies, en même temps qu'augmente le degré de finesse de leurs éléments, l'analyse des phyllites de ces portions devra pour cette raison encore, donner des rapports moléculaires variables qui se rapprocheront de plus en plus de ceux de la muscovite et de la kaolinite. En particulier, les rapports silice : alumine et surtout magnésie : alumine iront en diminuant, puisque dans les deux minéraux cités, ces rapports sont respectivement de 2 pour le premier et de près de 0 pour le second, la teneur en magnésie étant très faible dans le mica blanc et nulle dans la kaolinite.

Les tableaux qui suivent donnent précisément les résultats des analyses partielles faites sur les diverses portions obtenues en partant des échantillons cités.

Ces tableaux montrent que malgré des variations assez fortes dans les compositions de B et de C (les portions C étant formées ici uniquement de mica) les rapports caractéristiques ne varient pas dans l'échantillon n° 6.

Il en est de même pour la *marne de Fresnes* dont les parties les plus fines renferment cependant une très forte proportion d'argile et de mica (36.35 de ces éléments contre 54.4 de phyllite, alors que dans le premier dépôt, cette proportion n'est que de 10.2 pour 30.3). Les très faibles écarts constatés en effet pour cette marne dans le rapport alcalis : alumine sont trop peu importants pour pouvoir être attribués d'une façon certaine à la présence d'argile dans la substance. Pour expliquer ces résultats il suffit d'admettre que les éléments de mica ou d'argile, même très fins, restent enrobés plus ou moins complètement dans la phyllite qui empêche ainsi leur attaque. Cette hypothèse est d'ailleurs conforme aux données du microscope.

Par contre, un écart notable existe entre la composition des deux premières portions D de la marne de Fresnes et la dernière de ces portions. La teneur en alcalis est plus faible dans celle-ci, tandis que la proportion d'eau y est plus forte ; celle de la silice est également un peu plus élevée. Ce fait s'explique très facilement si l'on admet que l'argile se concentre avec les éléments les plus fins, en même temps qu'un peu d'opale d'origine biologique dont la présence est signalée plus loin (1).

(1) Page 361.

LANEUVILLE-DEVANT-BAYON (échantillon N° 6)

Proportion des divers composants du résidu argileux
(Premier résidu chlorhydrique)

	Dépôt de O à 15 m.	Dépôt de 15 minutes à 4 heures	Resté en suspension après 4 h.	Dans l'ensemble du résidu (1)
Proportion de chacun des dépôts..	15,10	33,40	51,50	
Portion B: Phyllite	24,2	23,2	39,1	29,9
{ Halloysite	néant	néant	néant	néant
Portion C: { Mica blanc	9,35	15,5	19,3	17,3
{ Ilménite, rutile	0,5	1,0	1,1	0,8
Portion D: Orthose, quartz, zircon.	65,95	60,3	40,5	52,0

Analyse des parties attaquées par l'acide chlorhydrique (Portion B)

SiO ²	48,85	47,91	47,27	48,20	
Al ² O ³	19,21	19,84	20,18	20,14	
FeO	11,10	11,49	11,24	11,20	
CaO	faibles tr.	néant	faibles tr.	faibles tr.	
MgO	6,17	6,49	6,18	6,07	
K ² O	5,18	5,16	5,58	5,27	
Na ² O	1,65	1,50	1,64	1,56	
H ² O	7,49	7,60	7,91	7,56	
Rapports moléculaires	SiO ²	4,32	4,10	3,98	4,07
	Al ² O ³				
	Bases				
	Al ² O ³	2,07	2,06	2,00	1,96
	MgO				
	Al ² O ³	0,81	0,83	0,78	0,76
	K ² O, Na ² O				
	Al ² O ³	0,43	0,40	0,43	0,41
	H ² O				
	Al ² O ³	2,21	2,17	2,23	2,16

Analyse des parties attaquées seulement par l'acide sulfurique (Portion C)

SiO ²	45,39	46,74	45,10	46,22	
TiO ²	2,86	4,03	3,19	2,64	
Al ² O ³	32,23	31,84	33,25	34,03	
Fe ² O ³	2,20	2,26	2,42	1,92	
CaO	traces	traces	traces	0,07	
MgO	1,21	1,21	1,24	1,61	
K ² O	7,15	7,02	7,13	6,40	
Na ² O	1,47	1,61	1,70	1,23	
H ² O	7,49	5,28	5,99	5,86	
Rapports moléculaires	SiO ²	2,39	2,49	2,30	2,31
	Al ² O ³				
	K ² O, Na ² O				
	Al ² O ³	0,32	0,32	0,32	0,26
	H ² O				
Al ² O ³	1,32	0,94	1,02	0,97	

(1) Ces nombres ont été trouvés en partant de la prise d'échantillon étudiée pages 577 et 578.

FRESNES (échantillon N° 20)

Proportion des divers composants du résidu argileux
(Premier résidu chlorhydrique)
(Après tamisage sur toile N° 60)

	Dépôt de 0 à 15 m.	Dépôt de 15 minutes à 4 h.	Resté en suspension après 4 h.	Dans l'ensemble du résidu (1)
Proportion de chacun des dépôts..	30,2	28,1	41,7	
Portion B: Phyllite	30,3	36,1	54,40	42,4
Portion C: {	Halloysite	néant	15,85	5,1
	Mica blanc	10,2	21,7	13,5
	Ilménite, rutile	0,8	1,8	2,0
Portion D: Orthose, quartz, zircon.	58,7	40,4	6,90	37,0

Analyse des parties attaquées par l'acide chlorhydrique (Portion B)

SiO ²	52,76	52,08	54,00	52,92	
Al ² O ³	16,99	17,15	17,10	16,28	
FeO, MnO	12,07	12,07	12,40	12,68	
CaO	néant	néant	néant	néant	
MgO	4,61	4,99	4,67	4,48	
K ² O	5,61	5,64	5,29	5,85	
Na ² O	1,29	1,27	0,59	1,27	
H ² O	6,68	6,94	5,96	6,51	
Rapports moléculaires {	SiO ²				
	Al ² O ³	5,28	5,16	5,37	5,52
	Bases				
	Al ² O ³	2,12	2,21	2,12	2,15
	MgO				
	Al ² O ³	0,69	0,74	0,69	0,70
	K ² O, Na ² O				
	Al ² O ³	0,48	0,48	0,39	0,52
	H ² O				
	Al ² O ³	2,23	2,29	1,98	2,26

Analyse des parties attaquées seulement par l'acide sulfurique (Portion C)

SiO ²	46,68	46,64	49,57	46,47	
TiO ²	5,84	5,89	5,22	6,14	
Al ² O ³	31,46	31,04	29,91	31,11	
Fe ² O ²	1,33	1,47	0,86	0,90	
CaO					
MgO	0,53	0,47	0,73	0,39	
K ² O	5,84	5,89	4,00	4,63	
Na ² O	1,59	1,53	0,84	1,50	
H ² O	6,73	7,07	8,88	7,68	
Rapports moléculaires {	SiO ²				
	Al ² O ³	2,52	2,55	2,82	2,54
	K ² O, Na ² O				
	Al ² O ³	0,30	0,30	0,20	0,24
	H ² O				
Al ² O ³	1,21	1,29	1,68	1,47	

(1) Ces nombres ont été trouvés en partant de la prise d'échantillon étudiée pages 630, 631, 632

Préparation des échantillons - Modes opératoires employés pour les analyses - Calculs des éléments minéralogiques

Je terminerai ce chapitre en exposant la pratique de chacun des essais fractionnés et des opérations analytiques s'y rapportant. Toutefois, je n'insisterai que sur les modes de dosage les plus délicats.

Préparation des échantillons. — Afin d'éviter toute fragmentation par broyage des éléments les plus gros inclus dans la roche, celle-ci est délitée lentement dans l'eau, jusqu'à une dimension inférieure à la maille N° 60, soit environ 0 m/m 280. Pour cela, après séchage à l'étuve à 108°, la substance est délayée dans l'eau, puis le tout est mis à bouillir pendant quelques minutes. On tamise ensuite les produits les plus fins en s'aidant au besoin du doigt, on sèche le résidu et l'on recommence jusqu'à ce que seuls, les éléments minéralogiques bien homogènes restent sur la toile. On les met de côté pour examen le cas échéant et l'on achève les opérations préliminaires en recueillant par décantation et séchage, les fines particules argileuses. En opérant ainsi, les sels solubles sont éliminés dans l'eau. On sèche jusqu'à poids constant une prise d'essai de 2 à 3 gr.

DOSAGE DES CARBONATES. — Pour doser les carbonates, on attaque cette prise d'essai par 50 cc d'acide chlorhydrique de densité 1.10 étendu à 20 fois son volume primitif.

Contrairement à la pratique de certains auteurs, j'ai préféré l'emploi de l'acide chlorhydrique étendu à celui des acides organiques. Ceux-ci en effet agissent sur la partie silicatée des marnes, ce qui rend d'autant plus illusoire l'avantage que l'on croit retirer de cette façon d'opérer, que souvent l'attaque de certains sédiments dolomitiques se fait mal.

L'opération est faite à froid et dure ordinairement 24 heures pendant lesquelles la substance est de temps en temps remise en suspension. Pour plus de sûreté, on termine en chauffant quelques minutes à la température du bain-marie bouillant. Le résidu est ensuite lavé par décantation avec de l'eau renfermant 0.5 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque par litre, car si l'on opérerait avec de

l'eau pure, les parties les plus tenues pourraient rester indéfiniment en suspension.

Dans les filtrats, après insolubilisation de la silice, on dose l'alumine, l'oxyde ferrique, la chaux et la magnésie.

Les bases alcalino-terreuses sont isolées des premières par des précipitations ammoniacales en liqueurs azotiques, en prenant les précautions exposées dans le paragraphe suivant. La chaux et la magnésie sont séparées par l'oxalate d'ammoniaque, suivant le procédé habituel. Enfin, les métaux alcalins, le cas échéant, sont pesés à l'état de chlorures. Le dosage de l'acide carbonique est plus délicat ; la méthode de la perte au feu, si soigneusement appliquée qu'elle soit, ne peut donner que des résultats imprécis. Elle comprend naturellement deux opérations portant, l'une sur la totalité de la matière essayée, l'autre sur un résidu de l'attaque préparé à cet effet. Mais, comme il est à peu près impossible d'éliminer les carbonates sans détruire en même temps un peu de la matière argileuse, le chiffre correspondant à la perte au feu du résidu est forcément trop faible.

La méthode la plus exacte consiste à attaquer à chaud la substance dans un ballon où l'on fait arriver lentement de l'air parfaitement exempt de CO^2 . Le mélange gazeux provenant de l'attaque est débarrassé à l'aide d'un réfrigérant de toute trace d'acide chlorhydrique, puis séché. L'acide carbonique est ensuite absorbé dans des tubes à potasse tarés.

Dans quelques cas, il convient également de doser l'acide sulfurique combiné, opération qui se fait très simplement sur une prise d'essai spéciale par le procédé au chlorure de baryum.

Calcul des éléments. — Le départ entre la *calcite*, la *dolomite* et, le cas échéant, le *gypse*, a été établi en partant du dosage volumétrique de l'acide carbonique. Celui-ci était rapporté d'abord à la chaux, et l'excès seulement à la magnésie.

En se basant sur les nombres ainsi obtenus, la proportion de *dolomite* a été définie par prélèvement sur la totalité du carbonate de calcium d'une quantité moléculaire équivalente au carbonate de magnésium. Cependant, dans quelques cas, une partie du gypse a résisté aux lavages. Aussi, avant tout autre calcul sur la portion A, j'ai compté d'abord l'acide sulfurique à l'état de *sulfate de calcium*.

PORTION B OU PARTIE ATTAQUABLE PAR L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Le produit de l'attaque répétée du premier résidu chlorhydrique par l'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau est repris plusieurs fois à chaud par de l'acide chlorhydrique très étendu (à 20 fois son volume d'eau) jusqu'à épuisement complet de la substance et la liqueur (liqueur B) est insolubilisée (1). Le résidu est traité deux fois pendant 5 à 10 minutes par 50 cc de la solution sodique à la température de 50 à 60°. Il est ensuite lavé plusieurs fois par décantation à l'eau chaude puis à l'acide chlorhydrique très étendu. Les filtrats obtenus ainsi sont insolubilisés à part suivant le procédé qui vient d'être indiqué, la silice est recueillie et dosée avec la silice provenant de la liqueur B.

Celle-ci est additionnée d'environ 2 cc d'acide azotique et l'on y précipite, par l'ammoniaque, l'alumine et le peroxyde de fer, après oxydation par l'eau oxygénée.

L'emploi de ce réactif a pour but de faciliter l'entraînement des traces d'oxyde de manganèse par l'hydrate ferrique et l'acide azotique d'empêcher l'entraînement de la magnésie par l'alumine.

Le précipité formé est dissous à nouveau dans l'acide chlorhydrique étendu de quatre fois son volume d'eau et reprecipité dans les mêmes conditions.

En opérant ainsi on rend négligeable la proportion de magnésie entraînée par l'hydrate ferrique et l'alumine.

Dans le cas de substances particulièrement riches en métaux alcalino-terreux, ce mode opératoire est même renouvelé une troisième fois. Les filtrats ammoniacaux réunis sont mis à évaporer dans une capsule de quartz, après précipitation de la chaux par l'addition d'un peu d'oxalate d'ammoniaque.

(1) Chaque insolubilisation était faite de la façon suivante: la liqueur chlorhydrique additionnée de quelques gouttes d'une solution de chlorhydrate d'ammoniaque au dixième était évaporée à sec au bain-marie, le résidu était ensuite imbibé d'acide chlorhydrique pur; puis au bout de deux heures, j'y ajoutais 50 à 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique au quart et j'évaporais de nouveau à sec au bain-marie. Le résidu était chauffé pendant deux heures à l'étuve à 105°-108°. La silice était ensuite recueillie, lavée et calcinée.

Après un certain nombre d'essais divers, j'ai préféré faire la séparation de l'alumine et des oxydes de fer et de manganèse à l'aide d'une solution de soude. Les oxydes de manganèse n'existent jamais qu'en faible quantité dans les sédiments et pratiquement ils sont entièrement entraînés par l'hydrate ferrique. La méthode réussit assez bien si on a soin de la répéter, de n'opérer qu'avec un faible excès d'alcali et d'attendre que la liqueur sodique soit entièrement refroidie après une ébullition de quelques minutes. Le manganèse et le fer sont séparés par la méthode des acétates. L'alumine est dosée par précipitation à l'ammoniaque.

Les résidus des filtrats ammoniacaux, après avoir été chauffés dans une capsule de quartz jusqu'au départ complet des sels volatils, sont additionnés ensuite de quelques gouttes de la liqueur de SCHAFFGOTH (1), on évapore de nouveau à sec, on calcine légèrement et on reprend par un demi-centimètre cube de la même liqueur. Au bout de 24 heures le précipité recueilli est lavé à l'aide de cette solution. Le carbonate de magnésie est traité sur filtre par de l'acide chlorhydrique étendu et dans le filtrat la magnésie est dosée à l'état de pyrophosphate. Les eaux ammoniacales provenant du lavage sont évaporées dans une capsule de platine et l'on y dose le potassium à l'état de perchlorate. L'alcool obtenu au lavage de ce dernier précipité renferme le sodium et des traces de magnésium à l'état de perchlorates. Le tout est évaporé. Les perchlorates sont transformés à chaud en sulfates par addition de quelques gouttes d'acide sulfurique. On sèche et on pèse, puis on reprend par l'eau et dans la solution, on dose le peu de magnésie restante. Par différence on obtient la teneur en soude. Cette modification au procédé habituellement employé pour doser ce dernier corps m'a seule permis d'obtenir des résultats véritablement concordants dans ce genre d'opération particulièrement délicate.

(1) La liqueur de SCHAFFGOTH s'obtient en dissolvant 250 grammes de carbonate d'ammoniaque dans 360 centimètres cubes d'ammoniaque, de densité 0.92 et en complétant le volume à un litre, avec de l'eau distillée.

J'ai essayé également d'effectuer la séparation de la magnésie et des alcalis en employant l'eau de baryte. Ce procédé m'a donné de moins bons résultats. C'est ainsi que j'ai dû constater que les premiers nombres fournis par moi sur la composition de quelques marnes d'Alsace n'étaient pas exacts, une partie de la magnésie ayant été comptée comme soude. Cependant l'interprétation des données n'en reste pas moins bonne.

Dans cette portion, *le fer a été compté entièrement à l'état de protoxyde*, car c'est sous cette forme que ce métal paraît avoir existé primitivement dans tous les silicates que ne teinte pas en rouge un hydrate ferrique de seconde venue. Ainsi que je l'expose plus loin, j'ai pu mettre ce fait en évidence dans quelques sédiments, mais la rapidité avec laquelle les phyllites s'altèrent à l'air, ne m'a pas permis d'y faire une distinction entre les oxydes ferreux et ferriques.

PORTION C OU PARTIE ATTAQUABLE PAR L'ACIDE
SULFURIQUE SEUL

Le résidu des attaques chlorhydriques (2^o résidu chlorhydrique ou résidu micacé) est lavé à chaud, par décantation à l'eau d'abord puis à l'aide d'une solution légèrement acide, puis de nouveau à l'eau distillée. Il est important de répéter ces opérations un grand nombre de fois pour éliminer entièrement les traces de soude provenant du premier traitement alcalin, sous peine de fausser l'analyse du résidu.

Celui-ci est séché et taré. On l'attaque ensuite à la température de 100° environ par l'acide sulfurique étendu de neuf fois son volume d'eau et l'on évapore au bain de sable jusqu'à siccité.

La masse est alors traitée à chaud par l'acide chlorhydrique (étendu de son volume d'eau) jusqu'à épuisement complet (liqueur C).

On reprend le résidu par la solution sodique pour en extraire la silice mise en liberté et pour doser celle-ci.

Après insolubilisation de la silice contenue dans la liqueur C et après avoir repris le résidu obtenu ainsi par l'acide chlorhydrique étendu, on traite cette solution par l'ammoniaque, en présence de quelques gouttes d'acide azotique. Comme précédemment, cette opération est répétée une fois. Après avoir dissous à nouveau le précipité une dernière fois à chaud dans l'acide sulfurique très étendu (un volume d'acide pour quatre volumes d'eau) on le neutralise presque complètement et la solution est mise à bouillir pendant trois heures en maintenant le niveau de l'eau constant et en y ajoutant de temps en temps quelques gouttes d'une solution d'acide sulfureux pour réduire l'oxyde ferrique qui pourrait se former.

Dans ces conditions l'acide titanique est totalement insolubilisé.

Si l'on craint qu'il ait entraîné un peu d'alumine on peut dissoudre à nouveau le précipité dans l'acide sulfurique étendu, en calcinant au besoin le filtre. Le résidu obtenu de cette façon est alors fondu avec du bisulfate de potasse qu'on dissout ensuite dans l'eau. Dans les liqueurs obtenues ainsi, on dose l'acide titanique par la méthode colorimétrique. Une précipitation à l'ammoniaque pratiquée sur le liquide coloré permet de déterminer ensuite par calcination et pesée le peu d'alumine entraînée qui est ainsi dosée par différence.

Dans le filtrat, on sépare et on dose comme précédemment l'alumine et l'hydrate ferrique.

Les solutions ammoniacales sont évaporées et calcinées.

Suivant le procédé classique on transforme ensuite les sulfates en chlorures à l'aide du chlorure de baryum. L'excès de ce sel est précipité ensuite par la liqueur de SCHAFFGOTH (1). Dans la solution des chlorures alcalino-terreux et alcalins obtenus ainsi, on dose chaque élément suivant le procédé indiqué précédemment.

Dans les sédiments pyriteux, le soufre a été dosé ici (2) à l'état de sulfate.

Calcul des éléments. — Comme on l'a vu, la portion C est en général formée presque exclusivement de *mica blanc*. L'examen microscopique permet d'y reconnaître la présence d'un peu de rutilé, d'*ilménite* et parfois de *pyrite*. Ces deux derniers sont les seuls minerais de fer qui aient pu résister, le premier en majeure partie, le second en totalité, à l'action de l'acide chlorhydrique. Dans mes calculs, j'ai donc en premier lieu saturé le soufre de fer, puis le reste de celui-ci a été compté à l'état de minerai titanifère sans que j'ai pu toutefois définir les proportions exactes des quantités d'acide titanique ainsi combiné, ou libre sous forme de rutilé et même d'anatase, la composition chimique des minerais de fer titanifères étant très variable.

Il est bien évident toutefois qu'une petite portion de fer peut

(1) Il est bon de peser avant les sulfates, de façon à n'employer qu'un très faible excès de chlorure de baryum pour éviter un entraînement de magnésie ou de potasse lors de la précipitation de l'excès de ce sel.

(2) La pyrite, inattaquable par l'acide chlorhydrique, passe entièrement dans la portion C (voir chapitre II, page 541).

entrer dans la composition des micas; mais l'erreur commise de ce fait, ne peut être bien grande, la teneur en oxyde ferrique ne dépassant que très rarement 2 % dans la portion C.

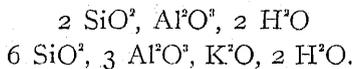
En déduisant alors de la partie détruite par l'acide sulfurique ces trois minéraux (pyrite, ilménite et rutile) on obtient par différence la teneur en *mica* et *kaolin* du résidu des attaques chlorhydriques étudié. Dans le calcul de la perte au feu de ce résidu, il convient de tenir compte de l'oxydation de la pyrite, lors de l'essai. La quantité de matières volatiles à retrancher doit être établie d'après la relation suivante: à 2 FeS^2 (poids moléculaire 239.68 dont 128 pour S) correspond Fe^2O^3 (poids moléculaire 159.68) la perte au feu est donc de 80 pour 128 de soufre, soit 62.50 % de la teneur en soufre.

Dans un certain nombre de cas, j'ai eu à évaluer la quantité d'argile comptée arbitrairement à l'état d'*halloysite* (1). Cette détermination ne peut être établie que d'une façon assez imprécise par suite des écarts existant entre la composition des diverses variétés de muscovite (2).

Pour ce calcul, je m'en suis tenu au rapport moléculaire théorique alcalis: alumine = 0,33 qui très souvent n'est pas atteint dans les micas blancs. Aussi, la proportion d'argile pure évaluée de cette façon est certainement trop élevée dans la plupart des cas, bien qu'elle reste malgré tout très faible dans l'ensemble du sédiment.

Je n'ai pas tenu compte dans ce calcul de la très faible proportion de silice libre solubilisée lors de l'attaque sulfurique et j'ai admis que l'excès de cet élément chimique trouvé à l'analyse provient tout autant du mica que de l'*halloysite*. Aussi, après avoir établi la proportion totale de ces deux minéraux dans le sédiment (déduction faite de l'acide titanique et du peroxyde de fer) j'ai calculé de la façon suivante les rapports moléculaires de chacun d'eux, en partant du rapport moléculaire alcali: alumine.

Supposons qu'il est égal à 0.24. Les formules de l'*halloysite* et de la muscovite pouvant s'écrire respectivement:



(1) L'argile rencontrée ne paraît pas agir sur la lumière polarisée, elle serait donc amorphe, ce qui la distinguerait de l'*halloysite*.

(2) Voir à ce sujet le tableau qui figure à la fin de ce chapitre.

Soit X et Y les proportions moléculaires de ces deux corps dans le mélange. Du rapport 0.24, on tire les équations :

$$Y = 24$$

$$X + 3 Y = 100.$$

Les rapports moléculaires des deux minéraux dans le mélange sont donc pour le mica blanc : 24 ou mieux 72 (suivant la formule : 2 SiO_2 , Al_2O_3 , $1/3 \text{ K}_2\text{O}$, $2/3 \text{ H}_2\text{O}$, communément admise), et pour l'halloysite : 28.

Les rapports en poids sont de :

$$28 \times 258.80 (1) = 72.464$$

$$\text{et : } 72 \times 266.20 = 191.664$$

et les proportions des deux minéraux dans le mélange sont, pour un total de 15.08, de 4.14 et de 10.94.

PORTION D

Le résidu de l'attaque sulfurique resté dans la capsule est repris et lavé à l'acide chlorhydrique très étendu, puis séché et pesé. On en détermine la perte au feu qui est due à la présence de matières organiques. Le filtre ayant servi à filtrer les solutions est incinéré et le poids de ses cendres est compté avec la portion principale.

L'ensemble est formé en majeure partie de *quartz* accompagné d'*orthose* et de *zircon* et quelquefois aussi de paillettes de *mica blanc* ayant échappé à l'attaque précédente.

On peut doser ces éléments en désagrégeant tout ce résidu par l'acide fluorhydrique en présence d'acide sulfurique.

Il suffit pour cela d'en déterminer comme il a été dit plus haut les teneurs en alumine, en chaux et en alcalis. Presque toujours un peu d'acide titanique est solubilisé dans cette dernière opération. Il provient d'*inclusions de rutile* dans le quartz. Seul le zircon n'est pas attaqué. Le cas échéant, on peut le recueillir, le sécher et le peser, mais cette proportion est toujours pratiquement négligeable.

(1) 258.80 et 266.20 étant respectivement les poids atomiques de l'halloysite et de la muscovite.

	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	H_2O
Composition théorique de la kaolinite...	46.5	39.5	néant	14.00
Composition théorique de la muscovite..	45.2	38.5	11.8	4.5

Ces compositions sont en réalité assez variables, comme le montrent les tableaux placés à la fin de ce chapitre.

Le rapport moléculaire alcali: alumine permet de vérifier l'absence de mica mêlé à l'orthose. On peut aussi, dans le cas inverse, déduire les quantités respectives de ces deux minéraux dans le résidu.

En effet, soit X et Y ces quantités, les formules du mica et de l'orthose étant: muscovite, 6 SiO^2 , $3 \text{ Al}^2\text{O}^3$, K^2O , $2 \text{ H}^2\text{O}$; orthose, 6 SiO^2 , Al^2O^3 , K^2O .

Supposons que le rapport moléculaire alcali: alumine soit égal à 0.78, c'est-à-dire que $(X + Y) : (3 X + Y) = 0.78$; ou encore $X + Y = 78$ et $3 X + Y = 100$.

D'où $X = 11$ molécules (suivant la formule précédente) ou encore en partant de la formule généralement admise: SiO^2 , Al^2O^3 , $1/3 \text{ K}^2\text{O}$, $2/3 \text{ H}^2\text{O}$, $X = 33$ et de toutes façons, $Y = 67$ molécules.

L'alumine trouvée à l'analyse, soit par exemple 3.94 %, doit donc être répartie entre ces deux minéraux proportionnellement aux nombres indiqués: $3.94 \times 0.33 = 1.30$ % pour la muscovite; et $3.94 \times 0.67 = 2.64$ % pour l'orthose.

Des compositions théoriques de ces minéraux (1) on déduit ensuite les proportions dans le résidu, soit 3.38 % pour le premier et 14.35 % pour le second.

DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU DES DIVERS SILICATES

La détermination de la teneur en eau dans une roche se fait ordinairement par la méthode dite de la perte au feu. Elle présente cependant un inconvénient grave parfois, toutes les matières volatiles qui disparaissent dans ces mêmes conditions pouvant être comptées avec l'eau. Tels sont, l'acide carbonique, le soufre de la pyrite, les matières organiques. On sait doser séparément les deux premiers. Mais il n'existe pas de méthode quantitative rigoureuse qui permette de définir la proportion exacte d'hydrocarbures mélangés à la substance. Cette détermination ne peut être tentée qu'à

(1) En partant de la composition théorique de l'orthose, soit: silice, 64.7; alumine, 18.4; potasse, 16.9.

En réalité, cette composition est assez variable, comme le montre le tableau placé à la fin de ce chapitre.

A. LACROIX. — Minéralogie de la France et de ses colonies, tome II, 1^{re} partie, page 70.

chaud en présence d'oxydants : d'où la formation d'eau qui s'ajoute à celle provenant du corps sans qu'il soit possible de déterminer la part qui revient aux hydrocarbures et à la roche. Or, tous les sédiments que j'ai étudiés et particulièrement les moins calcareux, renferment des proportions très notables, quelquefois même importantes d'hydrocarbures. Ceux-ci ne disparaissent que peu à peu au cours des essais et se concentrent surtout dans les résidus des attaques chlorhydriques. Les résidus sulfuriques eux-mêmes en renferment encore un peu.

On doit donc s'attendre à trouver la plupart du temps des proportions d'eau plus fortes qu'elles ne le sont en réalité.

On peut aussi, suivant une seconde méthode peser directement l'eau déplacée en chauffant la substance, mais les résultats seraient naturellement entachés des erreurs que je viens d'indiquer, d'autant plus que presque toutes les roches renferment du peroxyde de fer libre susceptible d'agir comme oxydant sur les matières organiques.

Aussi, malgré ses imperfections, je m'en suis tenu au procédé de la perte au feu. Mais, l'existence de plusieurs silicates hydratés m'a obligé à multiplier mes dosages : un premier essai, pratiqué sur toute la substance simplement lavée et séchée me donnait la perte au feu totale des composants de la roche. Un deuxième portait sur le second résidu chlorhydrique ; par différence je calculais la perte au feu relative à la portion B de la roche, en tenant compte de la teneur en carbonates de cette dernière. L'essai du résidu sulfurique me permettait de déterminer de la même façon la part revenant à la portion C.

De telles recherches ne pouvaient être pratiquées que sur des résidus d'attaque préparés spécialement à cet effet. On peut reprocher à cette pratique de n'être pas très rigoureuse puisque la préparation des résidus peut n'être pas absolument identique à celle de l'essai. Pratiquement, les écarts sont très faibles et négligeables.

Perte au feu partielle. — Dans un certain nombre de cas, j'ai déterminé des pertes au feu partielles au-dessous et au-dessus de 610°. En effet la muscovite ne perd la majeure partie de son eau (64 % environ) qu'au-dessus de cette température ainsi que je l'ai signalé précédemment à propos des recherches de WULFING. On

peut donc vérifier par de tels essais l'absence d'argile dans les seconds résidus chlorhydriques car la kaolinite perd toute son eau au-dessous de 610° ainsi que A. BIGOT, TAMMAN et PAPE l'ont établi. Cette vérification est d'autant plus précise qu'à cette température, toutes les matières organiques ont également disparu.

J'ai procédé à ces recherches à l'aide d'un four électrique et d'une pince thermo-électrique.

Je dois exprimer à ce sujet toute ma gratitude à MM. les Professeurs GUNTZ et BOURION, qui ont mis si obligeamment leurs laboratoires à ma disposition pour ces recherches délicates.

Composition de quelques micas blancs

MUSCOVITE — Composition théorique		GUMBELITE (1) Tarentaise	SERICITE (2) Japon	MUSCOVITE (3) Etat du Maine	MUSCOVITE (4) Fetlar-Schottland	MUSCOVITE (5) Puy-de-Dôme	MUSCOVITE (6) Croatie	SERICITE (7) Dürrberg
45,2	SiO ²	49,71	53,01	46,61	45,72	46,42	46,93	55,80
	TiO ²	1,04						
38,5	Al ² O ³	28,62	34,70	35,61	37,17	34,85	34,32	27,72
	Fe ² O ³	2,69	traces	néant	2,18	1,95	3,18	3,07
	MnO, FeO		néant	traces	néant	néant	traces	néant
	CaO		0,27	traces	0,05	néant	0,63	0,14
	MgO	1,60	0,50	néant	2,00	0,27	0,21	0,53
11,8	K ² O	6,80	0,05	8,86	6,69	10,03	5,89	5,62
	Na ² O	2,21	1,01	1,76	1,44	1,31	2,42	1,51
4,5	H ² O	7,38	4,67	6,50	6,79	5,09	5,83	4,03
100,00	<i>Totaux . . .</i>	100,05	100,21	99,34	102,04	99,92	99,41	98,42
2,00	SiO ²							
	Al ² O ³	2,95	2,59	2,22	1,99	2,25	2,31	3,40
0,67	H ² O							
	Al ² O ³	1,46	1,13	1,03	1,03	0,83	0,96	0,82
0,33	K ² O, Na ² O							
	Al ² O ³	0,38	0,23	0,35	0,25	0,37	0,30	0,30

(1) Analyse de GÜMBEL (Tschermack-Mittheil. N. F. II 190, 1879).

(2) — de R. KOTO, J. of coll. of Univ. Tokyo Japon 2.77 (1888).

(3) — F. W. CLARKE, Bull. Géol. Survey. U. S. n° 419,286 (1910).

(4) — F. HEDDLE, Zeits. für Krystall, 5,626 (1882).

(5) — P. L. BARBIER et F. GONNARD, Bull. de la Sté Fr. de Minéralogie, 33, p. 77 (1910).

(6) — FR. TUCAN, N. y. f. M., 1910, t. II, p. 39.

(7) — A. SCHWAGER et C. W. GUMBEL, geogn Beschreib d. Fichtelgeb, 1879, 126.

Composition de quelques argiles du groupe de la kaolinite

Composition théorique (1)		Kaolinite Et' d'Utah (1)	Ongleur Belgique (2)	Miglos Ariège (2)	Laumède Dordogne (2)
46,5	SiO ²	45,64	46,3	46,3	48,7
39,5	Al ₂ O ₃	39,78	39,5	38,7	36,5
14,0	H ₂ O	14,44	14,3	14,3	13,6
100,00	<i>Totaux...</i>	99,86	100,1	99,3	98,8
	<i>Rapports moléculaires.</i>				
2	$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	1,95	1,99	2,03	2,27
2	$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	2,05	2,07	2,11	2,11

(1) G. VOGT. — Mémoire cité, page 199.
 (2) H. LE CHATELIER. — Bulletin de la Société Minéralogique de France, tome X, page 210, année 1887.

Composition de quelques Orthoses

Composition théorique		ORTHOSE rose (1) Ballon de Servance	ORTHOSE blanche (2) Chamonix	ORTHOSE (3) Freiberg	ORTHOSE (4) Kunetitz Bohême	ORTHOSE (5) Rocca di Cavour-Piém ^t
64,7	SiO ²	64,26	66,48	64,53	61,80	63,77
18,4	Al ₂ O ₃	19,27	19,06	17,96	23,61	19,66
	Fe ₂ O ₃			1,31		
	FeO	0,50				
	CaO	0,70	0,63	0,72	1,53	0,47
	MgO	0,77			1,05	
16,9	K ₂ O	10,58	10,52	14,90	11,21	15,24
	Na ₂ O	2,88	2,30	traces		0,67
	H ₂ O	0,40		0,45		
100,0	<i>Totaux.</i>	99,36	98,99	99,87	99,20	99,81
1,0	$\frac{\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	0,84	0,79	0,90	0,52	0,89

(1) Analyse de DELESSE, Ann. des Mines, XIII, p. 671, année 1848.
 (2) — — Bull. de la Sté Géol. de France, VI, p. 233, 1849.
 (3) — de F. RICHTER, Zeit. Deutsch. géol. Ges. XIV, p. 49, 1862.
 (5) — de L. COLOMBA, Atti R. Acad. sc. Torino, XXXIX, p. 829,
 (4) — de E. JAHN, Verh. K. K. géol. R. A. 156, année 1862.
 année 1904.

TROISIÈME PARTIE

IV. - Données générales sur les sédiments étudiés : Leur position stratigraphique et leur faciès

Avant d'entrer dans le détail des résultats obtenus en appliquant cette méthode, et afin de faciliter leur interprétation, j'exposerai très sommairement la succession stratigraphique des sédiments étudiés ainsi que les conditions générales de leur dépôt.

Cette série stratigraphique comprend dans le Bassin parisien les principaux niveaux argileux ou marneux suivants :

TRIAS. — Toutes les assises marneuses sont de formation halogène et comportent essentiellement les niveaux salifères de la base de Muschelkalk (40 à 50 m.) et du Keuper. Ce dernier est séparé en deux parties par un banc de dolomie de quelques mètres, la partie inférieure renfermant seule du sel. La puissance totale de l'étage atteint 270 m. aux environs de Varangéville, dont 60 m. pour la partie supérieure. C'est surtout dans celle-ci qu'apparaît toute une série de bancs aux teintes bariolées allant du vert très clair au violet lie de vin et au rouge, qui ont fait donner à tous les sédiments du Keuper le nom de marnes irisées.

JURASSIQUE. — Tout le Jurassique présente des faciès peu profonds. Il comprend :

Le Lias presque entièrement argileux et qui ne renferme que quelques bancs de calcaires à sa base et des grès marneux. L'étage alénien à minerai de fer le sépare du Jurassique moyen. L'ensemble a une épaisseur de 180 m.

Le Jurassique moyen et le Jurassique supérieur, qui débutent par les assises calcaires du Bajocien et du Bathonien inférieur et

comprennent les assises marneuses du Bathonien supérieur, du Callovien et de l'Oxfordien. Celles-ci offrent une similitude d'aspect telle qu'il est souvent très difficile de les distinguer les unes des autres (au total 130 m. près de Toul). Après une série calcaire on ne retrouve plus que quelques bancs d'argile peu puissants dans le Kimeridgien.

CRÉTACÉ. — Le Crétacé débute par le Néocomien. Les seules assises argileuses un peu importantes qu'on y trouve sont les argiles à plicatules de l'Aptien inférieur, de quelques mètres d'épaisseur. Le Mésocrétacé qui lui succède débute par des sables glauconifères surmontés de 30 m. d'argiles plus ou moins gréseuses (argiles albiennes) qui passent à la gaize cénomanienne formée essentiellement d'opale.

Le reste de l'étage est formé de bancs de craie, glauconifère à la base.

TERTIAIRE. — L'argile réapparaît à la base du Tertiaire, au Sparnacien, où elle forme un banc de quelques mètres d'épaisseur, correspondant à des dépôts laguno-lacustres d'eau saumâtre ou d'eau douce, entièrement différents des précédents.

Le Mésonummulitique se termine par les puissantes marnes à gypse du Ludien et les marnes vertes et blanches du Sannoisien dont la formation halogène, toute différente des précédentes, ne saurait être mise en doute.

C'est à ce niveau que j'ai arrêté mes recherches en n'étudiant que les plus importantes de ces assises.

La position exacte des échantillons recueillis figure dans la coupe sommaire qui se trouve en tête de chaque chapitre.

V. - TRIAS

Mes recherches ont porté sur :

- 1° Les marnes de la base du Muschelkalk : (1) marne de Pexonne.
- 2° Les marnes du Keuper inférieur. — Niveau de la base : (2) Saint-Martin ; (3) Ferme Sérolle. — Niveau du sommet : (4-5) Emberménil.
- 3° Le résidu argileux de la dolomie moyenne : (6) Laneuveville-devant-Bayon.
- 4° Les marnes blanches et les marnes rouges qui surmontent immédiatement la dolomie : (7-8) Laneuveville-devant-Bayon.
- 5° Les marnes bariolées du sommet de l'étage, à quelques mètres en-dessous des premiers bancs du grès rhétien : (9-10) Varangéville ; (11) Momenheim.

Jusqu'alors aucune analyse rationnelle de ces sédiments n'avait été effectuée. On ne peut en effet, faire état, dans le cas présent des travaux de BRACONNIER (1), car si l'auteur accompagne la description des terrains de Meurthe-et-Moselle de leur analyse chimique faite banc par banc depuis le Permien jusqu'au Séquanien, ses essais ne comportent malheureusement aucun fractionnement. Ils sont de plus incomplets, car les alcalis et l'acide titanique n'ont pas été dosés.

(1) Pexonne *

L'échantillon étudié provient d'une marnière exploitée près de Pexonne. Il a été prélevé à quelques mètres environ au-dessus des premières assises des grès triasiques.

* Les échantillons suivis du signe * ont été recueillis par moi-même.

(1) M. A. BRACONNIER. — Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle. Nancy-Paris, 1883.

Cette marne est teintée en rouge par de l'hydrate ferrique. Elle renferme des fragments d'orthose et de quartz et de très fines paillettes de mica blanc atteignant assez souvent un diamètre moyen de 20 μ . Quelques petits cristaux de tourmaline, de zircon et de rutile l'accompagnent ainsi qu'une assez forte proportion d'ilménite.

Les essais chimiques n'y ont décelé que fort peu de matières organiques (1).

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES (2)

A.	12.20	%
B.	32.40	%
C.	22.87	%
D.	32.53	%

A. renfermait: CaCO_3 10.23 % soit 0.102 molécule
 MgCO_3 1.97 % soit 0.023 molécule

correspondant à :

7.93 % de calcite
 4.27 % de dolomite

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO_2	45.51	45.72
TiO_2	néant	3.26
Al_2O_3	18.81	30.46
Fe_2O_3		5.57
FeO, MnO	14.10	
CaO	néant	néant
MgO	7.28	0.64
K_2O	5.42	7.26
Na_2O	1.27	1.36
Perte au feu	7.60	5.72
SiO_2		
Al_2O_3	4.11	2.55
Bases		
Al_2O_3	2.46	
MgO		
Al_2O_3	0.99	
$\text{K}_2\text{O, Na}_2\text{O}$		
Al_2O_3	0.42	0.33
H_2O		
Al_2O_3	2.29	1.06

(1) Cette marne, comme presque toutes celles étudiées, renferme des traces d'acide phosphorique.

(2) Comme je l'ai exposé précédemment, la portion A ne renferme que des carbonates, la portion B correspond à la phyllite, la portion C à la partie du résidu argileux qui n'est attaqué que par l'acide sulfurique, la portion D au résidu de toutes les attaques.

L'analyse de la portion B ne correspond en rien à celle d'une argile. L'absence d'une telle substance dans la portion C est mise en évidence par les rapports moléculaires correspondants, qui sont ceux d'un mica blanc. On peut donc dire que, déduction faite des oxydes de fer et de titane, cette portion de la roche est formée seulement de muscovite.

D'autre part le résidu D a donné à l'analyse :

SiO ₂ , ZrO ₂ (par différence)	88.09
TiO ₂	traces
Al ₂ O ₃	6.07
CaO	néant
K ₂ O	4.96
Na ₂ O	0.43
Perte au feu	0.45

D'où le rapport moléculaire $\frac{K_2O, Na_2O}{Al_2O_3} = 1.01$, rapport caractéristique de l'orthose.

Le résidu sulfurique est donc formé uniquement de ce silicate, de quartz détritique et de quelques petits zircons dans les proportions suivantes :

Orthose	33.00
Quartz et zircon	67.00

Et la composition minéralogique du sédiment étudié est la suivante :

Calcite	7.90
Dolomite	4.30
Mica blanc	32.40
Phyllite	20.85
Ilménite, rutile	2.00
Orthose	10.75
Quartz détritique et zircon	21.80

(2) SAINT-MARTIN *

Cette marne enrobe des cargneules. Elle est grise et contient peu de matières organiques. Elle renferme en abondance du quartz détritique, quelques grains de quartz bipyramidé et d'orthose, et des paillettes de mica blanc pouvant atteindre 20 μ , accompagnés de quelques autres éléments: zircons, tourmalines, rutilés et même des grenats, ces derniers étant du reste fort rares. L'ilménite est également à signaler.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	32.74 %
B.	42.28 %
C.	10.30 %
D.	14.68 %

A. renfermait: CaCO_3 17.79 % soit 0.178 molécule
 MgCO_3 14.95 % soit 0.177 molécule

Il n'existe donc pas de calcite libre, les deux carbonates étant combinés à l'état de dolomite.

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO_2	47.98	45.79
TiO_2	néant	3.93
Al_2O_3	19.07	31.92
Fe_2O_3		1.94
FeO	7.62	
MnO	0.28	
CaO	néant	néant
MgO	12.90	0.79
K_2O	4.17	8.03
Na_2O	0.90	2.43
Perte au feu	7.06	5.15
SiO_2		
<hr/>		
Al_2O_3	4.21	2.39
Bases		
<hr/>		
Al_2O_3	2.63	
MgO		
<hr/>		
Al_2O_3	1.87	
$\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$		
<hr/>		
Al_2O_3	0.31	0.365
H_2O		
<hr/>		
Al_2O_3	2.06	0.85

L'analyse de la portion B ne correspond pas à celle d'une argile. C'est un fait général pour tous les sédiments étudiés, comme le montre la suite de ce chapitre.

Dans la portion C, les rapports moléculaires sont ceux d'une muscovite. Il suffit pour s'en rendre compte de les comparer à ceux qui figurent au tableau de la page 63.

On peut donc admettre qu'il n'existe pas d'argile semblable au kaolin dans tout le sédiment, puisque cette dernière se serait concentrée dans ce deuxième résidu chlorhydrique.

La proportion de mica blanc dans la roche correspond donc à la totalité de C, déduction faite du peroxyde de fer et de l'acide titanique que j'ai rapportés à l'ilménite et au rutile.

D'autre part, le résidu D a donné à l'analyse :

SiO ² , ZrO ²	91.90
TiO ²	0.75
Al ² O ³	3.22
Fe ² O ³	0.50
CaO	néant
K ² O	2.90
Na ² O	traces
Perte au feu	0.73

Le rapport moléculaire correspondant $\frac{K^2O, Na^2O}{Al^2O^3} = 0.99$ est celui que donne l'orthose. Celle-ci forme donc avec du quartz, un peu d'ilménite et de rutile, la totalité du résidu de l'attaque sulfurique.

La proportion de ces minéraux peut y être calculée de la façon suivante, en partant des données qui précèdent :

Quartz	81.25
Orthose	17.50
Ilménite et rutile	1.25

La composition de la marne de Saint-Martin est donc la suivante :

<i>Dolomite</i>	32.7
<i>Phyllite</i>	42.3
<i>Mica blanc</i>	9.7
<i>Ilménite, rutile de la partie C 0.60</i>	0.8
<i>Ilménite, rutile de la partie D 0.20</i>	
<i>Orthose</i>	2.6
<i>Quartz et zircon</i>	11.9

(3) Ferme Sérolle *

(à trois kilomètres à l'ouest d'Avricourt)

L'échantillon a été prélevé à 3 mètres de profondeur pendant le fonçage d'un puits. Il était formé d'une marne, d'un gris verdâtre aussitôt après son extraction, et qui devint grise rapidement.

En l'examinant au microscope, j'y ai reconnu à côté de quartz détritique abondant, du mica blanc, des tourmalines, des zircons,

des rutiles, quelques grains de magnétite et même des fragments de corindon.

La matière organique n'y existe qu'en faible quantité.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	31.34 %
B.	40.19 %
C.	6.85 %
D.	21.62 %

A. renfermait: CaCO_3 17.08 % soit 0.171 molécule
 MgCO_3 14.28 % soit 0.169 molécule

Il n'y a donc pratiquement pas de calcite libre, et la partie carbonatée est formée uniquement de dolomite.

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO_2	52.50	47.17
TiO_2	néant	5.71
Al_2O_3	17.54	28.89
Fe_2O_3		1.36
FeO	0.33	
MnO	0.22	
CaO	néant	néant
MgO	9.87	0.68
K_2O	4.07	7.76
Na_2O	1.91	2.58
Perte au feu	6.91	5.83
SiO_2		
$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	5.07	2.82
Bases		
$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Bases}}$	2.42	
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	1.45	
$\frac{\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	0.47	0.43
$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	2.23	1.14

Comme dans la marne précédente, la portion B a une composition toute différente de celle d'une argile.

Ici encore, la portion C donne les rapports moléculaires caractéristiques du mica blanc. Ce minéral constitue donc l'élément essentiel de la partie attaquée seulement par l'acide sulfurique. Il est accompagné uniquement d'ilménite et de zircon.

En résumé, la roche étudiée présente les mêmes caractéristiques et donne les mêmes résultats analytiques que la marne de Saint-Martin; ainsi que le montre le tableau suivant, dans lequel toutefois, ne sont pas mentionnés les essais relatifs au résidu D.

<i>Dolomite</i>	31,4
<i>Phyllite</i>	40,2
<i>Mica blanc</i>	6,3
<i>Ilménite et rutile</i>	0,5
<i>Orthose, quartz, zircon</i> (par différence)	21,6

Emberménil *

(4) *Marne blanche* et (5) *marne rouge*

Ces deux échantillons ont été recueillis dans une ancienne tranchée, ouverte pendant la dernière guerre. Les deux niveaux forment de petits bancs assez intimement mélangés. J'y ai trouvé de très nombreux groupements de petits cristaux de quartz rubigineux. L'abondance de quartz bipyramidé caractérise particulièrement bien ces niveaux. Le quartz détritique l'accompagne. L'orthose est parfois discernable sous forme d'éléments atteignant jusqu'à 30 μ . Des grains ocreux abondent ainsi que du mica blanc. Celui-ci renferme parfois des inclusions de rutile. La magnétite et surtout le zircon prédominent de beaucoup parmi les éléments rares. Ils sont accompagnés de rutile, de tourmaline, de quelques grenats et même parfois de corindon et de sphène.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

MARNE BLANCHE		MARNE ROUGE	
A.	32.99 %	A.	25.07 %
B.	49.08 %	B.	50.06 %
C.	8.13 %	C.	13.45 %
D.	9.80 %	D.	11.42 %

Les portions A. renfermaient :

MARNE BLANCHE	
CaCO ^a	21.11 % soit 0.291 molécule
MgCO ^a	3.88 % soit 0.046 molécule

MARNE ROUGE	
CaCO ^a	25.07 %
MgCO ^a	néant

correspondant à :

24.51 %	de calcite
8.48 %	de dolomite

25.07 % de calcite

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	Marne blanche		Marne rouge	
	B	C	B	C
SiO ²	47.76	47.41	47.80	43.74
TiO ²	néant	5.14	néant	4.21
Al ² O ³	17.03	28.87	15.83	32.50
Fe ² O ³		2.74		1.61
FeO	7.93		9.53	
MnO	néant		néant	néant
CaO	néant	néant	néant	néant
MgO	13.63	0.96	13.06	1.14
K ² O	3.44	0.68	3.17	8.55
Na ² O	1.60	1.54	1.58	2.23
Perte au feu	8.60	6.65	8.97	6.01
<u>SiO²</u>				
<u>Al²O³</u>	4.77	2.79	5.13	2.28
<u>Bases</u>				
<u>Al²O³</u>	3.07		3.27	
<u>MgO</u>				
<u>Al²O³</u>	2.04		2.11	
<u>K²O, Na²O</u>				
<u>Al²O³</u>	0.37	0.34	0.38	0.38
<u>H²O</u>				
<u>Al²O³</u>	2.86	1.31	3.21	1.02

Les analyses des portions B ne diffèrent guère l'une de l'autre que par une teneur en oxyde ferrique plus forte dans la marne rouge. Elles ne correspondent en rien à celles d'argiles, comme dans les cas précédents.

Les rapports moléculaires de la portion C sont ceux d'un mica blanc et ici encore, l'argile manque.

D'autre part, le résidu D de la marne blanche a donné à l'analyse :

SiO ² , ZrO ²	83.16
Al ² O ³	8.82
CaO	traces
K ² O	6.67
Na ² O	0.77
Perte au feu	0.58

Le rapport moléculaire correspondant $\frac{K^2O, Na^2O}{Al^2O^3} = 0.85$ est

un peu plus faible que le nombre théorique donné par l'orthose. Mais l'analyse montre qu'il en est ainsi pour un grand nombre d'échantillons de ce minéral (1). C'est pourquoi ici encore, j'admettrai que le résidu de l'attaque sulfurique n'est formé essentiellement que d'orthose et de quartz, dont les proportions relatives sont :

Orthose	47.93
Quartz et zircon	52.07

La composition de la marne blanche d'Emberménil serait donc la suivante :

<i>Calcite</i>	24.5
<i>Dolomite</i>	8.5
<i>Phyllite</i>	49.1
<i>Mica blanc</i>	7.5
<i>Ilménite, rutile</i>	0.6
<i>Orthose</i>	4.7
<i>Quartz et zircon</i>	5.1

Laneuveville-devant-Bayon *

(6) Résidu argileux de la dolomie moyenne

J'ai voulu comparer la composition minéralogique du résidu argileux de la dolomie moyenne avec celle des marnes qui la surmontent. A cet effet, j'ai attaqué complètement à froid à l'acide chlorhydrique au vingtième un bloc de dolomie d'apparence homogène. Après de nombreux lavages, le résidu présentait l'aspect d'une boue argileuse d'un gris jaunâtre ne renfermant que des traces de matières organiques.

Le quartz détritique y abonde ainsi que le mica blanc, dont les lamelles atteignent souvent 20 à 25 μ . On y trouve aussi quelques zircons et quelques rutilés accompagnés de tourmalines cependant plus rares.

Les portions B et C m'ont donné à l'analyse les résultats suivants :

(1) Voir page 566.

	B	C
SiO ²	48.20	46.22
TiO ²	néant	2.64
Al ² O ³	20.14	34.03
Fe ² O ³		1.92
FeO	11.20	
MnO	néant	
CaO	fbles tr.	0.07
MgO	6.07	1.61
K ² O	5.27	6.40
Na ² O	1.56	1.23
Perte au feu	7.56	5.86
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	4.07	2.31
<u>Bases</u>		
Al ² O ³	1.96	
<u>MgO</u>		
Al ² O ³	0.76	
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0.41	0.26
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	2.16	0.97

Là aussi, la portion B a une tout autre composition que celle d'une argile.

La partie attaquée du deuxième résidu chlorhydrique est ici encore formée uniquement de mica blanc comme le montrent bien les rapports caractéristiques établis, en particulier $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ et surtout $\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$. Sans doute le rapport $\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ est un peu faible, mais par contre, la teneur en magnésie est plus forte que dans les échantillons précédents.

L'analyse décèle également un peu de chaux.

La composition de ce résidu argileux peut donc être représentée de la façon suivante :

<i>Phyllite</i>	29.9
<i>Mica blanc</i>	17.3
<i>Ilménite, rutile</i>	0.8
<i>Orthose, quartz, zircon</i> (par différence)	52.0

Le résidu d'attaque de cette dolomie est surtout formé de sable micacé, accompagné d'une phyllite semblable aux précédentes.

Laneuveville-devant-Bayon*(7) *Marne blanche* et (8) *Marne rouge*

Ces deux marnes forment des veines intimement mélangées au toit de la dolomie moyenne. Traitée pendant une heure au bain-marie par l'acide chlorhydrique au 1/10, la marne rouge devient blanche, bien avant que l'attaque chlorhydrique soit terminée. J'en ai conclu que la teinte rouge était due simplement à l'oxyde ferrique libre, fait admis déjà d'une façon générale par G. T. MOODY (1).

Au microscope, le quartz détritique apparaît abondant, accompagné de paillettes de muscovite. Certaines d'entre elles, visibles à l'œil nu, renferment parfois des inclusions de tourmaline. J'y ai reconnu aussi de très rares éléments de biotite, fait exceptionnel dans tous les sédiments étudiés.

La tourmaline existe accessoirement, accompagnée de magnétite, de zircons plus rares, de grenats, de rutilés et d'hématite brune.

Exceptionnellement, j'ai pu identifier quelques éléments de chlorite et quelques quartz bipyramidés, mais dans la marne blanche seulement.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

MARNE BLANCHE

A.	65.69 %
B.	18.12 %
C.	7.06 %
D.	9.13 %

MARNE ROUGE

A.	24.68 %
B.	25.71 %
C.	16.19 %
D.	33.42 %

Les carbonates comprenaient :

MARNE BLANCHE

CaCO₃, 63.97 %, soit 0.640 molécule
MgCO₃, 1.72 %, soit 0.024 molécule

MARNE ROUGE

CaCO₃, 21.30 %, soit 0.213 molécule
MgCO₃, 3.38 %, soit 0.040 molécule

correspondant respectivement à :

61.57 % de calcite
4.12 % de dolomite.

17.30 % de calcite
7.38 % de dolomite

(1) G. T. MOODY. — The causes of variegation in Keuper Marls and in other calcareous Rocks. Qu. J. G. S. vol. LXI, p. 431-439, 1905.

Les portions B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	MARNE BLANCHE		MARNE ROUGE	
	B	C	B	C
SiO ²	48.49	46.94	46.33	47.44
TiO ²	néant	3.07	néant	2.61
Al ² O ³	20.59	34.40	19.49	32.14
Fe ² O ³		1.77		1.64
FeO	9.95		15.39	
MnO	0.07		0.08	
CaO	néant	néant	néant	néant
MgO	7.23	1.01	6.32	0.88
K ² O	4.40	6.51	4.77	7.61
Na ² O	1.11	0.90	0.72	2.58
Perte au feu	8.16	5.34	6.90	5.10
<u>SiO²</u>				
<u>Al²O³</u>	4.00	2.32	4.04	2.51
<u>Bases</u>				
<u>Al²O³</u>	1.92		2.28	
<u>MgO</u>				
<u>Al²O³</u>	0.83		0.82	
<u>K²O, Na²O</u>				
<u>Al²O³</u>	0.32	0.26	0.33	0.38
<u>H²O</u>				
<u>Al²O³</u>	2.25	0.88	2.00	0.89

Ici encore, les portions B ont des compositions très différentes des argiles et très comparables à celles des marines déjà décrites.

La partie C est formée uniquement de mica blanc, accompagné d'un peu de rutil et d'ilménite.

J'ai attaqué le résidu sulfurique de la marne blanche par l'acide fluorhydrique et j'ai obtenu les données suivantes :

SiO ² , ZrO ²	87.29
TiO ²	traces
Al ² O ³	6.55
CaO	faibles traces
K ² O	4.86
Na ² O	0.79
Perte au feu	0.51

Le rapport moléculaire correspondant $\frac{K^2O, Na^2O}{Al^2O^3} = 1.00$ rapport théorique de l'orthose.

Le résidu sulfurique est donc formé de 35.59 d'orthose et de 64.41 de quartz et de zircon.

Et la composition de la marne est la suivante:

<i>Calcite</i>	61.6
<i>Dolomite</i>	4.1
<i>Phyllite</i>	18.1
<i>Mica blanc</i>	6.7
<i>Ilménite et rutile</i>	0.35
<i>Orthose</i>	3.25
<i>Quartz et zircon</i>	5.9

Varangéville *

(9) *Marne verte* et (10) *Marne violette*

Ces deux échantillons ont été recueillis entre Varangéville et Art-sur-Meurthe, au sommet du Keuper. Les deux sédiments étudiés forment des couches de quelques décimètres alternant entre elles très irrégulièrement et renfermant de petits bancs de dolomie. L'ensemble donne aux marnes irisées de la partie supérieure un aspect assez caractéristique.

Le microscope m'a permis de reconnaître dans la portion C de ces roches de nombreux fragments de quartz détritique avec quelques quartz bipyramidés et des paillettes de mica blanc. Les feldspaths discernables sont rares, ici comme dans les autres marnes. En m'aidant de la liqueur de THOULET, j'ai pu déterminer aussi des zircons, des grenats, du rutile et quelques grains ocreux dérivant en partie de pyrite oxydée.

La marne violette, traitée une heure au bain-marie par de l'acide chlorhydrique au 1/10, change de couleur et devient rapidement verte, en même temps la liqueur se charge de fer. La teinte primitive est donc due à la présence d'un peu d'hydrate ferrique qui, en modifiant la couleur primitive, lui donne une coloration lie-de-vin caractéristique. Je n'ai étudié plus en détail que la marne verte.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	36.66	%
B.	50.62	%
C.	4.71	%
D.	8.01	%

A. renfermait: CaCO_3 23.73 % soit 0.237 molécule
 MgCO_3 12.93 % soit 0.153 molécule

Il existe donc, à côté de dolomite, une forte portion de calcite

libre. Le calcul permet d'établir les proportions qui sont les suivantes :

Calcite, 7.90; dolomite, 28.76

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO ²	53.10	45.31
TiO ²	néant	9.58
Al ² O ³	20.02	29.26
Fe ² O ³		2.39
FeO	7.10	
MnO	0.24	
CaO	fbles tr.	fbles tr.
MgO	5.48	1.24
K ² O	6.71	6.03
Na ² O	0.66	1.46
Perte au feu	6.68	4.72
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	4.51	2.63
<u>Bases</u>		
Al ² O ³	1.63	
<u>MgO</u>		
Al ² O ³	0.70	
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0.42	0.30
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	1.89	0.91

Dans ce cas encore, la composition de la partie B est tout à fait comparable à celle des marnes étudiées précédemment.

La portion C donne les rapports moléculaires du mica blanc et n'est formée que de ce minéral auquel s'ajoutent cependant un peu d'ilménite et de rutile.

D'autre part, le résidu D a donné à l'analyse :

SiO ² , ZrO ²	94.25
TiO ²	traces
Al ² O ³	4.29
Fe ² O ³	néant
CaO	0.29
K ² O	0.72
Na ² O	traces
Perte au feu.	0.45

Le rapport des alcalis à l'alumine est de 0.18. On ne peut l'expliquer qu'en admettant l'existence d'un peu de mica dans le résidu à l'exclusion d'orthose.

La composition du sédiment serait donc la suivante :

<i>Calcite</i>	7.9
<i>Dolomite</i>	28.85
<i>Phyllite</i>	50.6
<i>Mica blanc</i>	4.65
<i>Ilménite, rutile</i>	0.55
<i>Quartz et zircon</i>	7.5

Momenheim

(II) *Marne verte*

J'ai étudié également un échantillon de marne verte qui m'avait été fort aimablement adressé par M. le Professeur DE LAPPARENT et qui provient du même niveau que les marnes de Varangéville. J'ai pu y reconnaître, à côté de quartz et de mica détritique, quelques zircons et quelques rutilés.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	35.76 %
B.	46.50 %
C.	5.58 %
D.	12.16 %

A. renfermait: CaCO_3 20.22 % soit 0.202 molécule
 MgCO_3 15.54 % soit 0.184 molécule

correspondant à : 1.79 de calcite
 33.97 de dolomite

B. et C. ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO_2	54.94	42.46
TiO_2	néant	9.31
Al_2O_3	18.43	29.67
Fe_2O_3		1.87
FeO	7.16	
MnO	0.05	
CaO	néant	néant
MgO	6.11	0.81
K_2O	6.37	6.60
Na_2O	0.66	2.33
Perte au feu	6.28	6.94
SiO_2		
Al_2O_3	5.07	2.43
Bases		
Al_2O_3	1.83	
MgO		
Al_2O_3	0.84	
$\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$		
Al_2O_3	0.43	0.36
H_2O		
Al_2O_3	1.94	1.33

La portion B a pratiquement la même composition que celle de la marne verte de Varangéville. La même similitude apparaît pour les résidus des attaques chlorhydriques. Il n'y a donc pas de différence notable entre les deux niveaux marneux, bien que les échantillons aient été recueillis à une distance de plus de 100 km. l'un de l'autre et la composition de la marne verte de Momenheim peut être définie de la façon suivante :

<i>Calcite</i>	1.80
<i>Dolomite</i>	34.00
<i>Phyllite</i>	46.50
<i>Mica blanc</i>	4.95
<i>Ilménite, rutile</i>	0.60
<i>Orthose, quartz détritique, zircon</i>	12.15

avec une légère incertitude sur la teneur exacte en muscovite, le peu de substance dont je disposais ne m'ayant pas permis d'analyser le résidu de l'attaque sulfurique.

Hortes*

(12) Résidu argileux de la dolomie moyenne

J'ai recueilli un échantillon de dolomie moyenne aux environs de Chalindrey, à l'extrême bordure sud des affleurements du Keuper.

Dans cette région, la puissance de cet étage atteint à peine 20 m.

Le résidu marneux de cette dolomie (5 à 6 % de la roche) contient de petites sphères formées d'éléments de quartz, accompagnés de grains et de petites géodes d'une dolomie ferrifère. A côté de ces minéraux et d'une phyllite très comparable à toutes celles qui ont été déjà mentionnées, il existe du quartz détritique en abondance, ainsi que de gros éléments d'orthose et des paillettes de mica blanc atteignant facilement un diamètre moyen de 20 μ , quelques petits zircons, des fragments de rutile et de rares tourmalines.

On ne trouve que fort peu de matières organiques dans l'ensemble.

La partie argileuse a la composition suivante :

	B	C
SiO ²	51.53	48.48
TiO ²		5.11
Al ² O ³	18.49	29.69
Fe ² O ³		1.11
FeO	9.23	
MnO	0.24	
CaO	néant	
MgO	3.93	0.91
K ² O	6.52	8.27
Na ² O	1.42	1.84
Perte au feu	8.63	4.58
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	4.74	2.77
<u>Bases</u>		
Al ² O ³	1.76	
<u>MgO</u>		
Al ² O ³	0.54	
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0.50	0.40
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	2.64	0.87

La composition de la phyllite est très comparable à celle des autres marnes du Keuper, bien qu'un peu moins riche en magnésie.

La partie C a la composition d'un mica blanc.

Enfin la portion D est formée de :

SiO ² , ZrO ²	83.20
Al ² O ³	8.02
CaO	0.30
K ² O	6.67
Na ² O	0.91
Perte au feu	0.90

Elle donne le rapport alcalis : alumine = 1.09. Il n'existe donc pas de mica dans ce résidu.

La composition globale du résidu argileux peut être établie ainsi :

<i>Phyllite</i>	36.0
<i>Mica blanc</i>	17.5
<i>Ilménite, rutile</i>	1.16
<i>Orihose</i>	19.70
<i>Quartz et zircon</i>	25.65

COMPOSITION GÉNÉRALE DES MARNES DU TRIAS

LES MINÉRAUX DÉTRITIQUES. — *En résumé*, tous les sédiments étudiés renferment des éléments détritiques dont le *quartz* et le *mica blanc* sont les principaux.

J'ai pu très souvent identifier des éléments d'*orthose* d'origine détritique dont les dimensions étaient sensiblement les mêmes que celles des plus gros grains de quartz (40 à 60 μ).

D'autres minéraux accessoires les accompagnent, parmi lesquels il convient de citer spécialement le *zircon*, la *tourmaline* et le *rutile*. Leur origine première doit être recherchée dans les micas blancs où ces éléments apparaissent souvent sous forme d'inclusions. On trouve également parfois quelques fragments de *grenat*, de *corindon* et de *sphène* et même très rarement de *chlorite*. A tous ces minéraux s'ajoute toujours en quantité variable bien que faible, un peu d'*ilménite* et probablement de *magnétite*; quelquefois même de l'*hématite brune* provenant en partie de l'oxydation de *pyrite*.

A côté de tous ces éléments détritiques, j'ai trouvé parfois de très petits cristaux de *quartz bipyramidé* qui abondent en particulier dans le niveau des marnes d'Emberménil. Leur teinte rubigineuse me fait admettre pour eux une origine secondaire analogue à celle des *cargneules* si abondantes dans tous ces niveaux.

Celles-ci sont essentiellement formées de *quartz*, de *pseudo-calcédonite*, de *calcite* et de *dolomite*.

LES CARBONATES. — Le microscope permet d'identifier la *calcite* et la *dolomite* comme éléments essentiels des sédiments keupériens.

Sans être très précise, la méthode colorimétrique de Lemberg m'a cependant permis de distinguer les deux minéraux l'un de l'autre dans la plupart des marnes où ils coexistent.

Tous deux apparaissent ordinairement sous forme d'un agrégat de rhomboèdres très petits dont les arêtes ne dépassent pas quelques millièmes de millimètre. La calcite existe aussi parfois sous forme de petits scalénoèdres, en particulier dans les marnes d'Emberménil.

LA PHYLLITE. — L'examen microscopique des résidus argileux des marnes triasiques y fait ressortir la présence prédominante d'une matière grossièrement lamellaire, crypto-cristalline, agissant

nettement sur la lumière polarisée et renfermant de très fines inclusions d'oxyde de fer et de rutile. Elle n'apparaît guère nettement que dans les sédiments pauvres en éléments détritiques. Son indice moyen est très voisin de 1.53 dans la marne verte de Varangéville.

Les analyses de toutes ces phyllites font ressortir leur grande similitude. Leur composition est toute différente de celle d'une argile pure, ainsi que le montre le tableau qui suit (1).

Leur teneur en silice dans la plupart des cas, est plus élevée que dans la kaolinite ou les argiles similaires.

La proportion d'alumine, par contre, est toujours beaucoup plus faible (15 à 20 % au lieu de 39.5 % dans la kaolinite).

Le fer existe certainement dans plusieurs combinaisons : en faible proportion dans des éléments détritiques, magnétite ou hématite, attaquables par l'acide chlorhydrique, ou sous forme d'hydrate ferrique provenant vraisemblablement de l'altération de la phyllite. Cet oxyde abonde dans les marnes rouges. Son origine première doit être recherchée au moins en partie dans le protoxyde de fer qui constitue un élément constant de tous les sédiments argileux. La prompt oxydation et par suite l'altération rapide de ces roches, rend malheureusement illusoire tout dosage de l'oxyde ferreux. J'ai été à même de vérifier ce fait plusieurs fois : certains échantillons recueillis depuis peu de temps lors de l'ouverture de fouilles profondes dans des terrains vierges ne renfermaient primitivement qu'une très faible proportion de peroxyde de fer. Deux ans après, il n'en était plus de même et la teneur en oxyde ferreux était devenue très faible. Ces faits furent d'abord constatés par la précipitation à l'ammoniaque des liqueurs chlorhydriques. Les dosages faits dans le même but ne peuvent malheureusement présenter aucune précision. En effet, la présence de matières organiques, substances réductrices, s'oppose à un titrage direct du protoxyde, car elles agissent aussi sur le permanganate.

D'autre part, le dosage direct du peroxyde de fer par le chlorure titané peut également être entaché d'erreurs, les matières organiques pouvant agir à chaud dans le même sens que ce réactif, lors de l'attaque de la substance par les acides.

Malgré cet inconvénient, j'ai dû utiliser cette dernière méthode,

(1) Page 588.

TRIAS

	Marne rouge PEXONNE	Marne grise St-MARTIN	Marne gris verdâtre Ferme SEROLLE	Marne blanche EMBER- MENIL	Marne rouge EMBER- MENIL	Argile de la dolomie LANEUVE- VILLE- d'-BAYON	Marne blanche LANEUVE- VILLE- d'-BAYON	Marne rouge LANEUVE- VILLE- d'-BAYON	Marne verte VARAN- GEVILLE	Marne verte MOMENHEIM	Argile de la dolomie HORTES
SiO ²	45.51	47.98	52.56	47.76	47.80	48.20	48.49	46.33	53.10	54.94	51.53
Al ² O ³	18.81	19.07	17.54	17.03	15.83	20.14	20.59	19.49	20.02	18.43	18.49
FeO	14.10	7.62	6.32	7.93	9.53	11.20	9.95	15.39	7.10	7.16	9.23
MnO	néant	0.28	0.22	néant	néant	néant	0.07	0.08	0.24	0.05	0.24
CaO	néant	néant	néant	néant	néant	faibles tr.	néant	néant	faibles tr.	néant	néant
MgO	7.28	12.90	9.87	13.69	13.06	6.07	7.23	6.32	5.48	6.11	3.93
K ² O	5.42	4.17	4.67	3.44	3.17	5.27	4.40	4.77	6.71	6.37	6.52
Na ² O	1.27	0.90	1.91	1.60	1.58	1.56	1.11	0.72	0.66	0.66	1.42
Perte au feu :	7.60	7.06	6.91	8.60	8.97	7.56	8.16	0.90	6.68	6.28	8.63
<u>SiO²</u>											
<u>Al²O³</u>	4.11	4.21	5.07	4.77	5.13	4.07	4.00	4.04	4.51	5.07	4.74
<u>Bases</u>											
<u>Al²O³</u>	2.46	2.63	2.42	3.07	3.27	1.96	1.92	2.28	1.63	1.83	1.76
<u>MgO</u>											
<u>Al²O³</u>	0.99	1.87	1.45	2.04	2.11	0.76	0.83	0.82	0.70	0.84	0.54
<u>K²O, Na²O</u>											
<u>Al²O³</u>	0.42	0.31	0.47	0.37	0.38	0.41	0.32	0.33	0.42	0.43	0.50
<u>H²O</u>											
<u>Al²O³</u>	2.29	2.06	2.23	2.86	3.21	2.16	2.25	2.00	1.89	1.94	2.64

en l'absence d'autre plus précise et j'ai pu mettre ainsi en évidence la présence d'oxyde ferreux dans les principaux échantillons étudiés.

Les essais ont porté sur la totalité de la marne.

Voici les résultats que j'ai obtenus :

	SEROLLE	EMBERMÉNIL		LANEUVE-VILLE	VARANGÉ-VILLE
	Marne gris-verte	Marne blanche	Marne rouge	Marne blanche	Marne verte
La teneur en FeO dans la phyllite (<i>en supposant que tout le fer qui s'y trouve est à l'état de protoxyde</i>) était en % de :	6.55	7.93	9.53	9.95	7.34
équivalant à une teneur en FeO, dans toute la marne de :	2.63	3.89	4.77	1.80	3.72
La teneur en Fe ² O ³ de la marne (déduction faite de Fe ² O ³ de la portion C) était en % de :	3.10	3.64	4.48	1.55	2.18
équivalant à une teneur en FeO dans toute la marne de :	2.79	3.28	4.03	1.40	1.97
La teneur réelle en FeO dans la phyllite correspondait donc à une teneur en FeO dans toute la marne de :	néant	0.61	0.74	0.40	1.75
et la teneur en FeO dans la phyllite seule était réellement de :	néant	1.24	1.48	2.21	3.40

Pour les raisons exposées plus haut, tous ces dosages ne peuvent être considérés qu'à titre indicatif. La marne de Sérolle, entre autres, ne renfermait qu'une très faible proportion d'hydrate ferrique, moins de 0.5 % quelques jours après avoir été recueillie. C'est pourquoi j'ai compté à l'état de protoxyde tout le fer de la phyllite, bien que dans les marnes rouges en particulier, il existe naturellement une notable proportion d'hydrate ferrique.

La chaux n'apparaît jamais en proportion appréciable. Ce fait implique l'absence complète de tout minéral calcique.

Par contre, la magnésie est toujours abondante, tous les niveaux étudiés en renferment, mais elle apparaît surtout dans le Keuper inférieur. Sa teneur varie entre 5.5 et 13.5 %.

Les alcalis, potasse et soude existent en proportion très appréciable (5 à 8 %), la potasse prédominant de beaucoup. Le rapport moléculaire alcalis : alumine varie entre 0,31 et 0,50, il est voisin, mais un peu plus élevé que celui donné par les micas blancs.

LA PHYLLITE EST-ELLE UN COMPOSÉ HOMOGENÈME? — Dans quel état sont combinés tous ces éléments? Forment-ils un seul minéral ou au contraire plusieurs minéraux intimement mélangés? Telle est la question qui se présente tout d'abord à l'esprit.

Action de la solution sodique. — Pour la résoudre, j'ai recherché en premier lieu sous quelle forme se trouvent la silice et l'alumine. Toutes deux peuvent exister en partie à l'état libre, plus ou moins accompagnées d'argile et d'un ou plusieurs autres corps. Pour préciser la chose, j'ai opéré tout d'abord à la façon de VOGT, en faisant agir la solution d'alcali caustique sur les parties argileuses d'un certain nombre d'échantillons de marnes.

J'ai obtenu ainsi les résultats qui figurent dans le tableau qui suit.

Ce tableau montre que la solution sodique ne dissout que très peu des résidus argileux (1) et qu'en même temps, au cours des essais, les rapports silice : alumine tendent tous vers le nombre 4.

Dans les premières opérations, ils sont un peu plus élevés, mais cette différence doit être attribuée à une petite quantité de silice libre dont l'origine est due pour une part à la présence de très fines particules de quartz et en second lieu à une légère attaque de la partie argileuse des échantillons primitifs lors de l'élimination de leurs carbonates.

Ces faits permettent de conclure à l'absence d'une opale analogue à celle des gaizes, car cette substance est facilement dissoute par la solution sodique, ainsi que je l'ai montré précédemment.

L'argile du type de l'halloysite, fait également défaut, sinon sa solubilité relative dans les liqueurs alcalines se manifesterait et les rapports silice : alumine seraient, en fin d'essai, voisins de deux et non de quatre.

(1) Chaque résidu argileux renfermait de 17 à 19 % d'alumine, en partie à l'état de mica.

Action de la solution sodique

	PEXONNE			EMBERMÉNIL marne blanche			LANEUVEVILLE marne blanche			VARANGÉVILLE marne verte			HORTES		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ordre des opérations	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Durée de chacune d'elles..... h.	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2
Poids de l'essai gr.	1,3890			1,1806			1,2184			1,0578			1,4600		
Quantités dissoutes	{ SiO ²														
	0,0198	0,0094	0,0130	0,0356	0,0236	0,0107	0,0468	0,0464	0,0322	0,0426	0,0462	0,0374	0,0482	0,0293	0,0273
	{ Al ² O ³			{ Al ² O ³			{ Al ² O ³			{ Al ² O ³			{ Al ² O ³		
	0,0071	0,0040	0,0049	0,0050	0,0084	0,0046	0,0148	0,0168	0,0125	0,0147	0,0162	0,0135	0,0160	0,0104	0,0094
Proport. d'alumine solubilisée par rap- port à la totalité de l'essai	0,51	0,29	0,35	0,42	0,71	0,39	1,19	1,37	1,01	1,38	1,53	1,27	1,09	0,71	0,64
Rapport moléculaire: SiO ² Al ² O ³	4,74	3,99	4,51	12,10	4,78	3,95	5,37	4,69	4,39	4,92	4,85	4,71	5,12	4,79	4,94

Quelques essais m'ont permis de vérifier la chose.

Au résidu argileux d'une marne sableuse de Laneuveville-devant-Bayon, particulièrement riche en fines particules de silice, j'ai ajouté une forte proportion de kaolin de Saint-Yriex, de sorte que le mélange renfermait :

Phyllite	0.21
Kaolin	0.42
Mica et quartz	0.37

En faisant agir la solution de soude d'abord sur la substance primitive, puis sur le mélange, j'ai obtenu les résultats suivants :

Ordre des opérations.	Résidu argileux seul		Résidu argileux additionné de Kaolin		
	1	2	1	2	
Durée de chacune d'elles h.	1/2	2	1/2	2	
Poids de l'essai	0.9476		1.0748		
Quantités dissoutes	SiO ²	0.0724	0.0240	0.0655	0.0284
	Al ² O ³	0.0010	0.0044	0.0030	0.0207
Rapport moléculaire	$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	123.08	9.27	37.10	2.33

Attaques fractionnées par l'acide chlorhydrique. — Si la liqueur sodique n'agit guère sur les résidus argileux, les recherches antérieures ont prouvé par contre que les attaques par l'acide chlorhydrique concentré rendent soluble dans les solutions d'alcalis une très forte proportion de silice. Celle-ci était donc combinée et l'on est en droit de conclure que la phyllite est formée ou d'un seul aluminosilicate, ou d'un mélange d'un minéral inconnu, de montmorillonite et de mica blanc, le tout plus ou moins souillé d'oxyde de fer, de telle sorte que les rapports moléculaires de tous ces minéraux dissous par l'acide chlorhydrique seraient voisins de quatre.

Afin de préciser la chose, j'ai procédé sur la partie argileuse de quelques marnes à des attaques fractionnées à l'aide de ce même acide. Si la substance est formée de plusieurs minéraux, leurs conditions d'attaque n'étant vraisemblablement pas les mêmes, les rapports moléculaires donnés par les analyses des diverses liqueurs varieront : les premiers correspondront sensiblement au minéral le plus attaquant, les derniers à celui qui l'est le moins.

Mes opérations ont été conduites de la façon suivante :

Dans une première série, je faisais agir peu de temps l'acide sur la prise d'essai, puis, lavant ensuite le résidu à l'eau, j'en extrayais

la silice mise en liberté à l'aide de la solution sodique et je répétais toutes ces opérations jusqu'à ce que la substance devienne attaquant. L'analyse des liqueurs m'a donné toute une série de résultats partiels qui m'ont permis de vérifier dans une certaine mesure l'homogénéité de la substance étudiée, tout particulièrement en ce qui concerne le rapport silice: alumine. Mais en employant une telle méthode on ne peut doser successivement les alcalis mis en liberté par les diverses attaques.

Aussi pour suppléer à l'insuffisance de ce mode opératoire, une seconde série d'essais, menée parallèlement à la première, ne comprenait que des attaques chlorhydriques sans aucun lavage alcalin. Ainsi progressivement, toutes les bases combinées à la silice et à l'alumine étaient extraites en même temps que celle-ci, et en particulier les alcalis.

J'ai étudié ainsi deux marnes choisies parmi celles dont l'attaque des parties phylliteuses me donnait la plus faible proportion de résidu, et en particulier, la moins altérée de toutes: la marne verte de Varangéville.

Voici les résultats des premières séries d'essais:

**Attaques fractionnées par l'acide chlorhydrique
étendu de son volume d'eau
suivies de lavages à l'aide de la solution sodique**

Marne verte de Varangéville

Poids de l'essai: 1.8364

Ordre des opérations .	1	2	3	4	5	6	7
Durée — h.	1	1	1	1	1	à siccité	à siccité
Température. degr.	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85
SiO ²	0.1359	0.1840	0.1540	0.0903	0.0595	0.0957	0.0198
Al ² O ³	0.0509	0.0627	0.0510	0.0281	0.0262	0.0417	0.0111
FeO	0.0171	0.0200	0.0220	0.0108	0.0090	0.0108	0.0021
MgO	0.0210	0.0168	0.0148	0.0072	0.0058	0.0075	traces
<i>Rapp. moléculaires:</i>							
SiO ² .							
Al ² O ³	4.54	4.99	5.13	5.46	3.86	3.90	3.03
FeO, MgO							
Al ² O ³	1.52	1.13	1.34	1.19	1.05	0.82	0.26
MgO							
Al ² O ³	1.04	0.68	0.73	0.65	0.56	0.45	

J'ai étudié d'une façon semblable, mais plus sommaire, la marne grise de Saint-Martin, présentant des traces d'altération. Voici les données qu'elle m'a fournies :

Marne grise de Saint-Martin

Poids de l'essai: 1 gr. 9890

Ordre des opérations	1	2
Durée — h.	1	à siccité
Température — degr.	80.85	80.85
SiO ²	0.3836	0.1614
Al ² O ³	0.1443	0.0639
FeO	0.0771	0.0168
CaO	traces	néant
MgO	0.1359	0.0102
<i>Rapports moléculaires:</i>		
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	4.51	4.29
$\frac{\text{FeO, MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	3.15	0.79
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.39	0.40

On peut conclure de ces tableaux que la silice et l'alumine sont entre elles dans un rapport sensiblement constant, légèrement supérieur à quatre. L'attaque fractionnée d'heure en heure montre de plus qu'en fin d'essai, quand le résidu devient inattaquable, ce rapport s'abaisse rapidement et se rapproche de celui que donnent les micas blancs. En même temps, le fer et surtout la magnésie disparaissent à peu près complètement de la liqueur chlorhydrique.

Pour plus de certitude, j'ai voulu me rendre compte si le degré de concentration de l'acide et la température d'attaque influent sur les résultats obtenus. J'ai opéré cette fois avec de l'acide chlorhydrique de concentration croissante agissant à des températures de plus en plus élevées sur un résidu argileux débarrassé au préalable d'une partie de sa silice libre par un lavage sodique, j'ai obtenu les résultats suivants :

**Attaques fractionnées par l'acide chlorhydrique
agissant à des concentrations et des températures variables**

Résidu argileux de la marne verte de Varangéville

(après un lavage sodique)

Poids de l'essai: 1 gr. 4514

Nature des opérations :

Concentration	Temp. degr.	Durée h.	SiO ²	Al ² O ³	FeO-MnO	MgO	SiO ²	FeO, MgO	MgO
			Al ² O ³	Al ² O ³	Al ² O ³				
1/5	50-60	1/2	0.0364	0.0163	0.0092	0.0059	3.80	1.71	0.91
1/5	80-85	1	0.1134	0.0466	0.0151	0.0133	4.14	1.19	0.72
1/2	80-85	1	0.4293	0.1450	0.0556	0.0373	5.03	1.19	0.65

Suivant ces processus, le rapport silice: alumine reste encore sensiblement le même, et rien dans le premier essai ne permet de conclure à l'existence d'un alumosilicate d'une teneur en silice plus faible que celle de toute la masse. Sans doute, on constate régulièrement une légère augmentation entre la première et dernière attaque; mais ce fait est dû vraisemblablement à ce que lors de chaque opération, la teneur en petits éléments de quartz, libérés des parties phylliteuses qui les enrobaient, va en augmentant.

Or, ce minéral en poudre très fine est légèrement soluble dans la solution sodique. On peut donc admettre que les proportions de quartz dissoutes lors des traitements sodiques vont aussi en augmentant, d'où la petite variation constatée au cours des analyses.

L'existence d'un alumo-silicate riche en fer et en alumine et plus attaquant que le reste de la phyllite, n'est pas non plus admissible comme le confirme un dernier essai fait sur le résidu argileux de la même marne. L'attaque fut faite cette fois avec de l'acide chlorhydrique très dilué (1 volume d'acide pour 9 volumes d'eau) pendant peu de temps (1 heure) à une température de 50° à 60° seulement.

Voici les résultats obtenus en partant de 1 gr. 4181:

SiO ²	0.1120
Al ² O ³	0.0327
FeO	0.0073
MgO	0.0131

Les rapports moléculaires correspondants étaient :

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 5.82 \quad \frac{\text{FeO, MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1.33 \quad \frac{\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1.01$$

Toutes ces constatations rendent donc inadmissible l'hypothèse émise précédemment (1).

La phyllite n'est pas formée de plusieurs minéraux dans lesquels les rapports de la silice à l'alumine différeraient d'une façon importante et elle ne renferme pas d'hydrargillite.

Rapports $\frac{\text{MgO, FeO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ et $\frac{\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ — L'étude des rapports $\frac{\text{MgO, FeO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$

dans la marne verte de Varangéville montre qu'ils varient peu au cours des essais. La proportion des bases tend cependant à diminuer, la teneur en magnésie décroissant plus vite que celle en protoxyde de fer (2).

Dans la marne de Saint-Martin, plus riche en mica, ce dernier fait apparaît plus sensible encore, mais cette roche présente des traces d'altération beaucoup plus grandes que la marne de Varangéville.

Rapports $\frac{\text{K}_2\text{O, Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ — Les rapports $\frac{\text{K}_2\text{O, Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ présentent

cette caractéristique remarquable d'être pratiquement constants et voisins de 0.33 (chiffre donné par la muscovite). J'ai pu mettre ces faits en évidence par une deuxième série d'essais dont les résultats suivent.

(1) Page 590.

(2) Ce fait a été également constaté pour la glauconie, comme le montrent les recherches décrites à la fin de ce mémoire (pages 656 à 660).

Attaques par l'acide chlorydrique sans lavages sodiques

	SAINT-MARTIN Poids de l'essai : 1.5181	VARANGÉVILLE Poids de l'essai : 1.7740
1° Attaque 1 heure, 80-90°		
Al ₂ O ₃	0.1103	0.0590
FeO	0.0555	0.0172
CaO	traces	0.0006
MgO	0.0981	0.0198
K ₂ O	0.0226	0.0186
Na ₂ O	0.0021	0.0040
Bases		
Al ₂ O ₃	3.21	1.65
K ₂ O, Na ₂ O		
Al ₂ O ₃	0.25	0.45
2° Attaque jusqu'à siccité, 80-90°		
Al ₂ O ₃	0.0581	0.2022
FeO	0.0180	0.0756
CaO	néant	néant
MgO	0.0101	0.0471
K ₂ O	0.0151	0.0665
Na ₂ O	0.0016	0.0064
Au total SiO ₂	0.4018	0.7057
Bases		
Al ₂ O ₃	1.20	1.53
K ₂ O, Na ₂ O		
Al ₂ O ₃	0.33	0.45

Le mica n'entre pas dans la composition de la phyllite. — On pourrait être tenté, à la suite de cette constatation, de rapporter à un mica blanc l'alcali de la phyllite. Cette hypothèse est à rejeter entièrement pour deux raisons essentielles :

En premier lieu, l'alumine n'existerait alors que sous forme de mica, tandis que le protoxyde de fer et de magnésie formerait un silicate exempt de ce sesquioxyde. La chose serait en contradiction absolue avec les constatations faites à propos du rapport silice : alumine sensiblement constant au cours de toutes les attaques, même quand il se produit des variations entre les rapports magnésie : alumine.

En second lieu, il est facile de prouver que la proportion de muscovite dissoute dans la portion B ne peut être que négligeable.

Le résidu des attaques chlorhydriques est en effet très peu important et la proportion de mica blanc qu'on y trouve, l'est moins encore si on la compare à celle de la phyllite. Elle est de :

4.71 pour 50.62 de phyllite dans la marne verte de Varangéville ;
10.30 pour 42.28 de phyllite dans la marne grise de Saint-Martin.

Or, j'ai établi précédemment que la muscovite réduite en poudre notablement plus fine que celle des marnes étudiées (on trouve dans ces dernières des paillettes d'un diamètre moyen supérieur à 20 μ) n'est attaquable que dans une proportion de 30 % au maximum, suivant mon processus.

En partant de ce nombre, on pourrait conclure que les quantités de mica blanc détruites pendant l'attaque chlorhydrique étaient très faibles par rapport à la phyllite (moins de 2.02 et 4.4 % contre 50.62 et 42.28) mais les essais mentionnés au chapitre III, pages 549 à 553, ont montré que ces nombres sont encore beaucoup trop élevés et que l'acide ne détruit pratiquement qu'un seul minéral.

Celui-ci est donc formé essentiellement d'un alumo-silicate complexe, et non de montmorillonite car lors des attaques fractionnées, les divers rapports $\frac{\text{SiO}^2 \text{ FeO, MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$, $\frac{\text{Alcalis,}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ et tout particulièrement ce dernier, varient peu dans les marnes keupériennes peu altérées.

FORMULE DE LA PHYLLITE. — Reste à fixer la formule de ce corps. La chose est d'autant moins aisée que la matière étudiée est pratiquement amorphe et que, indépendamment de tout élément chimique y existant à l'état de solution solide, elle renferme des inclusions de corps étrangers, en particulier de fines particules de quartz dont on ne peut la séparer physiquement. Il est cependant possible de déterminer par des approximations successives la formule théorique de la partie phylliteuse en partant des données déjà acquises.

Rapport moléculaire $\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ — Le rapport moléculaire silice : alumine en particulier, peut être précisé en éliminant les causes d'erreur dues à la présence de silice libre.

Pour cela, j'ai soumis en premier lieu à l'action de la solution

sodique un certain nombre d'échantillons de marne débarrassés au préalable de leurs carbonates.

Deux traitements préliminaires, l'un d'une demi-heure, l'autre de deux heures, m'ont permis d'éliminer ainsi les petits éléments de quartz solubles dans la liqueur de soude.

Une attaque d'une demi-heure par l'acide chlorhydrique étendu agissant à la température de 50 à 60° m'a permis ensuite de ne détruire que superficiellement les grains de phyllite déjà débarrassés en surface de toute silice libre soluble.

En lavant ensuite la substance pendant un temps très court avec la solution de soude à la même température, je ne dissolvais plus que la silice mise en liberté précédemment. Le rapport silice : alumine donné par ces deux opérations doit donc correspondre à celui de la substance étudiée.

Voici les résultats obtenus :

Saint-Martin, 3.92 ;

Varangéville, 3.98.

Ces nombres sont très voisins de 4 et c'est précisément vers ce chiffre que tendent les rapports silice : alumine obtenus en traitant la partie argileuse des marnes par la solution sodique.

J'en conclus donc que dans le minéral étudié, il existe quatre molécules de silice pour une molécule d'alumine.

Rapport moléculaire $\frac{\text{bases}}{\text{alumine}}$. — La proportion exacte des bases ne peut être fixée d'une façon aussi précise ; dans quelques cas, il existe une quantité de magnésie plus élevée que la moyenne, en particulier pour les marnes de la partie inférieure de l'étage.

Dans le plus grand nombre des échantillons, le rapport bases : alumine est très voisin de deux, c'est ce nombre que j'ai adopté.

Eau de combinaison. — La présence de matières organiques gêne la détermination du rapport eau : alumine. Ces matières organiques ne sont pas complètement détruites au cours de la première opération et il est impossible de fixer leur proportion exacte dans cette roche primitive et dans les résidus des attaques chlorhydriques et partant de faire par différence, la part des matières orga-

niques comptées dans la perte au feu de la phyllite. De plus, dans ces divers résidus, leur teneur varie d'un essai à l'autre pour un même sédiment, par suite des lavages auxquels on les soumet, rendant ainsi illusoire toute détermination précise.

Cependant, dans les marnes du Keuper supérieur en particulier, le pourcentage de ces produits organiques est très faible; il est à peu près nul dans la marne blanche de Laneuveville-devant-Bayon et dans la marne verte de Varangéville.

Le dosage de l'eau combinée m'a conduit à déterminer la proportion de produits volatils au-dessous de 250°.

Cette proportion est faible, comme le montrent les exemples suivants :

	Proportion de perte au feu		
	Entre 108° 250°	250° 610°	Au dessus de 610°
N° 1 PEXONNE	11.49	46.21	42.29
N° 3 Ferme SEROLLE	néant	54.76	45.24
N° 7 Marne blanche de LANEUVEVILLE- DEVANT-BAYON	15.61	59.85	24.54
N° 9 Marne verte de VARANGÉVILLE	3.04	69.32	27.58

Puis en partant des pertes au feu des portions B et C dans ces marnes, j'ai déterminé pour elles le rapport moléculaire $\frac{H^2O}{Al^2O^3}$ qui était de :

N° 1 Marne rouge de PEXONNE	2.29
N° 3 Marne de la Ferme SEROLLE	2.23
N° 7 Marne blanche de LANEUVEVILLE- DEVANT-BAYON	2.25
N° 9 Marne verte de VARANGÉVILLE	1.89

Or les marnes 1 et 7 donnent une perte au feu de 10 à 16 % au-dessous de 250°. Aussi ai-je admis pour le rapport moléculaire théorique $\frac{H^2O}{Al^2O^3}$ le nombre *deux*.

De tout ce qui vient d'être exposé, on peut maintenant conclure que la phyllite des marnes irisées est formée d'une substance définie, très altérable dont la composition chimique théorique serait la suivante :



les bases les plus importantes étant le protoxyde de fer, la magnésie et la potasse.

Cette composition est très voisine de celle de la bravaisite donnée par MALLARD :

SiO² 51.40 Al²O³ 18.90 Fe²O³ 4.00 CaO 2.00 MgO 3.30 K²O 6.50
H²O 13.30 (1)

D'autres raisons exposées à la fin de ce mémoire militent en faveur de ce rapprochement. *Il y a donc lieu de considérer que toutes les phyllites étudiées dans ce chapitre ne sont que des variétés de bravaisite.*

L'altération de ce minéral a pu se faire presque au fur et à mesure de son dépôt, d'où ces teintes bariolées qui caractérisent les marnes irisées et qui sont dues à la présence d'oxyde ferrique accompagné au reste dans certains niveaux de quartz bipyramidés rubiginoux de néoformation.

PORTION C. — La portion C des marnes a une composition moyenne semblable à celle des micas blancs.

Les rapports moléculaires caractéristiques y varient en effet de la façon suivante :

	Portion C des marnes- irisées	Micas blancs
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	de 2.28 à 2.82	de 1.99 à 3.40
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	de 0.25 à 0.43	de 0.23 à 0.38
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	de 0.85 à 1.33	de 0.82 à 1.46

Le microscope confirme ces données analytiques ; dans aucun cas, je n'ai pu distinguer de kaolinite dans tous ces résidus, mais par contre, la muscovite y abonde, et parfois même est visible à l'œil nu.

J'ai vérifié encore la valeur de ces constatations en me basant sur une donnée bien classique : les argiles du type de la kaolinite perdent toute leur eau au-dessous de 610°. D'autre part, les matières

(1) MALLARD. — Sur la bravaisite. Bulletin de la Société Minéralogique de France, t. 1, p. 5, 1878.

organiques des marnes disparaissent entièrement au-dessous de cette température. L'expérience suivante faite sur un sédiment de ce genre particulièrement riche en hydrocarbures m'a permis de constater ce fait :

Une marne oligocène de Mulhouse, étudiée d'ailleurs en détail dans la suite de ce mémoire, renfermait environ 3,5 % de substances organiques. Après avoir été chauffée une demi-heure jusqu'à 610°, celles-ci avaient complètement disparu.

Par contre, le mica blanc conserve dans les mêmes conditions la majeure partie de son eau, soit 3 à 3 1/2 % de son poids primitif.

En se basant sur ces données, on peut admettre que toute la perte au feu d'un résidu au-dessus de cette température, est due uniquement à du mica blanc et on peut y vérifier l'absence du kaolin ou d'halloysite; il suffit pour cela de calculer la valeur théorique de la perte en eau de ce résidu en supposant que toute la partie attaquant par l'acide sulfurique n'est formée que de muscovite. En comparant le nombre obtenu ainsi avec celui que donne l'expérience, il devient facile de vérifier l'absence d'argile, ou dans le cas contraire, d'en déterminer la proportion avec assez d'exactitude.

J'ai appliqué cette méthode à quelques cas particuliers.

Voici quels furent les résultats obtenus :

ESSAIS SUR LE DEUXIÈME RÉSIDU CHLORHYDRIQUE

	Proportion de la partie attaquant par SO_4H^2			
	Au total	Après déduct. du rutile et de l'ilménite	Perte au feu calculée	Perte au feu trouvée
PEXONNE	41.29	37.64	1.30	1.18
SEROLLE	24.06	22.36	0.77	1.03
LANEUVEVILLE-DEVANT-BAYON (Marne blanche)	43.61	41.06	1.41	1.53
HORTES	19.16	27.34	0.94	0.73
VARANGÉVILLE (Marne verte)	37.06	33.05	1.14	0.99

La concordance de ces chiffres est suffisante, étant donné les écarts qui existent dans la composition des diverses variétés de mica blanc.

La vérification du fait admis est donc acquise, et avec elle ce

point très important: *il n'existe pas d'argile en proportion notable dans les marnes du Trias lorrain.*

L'*orthose* par contre, se trouve dans tous les résidus d'attaque. Les résidus sableux en renferment souvent une proportion très élevée. Dans la totalité de la roche, cette teneur atteint à la base de l'étage 10.73 % (Pexonne).

En résumé: les marnes du Trias lorrain sont essentiellement formées de carbonates: *calcite* et *dolomite*, l'un ou l'autre de ces minéraux pouvant prédominer presque exclusivement par rapport à l'autre.

La *phyllite*, élément essentiel de ces sédiments, présente une composition toute différente de celle des argiles. Cette composition la rapproche des chlorites dont elle diffère cependant par sa forte teneur en alcalis.

Contrairement aux conclusions de WULFING relatives aux marnes keupériennes de Souabe, la *phyllite* du Trias lorrain est homogène et n'est pas formée essentiellement de chlorite et de pilolite. *C'est une bravaisite.*

Elle peut cependant présenter des différences de composition notables. Elle s'altère facilement.

Le *mica blanc*, l'*orthose* et le *quartz* sont les minéraux détritiques essentiels de la roche. Le *rutile*, le *zircon* et la *tourmaline* s'y joignent très accessoirement.

Tels sont les éléments constitutifs des marnes triasiques. Toutes les recherches entreprises ont par contre démontré l'*absence d'argile* dans tous ces sédiments.

La chaux n'existe pas non plus dans les diverses parties silicatées de ces roches, fait qui implique l'*absence de minéraux calciques et en particulier de feldspaths calco-sodiques.*

VI. - JURASSIQUE ET CRÉTACÉ

Les échantillons étudiés ont été prélevés dans les assises suivantes :

INFRALIAS-RHETIEN. — Marnes de Levallois (10 mètres) à la base du niveau. (Echantillon N° 13.)*

SINEMURIEN. — Argiles à *Hyppopodium Ponderosum* (25 mètres) vers le sommet. (Echantillon N° 14.)*

CHARMOUTHIEN. — Argiles à *Amaltheus Margaritatus* et à *Amaltheus Spinatus* (30 mètres) au milieu de l'assise (Echantillon N° 15.)*

AALENIEN. — Argiles micacées du sommet de la formation (6 à 8 m.) au milieu de l'assise. (Echantillon N° 16.)

OXFORDIEN. — Marnes grises (70 mètres), à la base de l'étage. (Echantillon N° 17.)*

ALBIEN. — Argiles de Myennes. (Echantillon N° 18 remis par M. le Professeur LE CHATELIER.)

En dehors des analyses de BRACONNIER intéressant les divers niveaux du Jurassique lorrain, il existe toute une série de données sur les argiles albiennes des environs de Myennes et de Saint-Amand-en-Puisaye (Nièvre) qui ont été établies par LAVEZARD, suivant la méthode d'analyses fractionnées de VOGT. Elles n'ont donc porté que sur les parties les plus tenues des sédiments étudiés. Malgré cette imperfection, on peut conclure que ceux-ci renferment une proportion notable d'alcalis et de magnésie.

Infralias - Rhétien

(13) NOMENY *

Les essais ont porté sur une roche feuilletée, grise, provenant d'un puits récemment foncé.

Le quartz détritique y abonde, accompagné de mica blanc dont les paillettes atteignent souvent une dimension moyenne de 25 à 30 μ . Quelques grains de calcédoine s'y rencontrent également; des rutiles, des tourmalines et des zircons sont les éléments accessoires les plus répandus. Plus rarement apparaissent des fragments de grenats, et même de corindon. A signaler aussi une faible proportion d'ilménite.

La matière organique est assez abondante.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	8.11 %
B.	49.28 %
C.	15.43 %
D.	27.18 %

A. renfermait : CaCO_3 8.11 % ; MgCO_3 néant.

La partie carbonatée est donc formée uniquement de calcite.

B. et C. ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO_2	52.46	41.92
TiO_2		8.07
Al_2O_3	24.06	30.18
Fe_2O_3		3.18
FeO	6.56	
MnO	0.20	
CaO	0.21	
MgO	2.65	0.60
K_2O	2.75	4.65
Na_2O	1.28	1.37
Perte au feu	9.82	10.09
SiO_2		
Al_2O_3	3.71	2.36
Bases		
Al_2O_3	0.88	
MgO		
Al_2O_3	0.28	
$\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$		
Al_2O_3	0.17	0.24
H_2O		
Al_2O_3	2.31	1.89

Dans la portion B, la teneur en alumine est un peu plus élevée que précédemment, la teneur en magnésie est beaucoup plus faible, la proportion de potasse est également moins forte. Cependant, l'examen microscopique de ce premier résidu permet d'y reconnaître une phyllite analogue à celle des marnes keupériennes.

La portion C donne deux rapports moléculaires silice: alumine et alcalis: alumine, très comparables à ceux des micas blancs.

Cependant le second est un peu plus faible tandis que le rapport perte au feu: alumine est plus élevé que celui de la muscovite. Il est certain que ce dernier fait est dû, en partie tout au moins, à la présence de matières organiques; mais pour mieux se rendre compte de la part à faire à cette hypothèse, j'ai déterminé la perte au feu du deuxième résidu chlorhydrique au-dessus de 610° .

La proportion trouvée est de 0.71 %, tandis que le calcul donne 1.09 (1).

Il existerait donc dans le mélange une proportion assez importante d'halloysite, qu'on peut calculer, en partant du rapport théorique des alcalis à l'alumine dans la muscovite, on trouve ainsi 28 molécules d'halloysite pour 72 molécules de mica blanc, soit dans tout le sédiment: 3.75 et 9.95 %.

Enfin l'analyse de la portion D a fourni les données suivantes:

SiO ² , ZrO ²	92.98
TiO ²	traces
Al ² O ³	3.94
CaO	néant
K ² O	2.36
Na ² O	0.30
Perte au feu	0.42

D'où l'on tire le rapport moléculaire alcalis: alumine = 0.78 plus faible que celui correspondant à la formule théorique de l'orthose. Cet écart peut provenir d'une composition différente du

(1) Le résidu renferme en effet 36.22 % de matière attaquable par l'acide sulfurique, contenant 11.25 d'ilménite et de rutile. Si toute cette matière était de la muscovite, dont la perte au feu au-dessus de 610° est de 3.45 %, la perte au feu du résidu au-dessus de 610° serait donc de:

$$\frac{36.22}{100} \times \frac{100 - 11.25}{100} \times 3.45 = 1.09.$$

minéral résultant suivant toute vraisemblance de son altération incomplète: c'est l'hypothèse que j'ai adoptée.

Dans ce cas, la proportion de feldspath en D serait de 21.41 (1). On peut alors définir de la façon suivante la composition minéralogique du sédiment.

<i>Calcite</i>	8.10
<i>Phyllite</i>	49.30
<i>Halloysite</i>	3.75
<i>Mica blanc</i>	9.95
<i>Ilménite, rutile</i>	1.75
<i>Orthose</i>	5.80
<i>Quartz, zircon</i>	21.35

Sinémurien

(14) NOMEUV*

Argiles à *Hyppopodium Ponderosum*. L'échantillon étudié a été recueilli dans un abri creusé pendant la guerre. La roche feuilletée, d'une teinte gris-bleu, renferme une forte proportion de matières organiques.

Le quartz détritique et la muscovite, dont la dimension moyenne des paillettes atteint souvent 25 à 30 μ . forment les éléments essentiels qui accompagnent la phyllite.

J'ai reconnu également la présence de tourmalines et de zircons comme éléments accessoires. Des rutiles, plus rares et quelques grains de calcédoine s'y trouvent aussi, ainsi que de l'ilménite.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	4.63 %
B.	42.99 %
C.	21.82 %
D.	30.56 %

A n'était formé que de carbonate de calcium.

(1) Cependant ce fait peut être dû aussi à la présence dans le résidu d'un peu de muscovite qui aurait échappé à l'attaque sulfurique. Dans ce cas, on peut calculer la part qui revient à ce minéral dans le mélange, soit: 3.38 % contre 14.35 % d'orthose.

Des analyses de B et C ont donné les résultats suivants :

	B	C
SiO ²	49.02	44.47
TiO ²		5.57
Al ² O ³	27.76	31.52
Fe ² O ³		1.68
FeO	7.60	
MnO	néant	
CaO	néant	
MgO	2.78	0.50
K ² O	2.85	3.82
Na ² O	1.04	1.74
Perte au feu	8.95	10.68
SiO ²		
<u>Al²O³</u>	3.01	2.39
Bases		
<u>Al²O³</u>	0.78	
<u>MgO</u>		
<u>Al²O³</u>	0.25	
<u>K²O, Na²O</u>		
<u>Al²O³</u>	0.17	0.22
<u>H²O</u>		
<u>Al²O³</u>	1.82	1.92

L'analyse de la portion B se rapproche beaucoup plus de la composition de la kaolinite que tous les sédiments étudiés jusqu'ici.

La teneur en alumine est plus élevée; celle de la magnésie et des alcalis est plus faible que dans les phyllites du Trias.

Dans la portion C, le rapport de la silice à l'alumine est celui que donnent les micas blancs; mais si la proportion d'alcalis est encore élevée, elle est un peu moindre que dans ces minéraux. Le rapport eau: alumine est très voisin de celui donné par les argiles; mais il y a lieu de déduire de la teneur en eau une forte proportion de matières organiques comptées comme telle dans la perte au feu.

Ici encore, le mica blanc prédomine, accompagné toutefois suivant toute vraisemblance, d'un peu d'argile, dont la proportion est, en partant de la teneur en alcalis de la muscovite, de 34 molécules d'hallowite pour 66 molécules de mica.

D'après toutes ces données, la composition minéralogique du sédiment étudié serait la suivante :

<i>Calcite</i>	4.60
<i>Phyllite</i>	43.00
<i>Halloysite</i>	6.75
<i>Mica blanc</i>	13.50
<i>Ilménite, rutile</i>	1.60
<i>Orthose, quartz détritique, zircon</i>	30.55

Charmouthien

(15) JEANDELAINCOURT *

Argiles à Amaltheus Margaritatus et à Amaltheus Spinatus.

L'échantillon fut prélevé au front de taille d'une exploitation en activité.

Cette roche est d'une couleur gris-bleu; elle est assez riche en matières organiques. Le quartz détritique y abonde, mêlé de paillettes de muscovite. Je n'ai trouvé que quelques petits rutilles accompagnés d'un peu de magnétite et d'ilménite. De très petites sphères de pyrite apparaissent dans toute la masse.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	11.50 %
B.	64.04 %
C.	11.89 %
D.	12.57 %

A ne renfermait que du carbonate de calcium.

B et C ont donné les résultats analytiques suivants :

	B	C
FeS ²		1.50
SiO ²	50.80	45.41
TiO ²		3.87
Al ² O ³	23.13	28.66
Fe ² O ³		3.20
FeO, MnO	7.44	
CaO	néant	
MgO	4.75	0.59
K ² O	4.03	4.58
Na ² O	2.40	1.29
Perte au feu	7.38	10.90

$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	3.37	2.69
Bases	1.23	
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.52	
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.36	0.26
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	1.80	2.09

La portion B a une composition très voisine de celle des marnes de Levallois; elle diffère ainsi notablement de celle des phyllites keupériennes. Comme le montre le tableau de la page 618, le fer s'y trouvait presque entièrement à l'état de protoxyde.

C donne des rapports silice : alumine, alcalis : alumine, voisins de ceux des micas blancs. Par contre, le rapport perte au feu : alumine est supérieur à 2 (2.18). Cet excès de matières volatiles est dû tout au moins en partie à la présence des matières organiques. Reste à déterminer la proportion théorique d'argile dans le mélange. La perte au feu du résidu au-dessus de 610° est de 1.25, alors que le calcul théorique donnerait 1.53, si toute la substance ne renfermait que de la muscovite. Il existe donc dans cette portion C une certaine quantité d'argile du type de l'halloysite dont la proportion peut être calculée.

Elle serait, d'après le rapport alcalis : alumine de 28 molécules d'argile pour 72 de muscovite. Tout le sédiment renfermerait donc 3.00 % d'halloysite et 7.90 % de mica blanc.

D'autre part, le résidu D a donné à l'analyse :

$\text{SiO}^2, \text{ZrO}^2$	85.79
TiO^2	faibles traces
Al^2O^3	6.74
CaO	néant
K^2O	6.76
Na^2O	0.12
Perte au feu	0.59

D'où l'on déduit le rapport moléculaire alcalis : alumine = 1.12, un peu supérieur et très voisin de celui de l'orthose.

On peut donc admettre que ce minéral est le seul silicate existant dans la portion D dont la composition est la suivante :

Orthose	36.63
Rutile	traces
Quartz et zircon	63.37

La composition minéralogique de tout le sédiment peut donc être fixée comme il suit :

<i>Calcite</i>	11.5
<i>Phyllite</i> ,	64.05
<i>Halloysite</i>	3.0
<i>Mica blanc</i>	7.9
<i>Ilménite, rutile</i>	0.85
<i>Pyrite</i>	0.2
<i>Orthose</i>	4.6
<i>Quartz détritique et zircon</i>	7.9

Aalénien

(16) PIENNES

L'échantillon étudié provient du fonçage d'un puits de mine effectué il y a vingt ans.

Cette roche a une teinte gris-noir, on y distingue à l'œil nu des paillettes de mica.

Le quartz détritique y est très abondant, ainsi que la muscovite. Les minéraux accessoires sont uniquement représentés par quelques zircons et de très petits rutiles. La tourmaline manque; la magnétite est rare. Par contre, la roche est riche en matières organiques.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	4.89 %
B.	41.71 %
C.	21.41 %
D.	31.99 %

La portion A ne renfermait que du carbonate de calcium.

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
SiO ²	45.49	42.81
TiO ²		5.17
Al ² O ³	25.70	32.25
Fe ² O ³		0.91
FeO, MnO	10.61	
CaO	néant	
MgO	3.27	0.64
K ² O	4.05	4.11
Na ² O	1.07	1.09
Perte au feu	9.80	13.02

$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	3.01	2.33
Bases	1.16	
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.32	
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.24	0.19
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.16	2.28

L'analyse de la portion B diffère totalement de toutes celles des roches étudiées jusqu'ici, si l'on excepte cependant l'argile sinémurienne de Nomeny. Le rapport silice: alumine est voisin de 3.

Une partie du fer existe à l'état de peroxyde hydraté. Les rapports magnésie: alumine et alcalis: alumine sont inférieurs à ceux que donnent les marnes triasiques.

La portion C donne un rapport alcalis: alumine = 0.19, notablement plus faible que celui des micas blancs. De ce seul fait, la présence d'argile dans le deuxième résidu chlorhydrique ne peut être mise en doute; toutefois, ici encore, le mica prédomine dans la partie attaquant par l'acide chlorhydrique.

La perte au feu de C à 610° est de 0.77 % alors que théoriquement, elle devrait être de 1.30 %.

Il existe donc bien de l'halloysite dans ce résidu et sa proportion calculée comme précédemment est de :

43 molécules pour 57 molécules de muscovite, soit, dans l'ensemble du sédiment: 8.47 d'argile et 11.64 de mica.

D'autre part, le résidu D a donné à l'analyse :

$\text{SiO}^2, \text{ZrO}^2$	92.78
TiO^2	faibles traces
Al^2O^3	3.43
CaO	néant
K^2O	2.33
Na^2O	0.67
Perte au feu	0.79

D'où l'on tire le rapport alcalis: alumine = 1.06.

Il n'existe donc pas de mica dans ce résidu et la proportion d'orthose y est de 18.64 %.

La composition minéralogique du sédiment étudié est donc la suivante :

<i>Calcite</i>	4.90
<i>Phyllite</i>	41.70
<i>Halloysite</i>	8.50
<i>Mica blanc</i>	11.65
<i>Ilménite, rutile</i>	1.30
<i>Orthose</i>	5.95
<i>Quartz détritique et zircon</i>	26.00

Oxfordien

(17) CORNÉVILLE *

L'échantillon a été recueilli dans une marnière située à la base de l'étage.

Le quartz détritique et le mica blanc, dont les paillettes ont un diamètre moyen atteignant 20 μ y sont très abondants. Des tourmalines et quelques petits octaèdres de rutile sont les seuls minéraux accessoires que j'y ai rencontrés. L'ilménite est par contre assez abondante. La présence de quelques grains de pyrite est à signaler. Les matières organiques existent en quantités importantes.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	27.51 %
B.	23.64 %
C.	12.02 %
D.	36.83 %

A. renfermait: CaCO_3 24.08 % soit 0.241 molécule
 MgCO_3 3.44 % soit 0.041 molécule

correspondant à : 20.00 de calcite
 7.50 de dolomite

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
FeS^2		3.17
SiO^2	54.58	36.66
TiO^2		6.75
Al^2O^3	19.97	26.24
Fe^2O^3		6.87
FeO, MnO	6.85	
CaO	néant	
MgO	4.03	0.77
K^2O	5.30	6.61
Na^2O	0.36	1.31
Perte au feu	8.90	11.64

$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	4.65	2.38
$\frac{\text{Bases}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	1.42	
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.52	
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.32	0.35
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.65	2.75

L'analyse de la portion D donne des résultats très voisins de la composition des phyllites des marnes irisées supérieures, dont les teneurs en magnésie sont toutefois un peu plus élevées.

Dans la portion C, les rapports alcalis: alumine et silice: alumine sont ceux de la muscovite. Par contre, la perte au feu est très élevée. Elle est due pour une large part à la présence de matières organiques et le minéral alumineux n'est formé que de mica blanc. J'ai vérifié ce dernier fait en déterminant la perte au feu de la substance au-dessus de 610° . Elle doit être théoriquement de 0.75. L'expérience m'a donné le nombre de 0.68, très voisin de ce dernier. La concordance de ces nombres peut être regardée comme suffisante. Il n'existe donc pas d'argile dans la marne de Cornéville.

La portion D a la composition suivante:

$\text{SiO}^2, \text{ZrO}^2$	90.96
TiO^2	faibles traces
Al^2O^3	4.45
CaO	néant
K^2O	3.66
Na^2O	0.26
Perte au feu	0.67

Elle donne le rapport alcalis: alumine = 0.99 qui est le même que celui de l'orthose.

En partant de toutes ces données, on peut fixer comme il suit la composition minéralogique de la marne de Cornéville:

Calcite	20.0
Dolomite	7.5
Phyllite	23.65
Mica blanc	10.60
Pyrite	0.4
Ilménite, rutile	1.05
Orthose	8.9
Quartz et zircon	27.9

Albien

(18) MYENNES

L'échantillon étudié m'a été remis fort aimablement par M. le Professeur LE CHATELIER. Il provient d'un dépôt argilo-sableux transgressif reposant en discordance sur les calcaires portlandiens.

Il renferme de grosses inclusions de gypse, qui ont été éliminées par délitage et tamisage.

Ce niveau a déjà été étudié par le géologue LAVILLE (1) et par le chimiste LAVEZARD (2).

A côté de quartz détritique et de paillettes de mica blanc d'un diamètre moyen atteignant parfois 20 μ , j'ai trouvé comme éléments accessoires des tourmalines, du rutile et des zircons existant parfois en inclusions dans le mica. Quelques grenats, quelques éléments de topaze, de très rares disthènes les accompagnent, ainsi qu'un peu de magnétite et d'ilménite. La matière organique est assez abondante.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	8.26 %
B.	22.97 %
C.	20.60 %
D.	48.17 %

A ne renfermait que du carbonate de calcium.

B et C ont donné les résultats suivants :

SiO ²	45.94	44.66
TiO ²		2.93
Al ² O ³	21.07	33.10
Fe ² O ³		1.89
FeO, MnO	17.61	
CaO	néant	
MgO	3.71	0.75
K ² O	5.27	5.25
Na ² O	0.75	1.85
Perte au feu	5.65	9.55

(1) M. LAVILLE. — Etude géologique sur les gisements des argiles de France. Mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, année 1906, pages 1 à 13.

(2) E. LAVEZARD. — Contribution à l'étude des argiles de France. Mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, année 1906, pages 137 à 147.

$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	3.78	2.29
Bases		
$\frac{\text{Al}^2\text{O}^3}{\text{MgO}}$	1.23	
$\frac{\text{Al}^2\text{O}^3}{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}$	0.45	
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.33	0.26
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	1.52	1.63

La composition de la partie phylliteuse, bien que se rapprochant de celle des marnes irisées, en diffère néanmoins quelque peu, en particulier par une très forte proportion d'oxyde de fer provenant, il est vrai, en bonne partie, d'hydroxyde ferrique, et par une teneur en silice un peu plus faible. La proportion de magnésie est également moindre. Par contre, ici encore, le rapport alcalis : alumine égale 0.33, comme dans la muscovite.

La portion C a sensiblement la composition d'un mica blanc, mais la teneur en alcalis est un peu faible.

J'ai recherché quelle était la perte au feu du deuxième résidu chlorhydrique au-dessus de 610° et j'ai trouvé 0.62 % alors qu'elle devrait être de 0.98 si la partie attaquable par l'acide sulfurique ne renfermait pas d'argile.

J'en conclus que C est formé en partie d'un mélange d'hallowysite et de muscovite dont les proportions respectives seraient en partant de la composition théorique de la muscovite de 22 molécules d'argile et 78 molécules de mica blanc.

D'autre part, la portion D m'a donné à l'analyse :

$\text{SiO}^2, \text{ZrO}^2$ (par différence)	95.24
TiO^2	1.41
Al^2O^3	1.77
CaO	néant
K^2O	1.22
Na^2O	0.16
Perte au feu	0.20

D'où le rapport moléculaire alcalis : alumine = 0.89.

Ce rapport est très voisin du nombre théorique, aussi ai-je admis qu'il n'existe pas de muscovite dans cette portion D qui renfermerait ainsi : 9.62 % d'orthose ; 1.41 % de rutile.

En sorte que la composition globale du sédiment est la suivante :

<i>Calcite</i>	8.25
<i>Phyllite</i>	23.0
<i>Halloysite</i>	4.2
<i>Mica blanc</i>	15.4
<i>Ilménite, rutile</i>	1.7
<i>Orthose</i>	4.6
<i>Quartz et zircon</i>	42.85

JURASSIQUE ET CRÉTACÉ

Composition de la phyllite des diverses argiles étudiées

	RHETIEN	SINEMURIEN	CHARMOU- THIEN	AALÉNIEN	OXFORDIEN	ALBIEN
	Nomeny	Nomeny	Jeande- laincourt	Piennes	Cornéville	Myennes
SiO ²	52.46	49.02	50.80	45.49	54.58	45.94
Al ₂ O ₃	24.06	27.76	23.13	25.70	19.07	21.07
FeO	6.56	7.60	7.44	10.61	6.85	17.61
MnO	0.20	néant	—	néant	traces	—
CaO	0.21	néant	néant	néant	néant	néant
MgO	2.65	2.78	4.75	3.27	4.03	3.71
K ₂ O	2.75	2.85	4.03	4.05	5.30	5.27
Na ₂ O	1.28	1.04	2.46	1.07	0.36	0.75
Perte au feu	9.82	8.95	7.38	9.80	8.90	5.65
<u>SiO₂</u>	3.71	3.01	3.73	3.01	4.65	3.78
<u>Al₂O₃</u>						
<u>Bases</u>	0.88	0.78	1.23	1.16	1.42	1.23
<u>Al₂O₃</u>						
<u>MgO</u>	0.28	0.25	0.52	0.32	0.52	0.45
<u>Al₂O₃</u>						
<u>K₂O, Na₂O</u>	0.17	0.17	0.36	0.24	0.32	0.33
<u>Al₂O₃</u>						
<u>H₂O</u>	2.31	1.82	1.80	2.16	2.65	1.52
<u>Al₂O₃</u>						

Composition générale de ces sédiments

LES MINÉRAUX DÉTRITIQUES. — Toutes ces données peuvent être résumées de la façon suivante :

On retrouve dans toutes les argiles et les marnes du Secondaire les mêmes minéraux détritiques que dans le Trias.

Par contre, les *quartz de néoformation* rencontrés dans cet étage, manquent ici, tandis que la *pyrite* apparaît souvent.

LA PHYLLITE. — Le microscope permet de reconnaître une phyllite d'un aspect analogue à celle des marnes irisées, mais dont les caractères optiques sont moins accusés.

L'analyse de cette phyllite montre que sa composition varie: le rapport de la silice à l'alumine diminue en même temps que la teneur en carbonate du sédiment. La proportion de magnésie diminue également dans la phyllite quand la teneur en alumine augmente. Le rapport des alcalis à l'alumine est généralement plus faible que précédemment.

Mais ici encore la chaux manque et la teneur en fer reste sensiblement la même, ce métal existant d'ailleurs encore en bonne partie à l'état de protoxyde.

	NOMENY Rhétien argile grise	JEANDELAIN- COURT Charmou- thien arg. gr. bl. (1)	PIENNES Aalénien argile grise	CORNÉ- VILLE Oxfordien m. gris bleu	MYENNES Albien argile grise
La teneur de FeO dans la phyllite (<i>en supposant que tout le fer qui s'y trouve est à l'état de protoxyde</i>) était en % de:	6.56	7.44	10.61	6.85	17.61
équivalant en FeO, dans toute la marne à:	3.23	4.76	4.42	1.62	4.05
La teneur en Fe ² O ³ de la marne (déduction faite de Fe ² O ³ de la portion C) était de:	2.18	0.48	2.10	0.91	3.55
équivalant à une teneur en FeO dans toute la marne à:	1.96	0.43	1.89	0.82	3.20
La teneur réelle en FeO dans la phyllite correspondait donc à une teneur en FeO dans toute la marne de:	1.27	4.33	2.53	0.80	0.85
et la teneur en FeO dans la phyllite seule était réellement en % de:	2.58	6.76	6.07	3.38	3.69

Les phyllites des divers niveaux étudiés dans ce chapitre présentent donc des compositions nettement différentes les unes des autres. Le rapport silice: alumine varie dans d'assez fortes proportions: de 3.01 à 4.65. J'ai recherché la cause de ces variations en faisant agir la solution de soude sur tous ces résidus argileux. Opérant dans ce but suivant le même processus que pour les marnes keupériennes, j'ai obtenu les résultats suivants:

(1) Échantillon recueilli dans une marnière en exploitation, au pied du front de taille, et analysé quelques jours après.

	13			14			16			17			18		
	Argiles du Rhétien			Argiles de Jeandelaincourt			Argiles micacées de Piennes			Marnes de Cornéville			Argiles de Myennes		
Ordre des opérations	1	2	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Durée de chacune d'elles . . . h.	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2
Poids de l'essai. g.	1.9484			1.3521			1.6008			1.6000			1.4012		
Quantités dissoutes:															
SiO ²	0.0272	0.0545	0.0458	0.0224	0.0323	0.0349	0.0288	0.0216	0.0230	0.0398	0.0213	0.0190	0.0083	0.0405	0.0300
Al ² O ³	0.0098	0.0235	0.0272	0.0067	0.0204	0.0242	0.0066	0.0106	0.0157	0.0077	0.0078	0.0090	0.0013	0.0243	0.0174
Proport. d'alumine solubilisée par rapport à la totalité de l'essai (1)	0.40	1.21	1.39	0.49	1.52	2.59	0.41	0.66	0.98	0.46	0.46	0.54	0.09	1.73	1.24
Rapp ^t moléculaire :															
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	4.71	3.94	2.86	5.68	2.69	2.45	7.42	3.46	2.49	6.77	4.64	3.59	10.85	2.83	2.93

(1) Les parties argileuses étudiées renfermaient de 14 à 21 % d'alumine.

Le rapport silice: alumine. — Si la marne de Cornéville se comporte encore comme les marnes du Keuper, cette fois pour les échantillons 13, 14, 16, 18, le rapport silice: alumine tend vers un nombre compris entre 2 et 3.

Mais ici encore, la solution n'a pas dissous de silice libre en proportion notable, tandis qu'après une attaque par l'acide chlorhydrique concentré, un simple lavage alcalin en entraîne une proportion importante. La silice est donc presque entièrement combinée dans ces phyllites.

Afin de préciser la composition de ces dernières, j'ai soumis deux d'entre elles à des attaques fractionnées.

Voici quels furent les résultats de ces essais:

	ARGILE DE PIENNES		ARGILE DE MYENNES	
	Poids de l'essai: 2.0870		1.2563	
Ordre des opérations	1	2	1	2
Durée des opérations	1 h.	2 attaques poussées jusqu'à siccité	1 h. 1/2	2 attaques poussées jusqu'à siccité
Température	80-85°	80-85°	80-85°	80-85°
SiO ²	0.0750	0.2856	0.0591	0.0538
Al ² O ³	0.0473	0.1560	0.0274	0.0340
FeO, MnO	0.0553	0.0379	0.0393	0.0080
MgO	0.0131	0.0145	0.0054	0.0030
<i>Rapports moléculaires:</i>				
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.81	3.11	3.66	2.69
$\frac{\text{FeO, MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.36	0.58	2.53	0.56
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.70	0.24	0.50	0.22

Ce tableau montre que le rapport entre la silice et l'alumine n'est pas constant, il diminue au cours des essais. De plus, la proportion de fer et magnésie diminue elle aussi dans les mêmes conditions, mais ce fait peut provenir de l'altération des deux sédiments étudiés.

Autres rapports moléculaires. — Afin d'obtenir plus de précision sur ce point, j'ai eu recours à une nouvelle série d'attaques fractionnées faites cette fois sans lavages sodiques.

Les valeurs trouvées sont consignées dans le tableau suivant :

	ARGILE DE PIENNES		ARGILE DE MYENNES	
	Poids de l'essai : 2.7121		Poids de l'essai : 2.2875	
Ordre des opérations	1	2	1	2
Degré de concentration de l'acide	HCl	HCl	HCl	HCl
Durée des opérations	2	2	4	2
à siccité		2 att. poussées jusqu'à siccité	1 h. 1/2	2 att. poussées jusqu'à siccité
Température	80-85°	80-85°	80-85°	80-85°
Al ² O ³	0.0812	0.1854	0.0198	0.0983
FeO	0.0790	0.0380	0.0394	0.0665
MgO	0.0189	0.0138	0.0056	0.0124
K ² O	0.0131	0.0285	0.0053	0.0225
Na ² O	0.0060	0.0066	0.0010	0.0030
Bases				
$\frac{\text{Al}^2\text{O}^3}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.12	0.76	3.91	1.58
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.29	0.23	0.37	0.30
Quantité de silice extraite sur l'ensemble des deux essais		0.4733		0.2597
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$		3.02		3.74

Il ressort de l'examen de ce tableau que le rapport des alcalis à l'alumine ne diminue que dans une faible proportion lors des attaques et reste très comparable à celui du mica blanc. On doit même ajouter que pratiquement le rapport de la potasse à l'alumine est constant.

Ces phyllites sont sensiblement homogènes. — Si l'on fait seulement état de ces éléments chimiques, les parties phylliteuses étudiées se comportent donc comme des corps sensiblement homogènes. Par contre, le rapport des autres bases à l'alumine diminue au cours des attaques, mais on doit tenir compte de la facilité avec laquelle les phyllites s'altèrent, fait mis en évidence par la rapidité avec laquelle leur protoxyde de fer se peroxyde.

D'autre part, les alcalis de cette portion B ne peuvent être attribués pour une part importante à la présence de fines particules de mica blanc incluses dans les sédiments étudiés. Celui-ci se concentre en effet dans le résidu des attaques chlorhydriques et cette portion,

qui renferme d'ailleurs des paillettes de ce minéral de dimensions très supérieures à μ , est toujours moins importante que la portion B.

Ce raisonnement, déjà employé à propos de la composition des marnes triasiques (1), conduit à la même conclusion et la présence, dans les résidus micacés, d'un peu d'halloysite ou d'une argile semblable, ne peut modifier cette façon de voir, car tous ces minéraux sont encore moins attaquables que la muscovite par l'acide chlorhydrique. Tout au plus peut-on attribuer à leur présence la très faible diminution de teneur en alcali constatée au cours des attaques fractionnées.

J'admets donc qu'ici encore, les phyllites des sédiments étudiés possèdent une composition chimique qui leur est propre et diffère complètement de celle des argiles pures.

Les analyses montrent que cette composition chimique varie dans une assez forte proportion: dans les sédiments peu calcaires les teneurs en alcali et en magnésie, variant dans le même sens que la teneur en silice, sont d'autant plus faibles qu'est petite la proportion de calcaire dans le sédiment. Par contre, dans les véritables marnes, on retrouve une phyllite moins riche en alumine et comparable à celle des marnes triasiques.

Les pertes au feu de toutes ces phyllites présentent elles aussi des caractéristiques bien définies. Elles sont peu importantes au-dessous de 250° car elles dépassent rarement 10 % de la totalité des produits volatils, comme le montre le tableau suivant:

PROPORTION DE PERTE AU FEU

		Entre 108-250 degr.	Entre 250-610 degr.	Au-dessus de 610 degr.
Nomeny, RHETIEN	%	9.31	65.69	25.00
Jeandelaincourt, CHARMOUTHIEN	%	9.20	62.44	18.36
Piennes, AALÉNIEN	%	7.29	70.06	22.64
Cornéville, OXFORDIEN	%	12.75	48.00	39.26
Myennes, ALBIEN	%	6.68	75.40	17.92

D'un autre côté, tous les rapports moléculaires perte au feu: alumine sont voisins et généralement supérieurs à deux. Il semble donc bien que le rapport eau: alumine soit encore voisin de deux

(1) Voir chapitre V, pages 597 et 598.

pour toutes ces phyllites. *Leur composition rapproche donc ces substances de la bravaisite*, bien que certaines d'entre elles aient une teneur en alumine un peu plus élevée et que la proportion de bases y soit moins forte que dans ce minéral.

LA PORTION C. — Les portions C de tous ces sédiments renferment encore des quantités importantes d'alcalis dont l'origine doit être rapportée au mica blanc. Cependant, dans la plupart des cas, le rapport caractéristique alcalis : alumine est très notablement plus faible que dans la muscovite et les analyses correspondantes semblent démontrer la présence d'argile dans ces résidus.

La détermination de leur perte au feu confirme cette constatation : *si le mica blanc forme l'élément essentiel de la partie attaquée par l'acide sulfurique, il est accompagné très souvent d'une argile du type de la kaolinite*, et la proportion de ce minéral par rapport au mica est généralement d'autant plus forte qu'est faible la teneur en carbonate de la roche étudiée.

En résumé, les sédiments argileux et les marnes du Lias ont une composition très variable. Leur teneur en calcaire varie entre 4.63 % et 27.51 %, et la dolomie n'a été rencontrée que dans le sédiment le plus calcaire.

La proportion d'alumine dans la phyllite varie de la même façon que la teneur en carbonate dans la roche, tandis que le contraire se produit pour la magnésie. Ces phyllites sont sensiblement homogènes. *Elles sont essentiellement formées de bravaisite ou de minéraux très voisins* qui n'en sont que des variétés.

Ceux-ci sont accompagnés de *mica blanc*, et très accessoirement d'une *argile du type de la kaolinite*, qui disparaît dans les marnes.

D'autres minéraux détritiques s'y joignent : le *quartz* et l'*orthose* sont les principaux ; les autres comprennent les éléments déjà rencontrés dans le Trias, entre autres : le *zircon*, la *tourmaline*, le *rutile*, l'*ilménite*.

Ici encore, les feldspaths calco-sodiques font défaut.

VII. - TERTIAIRE

Les niveaux étudiés dans ce chapitre sont :

Les argiles plastiques à lignites pyriteuses du Sparnacien.

Les argiles à silex de l'Eure.

Les marnes et argiles du Sannoisien (éch. n^{os} 19 à 25 inclus).

Mes essais n'ont porté que sur ces dernières. Les recherches faites par LAVEZARD sur les autres assises suffisaient en effet pour en définir la composition minéralogique.

ARGILES SPARNACIENNES

Les argiles sparnaciennes de la région de Montereau, recueillies par LAVILLE, ainsi que les argiles à silex de l'Eure (étage e_v de la carte géologique de France au 1/80.000^e) ont été étudiées chimiquement par LAVEZARD suivant un procédé d'analyse décrit précédemment (1).

Les bonnes indications géologiques que l'on possède sur la provenance exacte de presque tous ces échantillons, rendent plus particulièrement intéressants les résultats obtenus. On peut les résumer ainsi : d'une façon générale, les parties argileuses de ces sédiments sont formées d'halloysite ou d'un minéral similaire, les carbonates y feraient à peu près complètement défaut. Ce sont les conclusions de LAVEZARD et on ne peut que les adopter. En effet, les rapports moléculaires de la silice à l'alumine sont voisins de deux ou tendent vers ce nombre lors des essais sodiques. Ceci est vrai pour tous les échantillons étudiés, à l'exception d'un seul banc (argile de Salins couche n^o 6, banc supérieur, qualifié de sable argileux verdâtre par LAVILLE et situé immédiatement au-dessous

(1) Chapitre I, page 523.

du calcaire de Champigny) (1). Si l'on excepte encore ce petit niveau, on constate que les teneurs en magnésie sont très faibles et atteignent à peine 0,5 %, tandis que les résidus micacés déjà étudiés dépassent presque toujours très notablement ce taux.

Analyse de quelques argiles sparnaciennes

	Carrière Sachot couche n. 3	Argile de Salins couche n. 6	Argile de Salins couche n. 4	Argile de Salins couche n. 1	Argile des Repenailles couche n. 2	Halloysite de Breteuil-sur- Iton Eure	Argile de la Lande Eure
Partie sableuse	14.56	63.81	66.82	6.33	6.83	0.00	0.00
Partie argileuse							
Portion inattaquée	20.97	11.79	12.49	18.47	21.55	32.11	32.79
Portion attaquée (1)	64.47	24.40	20.69	75.20	71.62	67.89	67.21
SiO ²	47.71	52.33	45.12	46.32	46.39	43.50	43.53
TiO ²	2.09	3.40	1.54	1.88	1.78	1.76	1.60
Al ² O ³	31.98	23.88	37.52	36.00	35.97	38.46	36.00
Fe ² O ³	3.82	6.88	0.94	1.22	1.50	1.23	4.17
CaO	1.35	1.78	0.40	0.56	0.46	0.29	0.37
MgO	0.61	1.68	0.16	0.35	0.39	0.10	0.24
K ² O	1.05	1.65	0.57	0.89	1.44	1.85	1.11
Na ² O	0.67	0.50	0.37	0.17	0.06	0.80	0.40
H ² O (perte au rouge)	10.72	7.90	13.38	12.81	12.01	12.01	12.58
<i>Rapp. moléculaires:</i>							
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.53	3.73	2.04	2.18	2.19	1.92	2.05
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.05	0.17	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.07	0.11	0.03	0.03	0.05	0.09	0.05
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	1.89	1.73	2.01	2.01	1.89	1.77	1.97
(1) Par l'acide sulfurique.							

Même remarque pour les rapports alcalis: alumine. Alors que dans tous les sédiments marins étudiés précédemment, ce rapport est compris entre 0,19 et 0,40 pour les parties les moins riches en

(1) LAVILLE. — Mémoire cité, page 18, glaisière de la Tuilerie Briant.

alcalis (portion C), les argiles sparnaciennes et celles de l'Eure donnent un nombre très inférieur, qui n'atteint même pas 0.1.

A une exception près, *ces roches sont donc presque uniquement formées d'halloysite et de quartz*, mais les minéraux essentiels des sédiments étudiés jusqu'ici manquent au contraire, à peu près complètement.

A ces différences fondamentales de composition, correspondent des modes de formations différentes. Les sédiments sparnaciens présentent des faciès lacustres (ou laguno-lacustres près de Monttereau), tandis que les argiles à silex de l'Eure sont considérées comme les produits de décalcification de bancs de craie (1).

MARNES SANNOISIENNES

Si l'on étudie ensuite les niveaux marneux du Sannoisien, remarquables par leur puissance, on est frappé par l'énorme différence qui existe entre la composition de leur partie argileuse et celle des argiles sparnaciennes.

Cette différence est mise en relief dans le tableau suivant où, à côté des résultats extraits des travaux de LAVEZARD, figurent quelques analyses personnelles présentées de la même façon que celles de cet auteur, afin d'en faciliter l'interprétation.

Frappé de cette différence, j'ai étudié quelques échantillons de ce niveau, suivant ma méthode habituelle et j'ai étendu ces recherches aux assises correspondantes de l'Oligocène d'Alsace.

C'est par l'exposé et l'interprétation de tous les résultats obtenus ainsi que je terminerai ce chapitre.

(1) A. DE LAPPARENT. — Sur l'argile à silex du Bassin de Paris. C. R. A. S., tome 112, page 316, année 1891.

E. HAUG. — Traité de Géologie, tome 1, p. 399, Paris, 1907.

Portions B et C réunies

	SPARNA- CIEN	SANNOSIEN					
	Les Repentailles couche n. 2 (1)	Montmirail couche VIII (1)	Le Thiolet Aisnes couche 2 (1)	Fresnes couche 4 Analyse 3 (1)	Romainville couche 5	Romainville *marne blanche	Bremmelsbach * Alsace marne verte
SiO ²	46.39	51.21	53.39	48.23	55.10	54.92	47.47
TiO ²	1.78	1.28	0.98	1.45	1.14	0.59	1.33
Al ² O ³	35.97	21.16	20.29	22.37	16.65	18.37	26.03
Fe ² O ³	1.50	9.37	8.47	8.22	7.17	7.69	7.28
Mn ² O ⁴	néant	néant	néant	1.24	0.12	0.07	néant
CaO	0.46	2.64	0.18	néant	1.09	0.24	néant
MgO	0.39	2.41	3.56	4.60	5.93	5.33	4.40
K ² O	1.44	3.71	4.15	5.19	5.22	4.41	5.70
Na ² O	0.06	0.54	2.14	1.33	0.38	0.74	0.83
H ² O (perte au rouge)	12.01	7.68	6.84	7.37	7.20	7.63	6.06
<i>Rapp. moléculaires:</i>							
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.19	4.12	4.48	3.69	5.63	5.08	3.10
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.03	0.29	0.44	0.53	0.91	0.74	0.43
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.05	0.23	0.39	0.35	0.38	0.33	0.29
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	1.89	2.06	1.90	1.87	2.44	2.36	1.52

(1) LAVEZARD. — Mémoire cité, pages 128, 189, 186, 182, 178.
* Analyses personnelles.

(19-20) Romainville *

Les deux échantillons étudiés ont été recueillis dans la carrière de Romainville, l'un a été prélevé dans les marnes blanches immédiatement au-dessous du calcaire de Brie, l'autre provient des marnes vertes situées plus bas au-dessus du gypse. Ce sont surtout ces dernières qui ont été étudiées par LAVEZARD (1).

(1) M. LAVEZARD. — Mémoire cité, pages 178 à 190 inclus.

Dans les deux échantillons que j'ai recueillis, le quartz détritique est abondant, le mica blanc est plus rare et le diamètre maximum de ses éléments atteint à peine 10 μ . A côté d'eux quelques tourmalines et quelques zircons sont à signaler, la magnétite et l'ilménite sont peu abondantes. Il y a lieu également de faire état d'une notable proportion de matières organiques.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

MARNE VERTE	MARNE BLANCHE
A. 18.82 %	A. 52.99 %
B. 56.08 %	B. 35.53 %
C. 11.32 %	C. 6.85 %
D. 13.78 %	D. 4.63 %

Dans ces deux roches, la portion A ne renferme que du carbonate de calcium.

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	MARNE VERTE		MARNE BLANCHE	
	B	C	B	C
SiO ²	56.99	49.27	56.79	47.73
TiO ²		4.25		3.67
Al ² O ³	18.19	26.64	16.66	28.00
Fe ² O ³		2.91		3.25
FeO	7.39		7.76	
MnO	0.06		0.08	
CaO	neant		0.29	
MgO	4.49	0.55	6.27	0.70
K ² O	4.63	6.23	4.30	5.19
Na ² O	1.32	2.00	0.52	1.90
Perte au feu	6.90	8.15	7.33	9.56
SiO ²				
Al ² O ³	5.27	3.14	5.79	2.90
Bases				
Al ² O ³	1.66		1.94	
MgO				
Al ² O ³	0.63		0.96	
K ² O, Na ² O				
Al ² O ³	0.35	0.38	0.32	0.31
H ² O				
Al ² O ³	2.15	1.73	2.49	1.93

Les parties phylliteuses (B) donnent à l'analyse des nombres très voisins de ceux fournis par les marnes keupériennes. Toutefois, la teneur en silice est ici un peu plus élevée et la proportion de magnésie un peu plus faible. Le rapport alcalis: alumine est encore très voisin de 0.33.

Il en est de même dans la portion C et, si l'on s'en tient à ce chiffre, l'absence d'argile paraît évidente. Cependant, la teneur en silice est anormale pour un mica blanc. J'ai recherché la cause de ce fait en examinant ce résidu au microscope.

J'ai pu y reconnaître un peu d'opale d'origine biologique.

Le rapport silice: alumine s'explique alors: bien que soluble dans la solution de soude, l'opale l'est moins cependant que la silice mise en liberté par les attaques acides, aussi n'est-elle dissoute qu'en partie par le premier lavage alcalin.

Le reste passe dans le deuxième résidu chlorhydrique.

La présence d'opale, c'est-à-dire d'un minéral renfermant de l'eau, explique aussi en partie les pertes au feu un peu plus élevées des portions B et C.

L'absence d'argile a été vérifiée également pour la marne verte, en déterminant la perte au feu de la portion C au-dessus de 610° . Elle est de 1.54 % et le calcul donne 1.44 %. L'opale perdant toute son eau au-dessous de 610° , la concordance est bonne.

Le résidu D de la marne verte a donné l'analyse:

SiO ₂ , ZrO ₂	90.31
TiO ₂	0.34
Al ₂ O ₃	5.09
CaO	néant
K ₂ O	3.14
Na ₂ O	0.85
Perte au feu	0.27

D'où l'on tire le rapport moléculaire alcalis: alumine = 0.77.

Ce nombre est encore suffisamment élevé pour qu'on puisse admettre l'absence de mica dans le mélange (1) et la composition minéralogique de la marne verte s'établit comme il suit, la teneur en orthose en D étant de 27.66 %:

(1) Dans le cas contraire, les proportions des deux éléments dans la portion D seraient de 4.57 % de mica et 18.09 % d'orthose.

<i>Calcite</i>	18.8
<i>Phyllite</i>	56.1
<i>Mica blanc</i>	10.5
<i>Ilménite, rutile</i>	0.85
<i>Orthose</i>	3.8
<i>Quartz, zircon</i>	9.95

(21) Fresnes

M. le Professeur LE CHATELIER a bien voulu attirer mon attention sur la marne verte de Fresnes. Il eut l'extrême obligeance de m'adresser un échantillon de cette roche. Celle-ci renfermait une forte proportion de gros sable.

Le quartz détritique et un mica blanc (diamètre moyen maximum 15 μ) y abondent. J'ai pu également y constater la présence de grains d'orthose de dimensions semblables à celles du mica. Quelques tourmalines, quelques petits zircons et de très petits rutilites les accompagnent, ainsi qu'un peu de magnétite et d'ilménite. La pyrite existe en quantité appréciable. Il convient aussi de signaler la présence de matières organiques.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	18.65 %
B.	34.52 %
C.	16.43 %
D.	30.40 %

A. renfermait: CaCO_3 17.71 % soit 0.177 molécule
 MgCO_3 0.94 % soit 0.011 molécule

correspondant à :

16.60 % de calcite
 2.05 % de dolomite

B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	B	C
Pyrite		1.18
SiO_2	52.92	46.47
TiO_2		6.14
Al_2O_3	16.28	31.11
Fe_2O_3		0.90
FeO	11.98	
MnO	0.70	
CaO	néant	
MgO	4.48	0.39
K_2O	5.85	4.63
Na_2O	1.27	1.50
Perte au feu	6.51	7.68

$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	5.52	2.54
$\frac{\text{Bases}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.15	
$\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.70	
$\frac{\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	0.52	0.24
$\frac{\text{H}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	2.26	1.47

La portion B a pratiquement la même composition que dans les marnes de Romainville, bien que la teneur en fer soit un peu plus forte.

La portion C a une composition très voisine de celle des micas blancs. Cependant, la teneur en alcalis est un peu faible.

L'analogie qui existe entre cette roche et les deux précédentes m'a naturellement conduit à y rechercher l'opale dans le second résidu chlorhydrique. J'ai pu reconnaître ce minéral au microscope, bien qu'il soit très peu abondant.

Il convient également de signaler la présence d'un peu de pyrite.

La perte au feu au-dessus de 610° était de 0.91 quand le calcul donne 1.11. Il y a un écart appréciable entre ces deux chiffres. Ce fait est dû vraisemblablement à l'existence d'un peu d'argile en C. On aurait d'après le rapport alcalis: alumine: 28 molécules d'halloysite pour 72 de mica.

D'autre part, la portion D a fourni à l'analyse les résultats suivants:

$\text{SiO}^2, \text{ZrO}^2$	94.28
TiO^2	0.90
Al^2O^3	2.65
CaO	néant
K^2O	1.71
Na^2O	0.11
Perte au feu	0.35

D'où l'on tire le rapport moléculaire alcalis: alumine = 0.76 plus faible que celui correspondant à la composition théorique de l'orthose (1).

(1) Le calcul de la proportion de muscovite pouvant exister dans la portion D donne 2.48 % et celle du feldspath 9.22 %.

A ces quantités, s'ajoute de toutes façons 0.90 % de rutile, et la composition minéralogique de la roche peut être définie de la façon suivante, en admettant qu'il n'existe pas de mica dans la portion D.

<i>Calcite</i>	16.60
<i>Dolomite</i>	2.05
<i>Phyllite</i>	34.5
<i>Halloysite.</i>	4.15
<i>Mica blanc</i>	10.95
<i>Pyrite</i>	0.2
<i>Ilménite, rutile</i>	1.4
<i>Orthose</i>	4.4
<i>Quartz, zircon</i>	25.75

(22) Pechelbronn *

Cet échantillon a été recueilli au mur d'une des couches pétrolières. La roche est une marne verte où le quartz détritique et le mica blanc abondent. Les paillettes de ce dernier minéral peuvent atteindre un diamètre moyen de 20 μ . C'est la dimension maximale de quelques éléments d'orthose que j'ai pu identifier d'une façon sûre.

Les minéraux rares sont représentés par des zircons et des rutiles, très peu abondants d'ailleurs, et par quelques tourmalines. Il convient de signaler aussi de la magnétite et de l'ilménite, ainsi qu'un peu de pyrite.

Un peu de matière organique accompagnait le tout.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	24.43 %
B.	29.30 %
C.	21.03 %
D.	25.24 %

A. renfermait: CaCO_3 18.89 % soit 0.189 molécule
 MgCO_3 5.54 % soit 0.066 molécule

correspondant à 12.30 % de calcite
 12.15 % de dolomite

Les analyses de B et C ont donné les résultats suivants :

	B	C
Pyrite		2.40
SiO ²	48.15	44.24
TiO ²		3.24
Al ² O ³	20.78	31.27
Fe ² O ³		3.77
FeO	7.47	
MnO	néant	
CaO	»	
MgO	7.89	0.00
K ² O	6.11	5.28
Na ² O	2.10	2.10
Perte au feu	7.50	6.79
SiO ²		
<u>Al²O³</u>	3.94	2.40
Bases		
<u>Al²O³</u>	2.21	
MgO		
<u>Al²O³</u>	0.97	
<u>K²O, Na²O</u>		
<u>Al²O³</u>	0.49	0.29
H ² O		
<u>Al²O³</u>	2.05	1.37

La composition de la portion B de cette marne est la même que celle des phyllites des marnes irisées supérieures.

La même analogie apparaît pour la portion C. Cependant, au microscope, j'y ai reconnu la présence d'un peu d'opale. Une quantité notable de pyrite est également à signaler.

D'autre part, l'analyse de la portion D a donné les résultats suivants :

SiO ² , ZrO ²	91.10
TiO ²	traces
Al ² O ³	4.51
K ² O	3.94
Na ² O	0.15
Perte au feu	0.30

Le rapport moléculaire alcalis : alumine (0.99) est celui que donne l'orthose. Il n'existe donc pas de mica dans cette portion et la composition du sédiment est la suivante :

<i>Calcite</i>	12.3
<i>Dolomite</i>	12.15
<i>Phyllite</i>	29.3
<i>Mica blanc</i>	19.05
<i>Pyrite</i>	0.5
<i>Ilménite, rutile</i>	1.45
<i>Orthose</i>	6.20
<i>Quartz, zircon</i>	19.05

(23-24) Bremmelsbach

Les deux échantillons étudiés m'ont été remis obligeamment par M. le Professeur GIGNOUX. Ils proviennent d'un sondage foré pour la recherche du pétrole dans l'Oligocène d'Alsace et ont été prélevés dans les couches supérieures de la formation pétrolifère.

L'altération à laquelle est due la marne rouge est d'ailleurs peu prononcée, la roche renfermant encore des portions vertes.

Le microscope m'a permis d'y reconnaître une phyllite analogue à celle des marnes irisées. Elle est accompagnée de gros éléments de quartz détritique et parfois de calcédoine; on y trouve aussi du mica blanc. J'ai pu y distinguer des grains assez gros d'orthose (quelques 30 à 40 μ) de même origine que les minéraux précédents. Les zircons sont assez nombreux, les corindons, les grenats et les rutiles, moins abondants, les tourmalines, rares, l'ilménite plus rare encore et la pyrite absente.

La matière organique est peu abondante.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

MARNE VERTE	MARNE ROUGE
A. 25.33 %	A. 27.80 %
B. 33.34 %	B. 32.18 %
C. 26.71 %	C. 15.21 %
D. 20.62 %	D. 24.81 %

Les portions A avaient les compositions suivantes :

CaCO_3 19.43 % soit 0.1943 molécule	CaCO_3 20.62 % soit 0.2062 molécule
MgCO_3 5.90 % soit 0.0699 molécule	MgCO_3 7.18 % soit 0.0852 molécule

correspondant à :

12.44 % de calcite	12.12 % de calcite
12.89 % de dolomite	15.71 % de dolomite

D'autre part, B et C ont fourni à l'analyse les données suivantes :

	MARNE VERTE		MARNE ROUGE	
	B	C	B	C
SiO ²	50.12	43.99	47.81	46.57
TiO ²		3.46		4.48
Al ² O ³	21.48	33.69	21.36	32.24
Fe ² O ³		3.31		3.20
FeO	8.85		10.84	
MnO	néant		néant	
CaO	néant		néant	
MgO	6.48	1.15	5.94	1.30
K ² O	5.81	5.62	5.78	6.04
Na ² O	0.92	0.70	1.14	0.43
Perte au feu	0.33	8.07	7.12	5.74
<u>SiO²</u>				
<u>Al²O³</u>	4.06	2.22	3.85	2.45
Bases				
<u>Al²O³</u>	1.71		1.81	
<u>MgO</u>				
<u>Al²O³</u>	0.77		0.71	
<u>K²O, Na²O</u>				
<u>Al²O³</u>	0.36	0.22	0.37	0.22
<u>H²O</u>				
<u>Al²O³</u>	1.67	1.36	1.89	1.01

Les parties phylliteuses ont une composition tout à fait semblable à celle des marnes irisées supérieures de Laneuveville-devant-Bayon. La marne rouge renferme un peu plus de fer que la marne verte.

Les portions C présentent des rapports silice : alumine, alcalis : alumine et, eau : alumine correspondant encore à peu de chose près à ceux des micas blancs, fait confirmé pour la marne verte par la détermination de la perte au feu au-dessus de 610°. Le nombre trouvé est 1.62 alors que le calcul théorique donne 1.72.

Etant donné la similitude de composition de ces deux marnes je n'ai analysé que le résidu D de la marne verte; j'ai obtenu les résultats suivants :

SiO ² , ZrO ²	94.30
TiO ²	traces
Al ² O ³	3.61
CaO	néant
K ² O	1.83
Na ² O	traces
Perte au feu	0.26

D'où l'on tire le rapport moléculaire alcalis: alumine = 0,56 correspondant théoriquement à un mélange de 34 molécules d'orthose, pour 66 molécules de muscovite. Proportion que j'ai adoptée, ce rapport étant trop faible pour ne pas admettre ici l'existence de ce dernier minéral.

En partant de ces résultats et de la teneur en alumine, le calcul donne les proportions suivantes dans la portion D: muscovite, 6,18 %; orthose, 6,68 %, et la composition théorique de la marne verte, établie à l'aide de ces dernières données, est la suivante:

<i>Calcite</i>	12.45
<i>Dolomite</i>	12.9
<i>Phyllite</i>	33.35
<i>Muscovite</i>	20.05
<i>Ilménite, rutile</i>	1.9
<i>Orthose</i>	1.4
<i>Quartz, zircon</i>	17.95

(25) Mulhouse

Désireux de comparer avec les marnes des environs de Pechelbronn les sédiments du même étage appartenant à la formation salifère du bassin de Mulhouse, j'ai étudié un échantillon prélevé au mur de la couche inférieure de sylvinites à la mine Reischland (1).

La forte teneur en hydrocarbures de ce sédiment est tout à fait remarquable. A la température ordinaire, il dégage une forte odeur analogue à celle des grès pétrolifères.

Cette matière organique résiste d'ailleurs en majeure partie aux premiers traitements chlorhydriques et ne disparaît qu'après l'attaque sulfurique; elle enrobe tous les éléments constitutifs et en gêne beaucoup la reconnaissance. Aussi, à côté de quartz détritiques très fins, je n'ai pu reconnaître dans le deuxième résidu chlorhydrique que des paillettes de mica blanc et de très rares grains de pyrite

(1) Je dois cet échantillon à l'amabilité de M. DE RETZ, directeur général des Mines de potasse d'Alsace.

PROPORTION DES DIVERSES PARTIES

A.	15.61	%
B.	29.62	%
C.	24.52	%
D.	30.25	%

A renfermait uniquement du carbonate de calcium et un peu de gypse dans les proportions suivantes :

Ca, SO ⁴ , 2 H ² O	1.63
Ca, CO ²	13.98

B et C avaient les compositions suivantes :

	B	C
Pyrite		0.39
SiO ²	47.48	41.85
TiO ²		3.44
Al ² O ³	18.75	28.66
Fe ² O ³		1.62
FeO	7.58	
MnO	0.20	
CaO	néant	néant
MgO	6.62	1.22
K ² O	7.99	5.37
Na ² O	1.25	0.91
Perte au feu	10.12	16.43
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	4.40	2.48
<u>Bases</u>		
Al ² O ³	2.06	
<u>MgO</u>		
Al ² O ³	0.90	
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0.57	0.26
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	3.06	3.29

La composition de la phyllite est encore semblable à celles des trois sédiments de l'Oligocène du Bas-Rhin (Pechelbronn et Bremelsbach). Comme dans ces marnes, la portion C n'est pratiquement formée que de mica blanc, la perte au feu tout à fait anormale de cette portion ne peut en effet entrer en ligne de compte car elle est due presque entièrement à des hydrocarbures.

D'autre part, le résidu D avait la composition suivante :

SiO ² , ZrO ²	76.53
TiO ²	traces
Al ² O ³	11.40
CaO	traces
K ² O	10.67
Na ² O	0.62
Perte au feu	0.78

Et le rapport alcalis : alumine est ici de 1.10, rapport de l'orthose. Il n'existe donc pas de muscovite dans ce résidu et la composition minéralogique du sédiment peut être définie de la façon suivante :

<i>Gypse</i>	1.65
<i>Calcite</i>	14.00
<i>Phyllite</i>	29.60
<i>Mica blanc</i>	23.05
<i>Pyrite</i>	0.10
<i>Ilménite, rutile</i>	1.35
<i>Orthose</i>	18.75
<i>Quartz, zircon</i>	11.50

Considérations générales sur la composition des marnes sannoisiennes

LES MINÉRAUX DÉTRITIQUES. — Les sédiments sannoisiens renferment les mêmes minéraux détritiques que toutes les roches étudiées antérieurement. Ce sont, à côté du quartz et du mica blanc, des zircons, des rutiles, des tourmalines, moins abondants toutefois que dans les marnes triasiques. Je n'ai guère rencontré d'autres éléments sauf quelques corindons et quelques grenats dans les niveaux d'Alsace.

LES CARBONATES. — Par contre, des organismes silicifiés apparaissent dans ces assises. Dans l'ensemble, la teneur en carbonates de ces roches les fait rentrer dans la catégorie des marnes. La dolomite, si fréquente dans les marnes keupériennes, existe encore dans cet étage, surtout en Alsace; mais plus accessoirement.

LA PHYLLITE. — La phyllite présente au microscope le même

aspect que celle des sédiments du Trias. Cette similitude n'apparaît pas seulement ainsi: les essais chimiques révèlent encore une grande ressemblance entre toutes ces roches. Le tableau ci-inclus, en résumant leur composition fait ressortir en particulier le peu d'écart de leur teneur en magnésie.

Tertiaire

Composition de la phyllite des diverses marnes étudiées

	ROMAIN-VILLE marne verte	FRESNES	PECHEL-BRONN	BREMMELS-BACH marne verte	BREMMELS-BACH marne rouge
SiO ²	56.99	52.92	48.15	50.12	47.81
Al ² O ³	18.19	16.28	20.78	21.48	21.36
FeO	7.59	11.98	7.47	8.85	10.84
MnO	0.06	0.70	néant	néant	néant
CaO	néant	néant	néant	néant	néant
MgO	4.49	4.48	7.89	6.48	5.94
K ² O	4.03	5.85	6.11	5.81	5.78
Na ² O	1.32	1.27	2.10	0.92	1.14
Perte au feu	6.90	6.51	7.50	6.33	7.12
<hr/> SiO ²					
Al ² O ³	5.27	5.52	3.94	4.06	3.85
Bases					
Al ² O ³	1.66	2.15	2.21	1.71	1.81
MgO					
Al ² O ³	0.63	0.70	0.97	0.77	0.71
K ² O, Na ² O					
Al ² O ³	0.35	0.52	0.49	0.36	0.37
H ² O					
Al ² O ³	2.15	2.26	2.05	1.67	1.89

Les oxydes de fer. — Ici encore, le fer existe surtout à l'état de combinaison protoxydée instable et l'analyse fait ressortir la présence d'une proportion importante d'oxyde ferreux.

En voici quelques exemples :

	ROMAIN-VILLE marne verte	FRESNES	PECHEL-BRONN
La teneur de FeO dans la phyllite (en supposant que tout le fer qui s'y trouve est à l'état de protoxyde) était en % de :	7.39	11.98	7.47
équivalant à une teneur en FeO dans toute la marne de :	4.14	4.14	2.19
La teneur en Fe ² O ³ de la marne (déduction faite de Fe ³ O ⁴ de la portion C) était en % de :	2.98	3.76	1.70
équivalant à une teneur en FeO dans toute la marne de :	2.60	3.36	1.53
La teneur réelle en FeO dans la phyllite correspondait donc à une teneur en FeO dans toute la marne de :	1.54	0.76	0.66
et la teneur en FeO dans la phyllite seule était réellement de :	2.75	2.20	2.25

L'eau. — Comme dans toutes les marnes étudiées précédemment, les matières volatiles, l'eau en particulier, ne disparaissent qu'en faible proportion au-dessous de 250°, le tableau suivant en est la preuve.

	ROMAIN-VILLE marne verte	FRESNES	BREMMELS-BACH marne verte
Perte au feu entre 108° et 250°....	17.98	10.63	3.38
— entre 250° et 610°....	54.89	63.32	54.91
— au-dessus de 610°....	27.13	26.05	41.72

Le rapport silice: alumine. — Cependant, dans les échantillons recueillis aux environs de Paris, le rapport de la silice à l'alumine est notablement plus élevé que dans ceux provenant du Sannoisien d'Alsace ou du Trias de Lorraine.

J'ai recherché la cause de cette différence en faisant agir comme précédemment la solution sodique sur les résidus argileux. J'ai obtenu les résultats suivants :

	A			B			C			D			E		
	Marne blanche de Romainville			Marne verte de Fresnes			Marne verte de Pechelbronn			Marne verte de Bremmelsbach			Marne grise de Mulhouse		
Ordre des opérations	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Durée de chacune d'elles	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2	1/2	2	2
Poids de l'essai	1.3555			1.5768			0.9875			0.8792			1.6721		
Quantités dissoutes															
SiO ²	0.0461	0.0648	0.0408	0.0255	0.0582	0.0235	0.0230	0.0146	0.0158	0.0096	0.0104	0.0064	0.0167	0.0232	0.0178
Al ² O ³	0.0039	0.0154	0.0170	0.0081	0.0262	0.0106	0.0038	0.0065	0.0067	0.0017	0.0049	0.0029	0.0033	0.0102	0.0066
Proportion d'alumine solubilisée par rapport à la totalité de l'essai (i)	0.29	1.13	1.25	0.51	1.66	0.67	0.38	0.65	0.67	0.19	0.56	0.33	0.19	0.61	0.39
Rapport moléculaire															
$\frac{\text{SiO}^2}{\text{Al}^2\text{O}^3}$	20.10	7.15	4.08	5.35	3.78	3.79	10.29	3.82	4.01	16.32	3.61	3.75	8.60	3.87	4.50

(i) Les parties argileuses étudiées renfermaient de 14 à 20 % d'alumine.

Tous ces rapports tendent indistinctement vers le nombre quatre comme dans les marnes du Trias. Les premières opérations indiquent cependant une teneur un peu plus forte en silice. Elle peut être due, en partie tout au moins, à une légère attaque de la phyllite par l'acide chlorhydrique étendu. Mais cette explication est nettement insuffisante dans le cas de la marne blanche de Romainville, où la quantité anormale de silice trouvée ne peut être attribuée qu'à la présence d'opale ou à celle d'un silicate peu ou pas alumineux.

Dans ce dernier cas, il suffit de laver à froid le résidu des essais avec de l'acide chlorhydrique très étendu (1/20) pour en extraire l'oxyde de fer et la magnésie mis en liberté par l'attaque sodique. Si le rapport de ces bases à la totalité de l'alumine solubilisée dans les trois opérations est très supérieur à celui donné par l'analyse directe de la phyllite, on est en droit de conclure à la présence d'un silicate. Dans le cas contraire, on doit admettre l'existence d'opale dans la phyllite.

Or, pour tous ces essais, la quantité d'alumine était de 0.0363 et l'analyse de la liqueur chlorhydrique y indique la présence de 0 gr. 0080 de FeO et de 0 gr. 0116 de MgO, d'où le rapport moléculaire $\frac{\text{FeO, MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1.13$ au lieu de 1.94 pour l'ensemble de la phyllite.

Il existe donc de la silice libre en proportion très notable dans la marne blanche de Romainville, fait conforme aux données du microscope.

L'analyse fractionnée de cette phyllite fournit d'ailleurs des résultats présentant les mêmes caractéristiques que ceux du Trias.

Ces deux phyllites se comportent donc comme celles du Trias. La décroissance des rapports $\frac{\text{FeO, MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ et $\frac{\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ constatée déjà à propos de ces dernières, apparaît également ici sans que ce fait paraisse présenter d'autre origine que l'altération rapide de la substance.

Sans être absolument constants, les rapports $\frac{\text{K}_2\text{O, Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ diminuent beaucoup plus lentement tout en restant ceux donnés par les micas blancs.

**Attaques fractionnées par l'acide chlorhydrique
sans lavage sodique**

Marne blanche de Romainville

Poids de l'essai: 1.2128

	1 ^{re} attaque d'une heure	2 ^e attaque poussée jusqu'à siccité
Al ² O ³	0.0495	0.0803
FeO	0.0299	0.0303
CaO	0.0041	néant
MgO	0.0287	0.0164
K ² O	0.0145	0.0179
Na ² O	0.0016	0.0030

SiO² mise en liberté au cours des attaques: 0.4370.

Rapports moléculaires

<u>Bases</u>		
alumine	3.00	1.39
<u>Alcalis</u>		
alumine	0.37	0.30

Marne verte de Romainville

	1 ^{re} attaque d'une heure	2 ^e attaque poussée jusqu'à siccité
Al ² O ³	0.0807	0.0819
FeO	0.0446	0.0241
MgO	0.0248	0.0170
K ² O	0.0226	0.0182
Na ² O	0.0048	0.0037

SiO² mise en liberté au cours des attaques: 0.5076.

Rapports moléculaires

<u>Bases</u>		
alumine	1.97	1.21
<u>Alcalis</u>		
alumine	0.40	0.30

Les raisons qui m'ont amené à conclure à l'homogénéité des phyllites triasiques s'imposent donc encore pour les sédiments sannoisiens. A l'exception d'un peu d'opale, plus abondante dans les

marnes des environs de Paris que dans celles d'Alsace, la silice est ici entièrement combinée, ainsi que le font ressortir les essais à la soude. Ceux-ci, de même que les analyses fractionnées, démontrent l'absence d'argile dans les résidus dits argileux. Enfin le rapport silice : alumine, toujours égal ou supérieur à quatre, la proportion relativement faible de muscovite dans ces sédiments, ne permettent pas d'attribuer au mica blanc la potasse dissoute par les attaques chlorhydriques.

*Les phyllites sannoisiennes et triasiques
ont des compositions semblables*

Les phyllites des marnes sannoisiennes sont donc pratiquement les mêmes que celles des marnes triasiques, comme le font pressentir du reste leurs propriétés optiques ; ce sont des bravaisites. Des caractères communs apparaissent également dans les parties mica-cées (résidu C) de toutes ces marnes. Ces résidus, encore formés essentiellement de mica blanc, sont accompagnés toutefois d'un peu d'opale, particulièrement dans les marnes des environs de Paris. Cependant, il peut exister une très faible proportion d'halloysite dans quelques-uns de ces sédiments, sans que celle-ci soit supérieure à 4 %. L'orthose serait moins riche en potasse que dans les étages plus anciens.

Il y a donc une grande similitude de composition entre ces roches du Tertiaire d'une part et du début du Trias d'autre part, malgré l'énorme espace qui les sépare dans les temps géologiques, malgré les différences de distance qui existent entre leurs gisements et les roches primitives dont elles ont pu dériver. Par contre, leurs conditions de dépôt sont les mêmes : toutes ces marnes appartiennent à des formations halogènes ainsi que l'attestent le gypse et souvent le sel qui se trouvent intercalés dans leurs gisements.

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Les sédiments argileux tertiaires, les argiles sparnaciennes, les argiles à silex de l'Eure d'une part et les marnes et argiles sannoisiennes d'autre part, présentent donc des différences de composi-

tion fondamentales, bien que leurs affleurements soient relativement peu éloignés les uns des autres et qu'ils appartiennent à la même période géologique. Ils sont par contre de formation toute différente: *aux faciès d'eau douce correspondent des argiles exemptes de calcaires et constituées essentiellement par de l'halloysite*, tandis que les *dépôts halogènes, généralement riches en carbonates, renferment surtout un alumo-silicate de fer de magnésium et de métaux alcalins, la bravaisite*, et sont en cela très semblables aux marnes lagunaires du Trias, malgré l'énorme période qui les sépare d'elles.

VIII. - Comparaison des roches étudiées avec quelques autres dépôts sédimentaires Résumé de la composition générale de tous ces sédiments

Dans leur ensemble, tous les sédiments marins étudiés présentent ce caractère commun : l'argile kaolinique y fait à peu près complètement défaut. Ce minéral n'apparaît comme élément essentiel des sédiments que dans les dépôts lacustres et dans certains produits de décalcification.

Afin de vérifier si ce fait est spécial au Bassin Parisien, ou se retrouve au contraire dans d'autres régions, j'ai entrepris l'étude de quelques sédiments pyrénéens et de deux dépôts marins actuels, me contentant toutefois de vérifier la composition de leurs parties essentielles, phyllite et portion C.

Les roches pyrénéennes étudiées appartiennent à trois niveaux nettement différents : le *Trias*, le *Crétacé supérieur* et l'*Oligocène moyen*.

Ces échantillons m'ont été aimablement communiqués par M. le Professeur DUFFOUR et par M. DURAND, chargé de cours, que je tiens à remercier ici tout particulièrement de leur extrême obligeance en cette occasion.

Le premier échantillon est formé d'une matière rouge provenant de sédiments légèrement remaniés et débarrassés ainsi du gypse qui accompagne ordinairement les marnes triasiques des Corbières.

Au voisinage du gisement, il existe des pointements d'ophite.

Le deuxième est une marne du Sénonien supérieur provenant de la Tuilerie de Montclar (Haute-Garonne). Elle renferme un peu de gypse d'origine secondaire.

C'est à un niveau plus récent, le Danien, qu'appartient l'échantillon d'argile rouge recueilli au mur de la carrière de gypse de Fa.

La dernière marne étudiée a été prélevée aux environs de Narbonne dans l'étage rupélien. Elle provient d'une carrière de gypse et correspond à une formation halogène.

Dans toutes ces roches, j'ai retrouvé les mêmes minéraux accessoires que dans les sédiments du Bassin de Paris, c'est-à-dire, le quartz détritique, la muscovite et l'orthose, puis en beaucoup moins grande abondance, la tourmaline, le zircon, le rutile et l'ilménite, parfois quelques grenats et quelques corindons, fort rares du reste (Fa).

Le quartz bipyramidé était très abondant dans la marne triasique, l'opale d'origine biologique et la pyrite (en grains arrondis très petits) se trouvent très fréquemment dans la marne rupélienne. Il convient de signaler aussi dans ce même niveau une forte proportion de matières organiques.

L'étude chimique de tous ces sédiments a donné les résultats suivants, groupés dans un tableau d'ensemble :

PROPORTION DES DIVERS COMPOSANTS

	Keuper des CORBIÈRES	MONTCLAR	FA	Environs de NARBONNE
<i>Calcite</i>	19.83	25.39	8.39	62.71
<i>Dolomite</i>	1.24	»	»	»
<i>Phyllite</i>	58.62	30.81	30.63	14.03
<i>Résidu micacé</i>	9.70	13.05	18.26	7.12
<i>Ilménite, rutile</i>	0.53	0.89	0.87	1.18
<i>Pyrite</i>	néant	néant	néant	0.63
<i>Quartz, orthose, zircon</i>	10.08	29.86	41.85	14.33

COMPOSITION DE LA PHYLITE

	Keuper des Corbières	Montclar	Fa	Environs de Narbonne
SiO ²	34.45	46.50	43.89	48.91
Al ² O ³	15.98	23.74	23.00	23.07
FeO, MnO	8.71	14.94	16.28	7.69
CaO	fbles tr.	néant	néant	néant
MgO	25.36	2.21	5.63	7.23
K ² O	1.32	3.94	2.19	5.21
Na ² O	1.15	0.67	0.58	1.23
Perte au feu	13.02	7.99	8.43	6.65
<u>SiO²</u>				
Al ² O ³	3.67	3.33	3.24	3.60
<u>Bases</u>				
Al ² O ³	5.03	1.36	1.77	1.60
<u>MgO</u>				
Al ² O ³	4.05	0.24	0.86	0.79
<u>K²O, Na²O</u>				
Al ² O ³	0.21	0.23	0.20	0.33
<u>H²O</u>				
Al ² O ³	4.65	1.91	2.06	1.60

COMPOSITION DU RÉSIDU MICACÉ

SiO ²	42.83	45.81	46.06	45.28
Al ² O ³	40.49	33.32	37.37	22.99
CaO				0.23
MgO	0.76	0.80	0.42	0.76
K ² O	7.51	8.11	4.94	4.68
Na ² O	1.59	3.90	0.71	1.32
Perte au feu	6.82	8.06	10.49	24.74
<u>SiO²</u>				
Al ² O ³	1.83	2.33	2.10	3.35
<u>K²O, Na²O</u>				
Al ² O ³	0.25	0.46	0.17	0.31
<u>H²O</u>				
Al ² O ³	0.95	1.37	1.57	6.83

L'action de la solution sodique sur tous les résidus argileux étudiés dans ce chapitre donne des résultats très comparables à ceux qui ont été déjà obtenus précédemment.

Voici quelques données :

ACTION DE LA SOLUTION SODIQUE

Origine	Keuper des Cortières			Montclar		
Poids de l'essai	1.6076			1.2405		
Ordre des opérations	1	2	3	1	2	3
Durée des opérations	1/2	2	2	1/2	2	2
Quantités dissoutes de						
SiO ²	0.0380	0.0396	0.0052	0.0068	0.0163	0.0140
Al ² O ³	0.0054	0.0088	0.0040	0.0033	0.0078	0.0116
<i>Proportion d'alumine solubilisée en % par rapport à la totalité de l'essai (1)</i>	0.33	0.55	0.25	0.26	0.63	0.94
<i>Rapport moléc. corresp.</i>	8.82	7.65	2.22	3.50	3.55	2.06

Les quantités d'alumine dissoutes sont toujours très faibles, ce qui milite en faveur de l'absence à peu près complète d'argile dans les sédiments. Cependant, dans la marne des environs de Narbonne, le rapport silice : alumine tendait vers 4, comme dans le cas des marnes triasiques ou sannoisiennes.

Tous ces dépôts marins présentent donc encore les mêmes caractères communs que les roches de ce genre étudiées jusqu'ici. C'est ainsi qu'un seul échantillon, du reste pauvre en calcite, celui de Fa, renferme un peu d'argile (le calcul donne 9,13 %) et se rapproche par là des sédiments liasiques des marnes calcaires.

Toutes les phyllites contiennent des alcalis. La marne des Cortières possède cependant une composition différente des autres ; sa richesse en magnésium permet d'en rechercher l'origine première dans les produits d'altération et d'érosion des massifs d'ophite avoisinant son gisement.

La marne des environs de Narbonne mérite également une mention spéciale. Elle est riche en matières organiques et en opale d'origine biologique. La perte au feu anormale de son résidu micacé est la conséquence de ces deux faits. Sa teneur élevée en silice résulte de la présence d'opale, comme j'ai pu le constater doublement par un examen microscopique et par l'action de la solution de soude. J'ai extrait ainsi du poids total 4 % de silice en une demi-heure sans libérer d'alumine en quantité notable.

(1) Ces résidus argileux renfermaient de 13 à 16 % d'alumine en partie à l'état de mica.

Ces mêmes caractères généraux apparaissent encore dans les dépôts actuels.

Je dois à la bienveillance de S. A. S. le Prince de Monaco un échantillon des boues calcaires des grands fonds du golfe de Gascogne (1) et, à l'obligeance de M. Durand, un échantillon des dépôts boueux des lagunes des marais salants. J'ai pratiqué sur ces deux substances les mêmes essais que précédemment, en voici les résultats :

Au microscope, j'ai pu reconnaître dans les deux cas la présence de quartz détritique, de silice et de mica blanc. Des tourmalines, des zircons, des rutiles et de l'ilménite accompagnaient très accessoirement ces minéraux. Quelques éléments de biotite, d'ailleurs très rares, ont été trouvés dans le dépôt des marais salants.

Dans les deux échantillons, à côté d'une même substance cryptocristalline analogue à celle qui a été signalée à propos des marnes triasiques, quelques grains de glauconie ont pu être indentifiés. La présence d'opale d'origine biologique est à signaler également, c'est ainsi que des spicules d'éponges, des diatomées abondaient dans les dépôts du golfe de Gascogne.

Les dépôts des marais salants renfermaient de plus une très forte proportion de matières organiques.

Les analyses chimiques ont donné les résultats suivants :

PROPORTION DES DIVERS COMPOSANTS

	Dépôt des marais salants	Dépôt du Golfe de Gascogne
<i>Gypse</i>	20,62	néant
<i>Calcite</i>	12,17	39,63
<i>Dolomite</i> (2)	3,40	néant
<i>Phyllite</i>	22,00	21,03
<i>Mica blanc</i>	12,77	3,77
<i>Ilménite, rutile</i>	1,02	0,79
<i>Pyrite</i>	traces	néant
<i>Quartz, orthose, zircon</i>	28,02	34,78

(1) Echantillon prélevé à 3,910 mètres par le 46°, 45', 45" N et 5°, 50' W (Méridien de Greenwich) soit à 125 milles de Brest et à 260 m. du cap Finistère.

(2) L'abondance des matières organiques ne m'a pas permis de contrôler cette interprétation par un examen microscopique.

COMPOSITION DE LA PHYLLITE

SiO ²	31,48	47,02
Al ² O ³	13,31	16,48
FeO, MnO	9,18	14,07
CaO	néant	1,95
MgO	4,37	4,41
K ² O	4,48	3,06
Na ² O	1,49	1,01
Perte au feu	35,67	12,00
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	4,32	4,85
<u>Bases</u>		
Al ² O ³	2,84	2,19
<u>MgO</u>		
Al ² O ³	1,01	0,68
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0,54	0,30
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	13,02	4,11

COMPOSITION DU RÉSIDU MICACÉ

SiO ²	50,18	36,83
Al ² O ³	30,98	29,49
MgO	0,79	2,10
K ² O	5,95	7,08
Na ² O	4,05	2,75
Perte au feu	8,04	4,32
<u>SiO²</u>		
Al ² O ³	2,75	2,12
<u>K²O, Na²O</u>		
Al ² O ³	0,42	0,41
<u>H²O</u>		
Al ² O ³	1,47	0,83

D'autre part, traité par la solution sodique, le résidu argileux du dépôt des marais salants m'a donné les résultats suivants :

Poids de l'essai: 1 gr. 7242

Ordre des opérations	1	2.	3
Durée des opérations	1/2	2 h	2 h
Quantités dissoutes de $\left\{ \begin{array}{l} \text{SiO}_2 \\ \text{Al}^2\text{O}^3 \end{array} \right.$	0,0455 0,0053	0,0754 0,0192	0,0510 0,0135
<i>Proportion d'alumine solubilisée en % par rapport à la totalité de l'essai (1)</i>	0,31	1,11	0,78
Rapport moléculaire $\left\{ \begin{array}{l} \text{SiO}_2 \\ \text{Al}^2\text{O}^3 \end{array} \right.$	14,59	6,67	6,42

(1) La teneur en alumine du résidu argileux était de 10,78 %.

Les quantités dissoutes sont un peu plus élevées que dans les cas précédents, mais ce fait est dû à la présence de silice libre, comme le montre bien l'essai n° 1. Le rapport moléculaire tend cependant vers un nombre très supérieur à 2 et, dans leur ensemble, les résultats obtenus sont semblables à ceux que donnent les marnes irisées.

Tous ces résultats sont les mêmes que ceux fournis par les dépôts halogènes étudiés précédemment : les compositions des phyllites sont tout à fait comparables à celles des bravaisites du Trias ou du Sannoisien. Les parties attaquées par l'acide sulfurique donnent encore des rapports alcalis : alumine très semblables à ceux des micas blancs. Les compositions minéralogiques de tous ces dépôts sont pratiquement les mêmes, à l'exception toutefois de la marne du Keuper pyrénéen, dont la portion B diffère notablement de celle des autres marnes par sa très forte teneur en magnésie.

Résumé général sur la composition de tous les sédiments marins étudiés

De tout ce qui vient d'être exposé, il résulte que *tous les sédiments argilo-calcaires des dépôts marins présentent les mêmes caractères généraux* et que ces caractères les distinguent des argiles kaoliniques.

LES CARBONATES. — Tous renferment des carbonates en proportion variable ; la calcite est le plus abondant de ces minéraux. Elle existe seule sous forme, soit de petits rhomboèdres dont les contours sont parfois mal discernables au microscope, soit plus rarement de petits scalénoèdres (Trias). La dolomite l'accompagne souvent d'une façon accessoire dans les marnes ; elle n'apparaît qu'en petits rhomboèdres et peut exister seule dans les marnes lagunaires, comme c'est le cas dans les assises du Keuper inférieur.

LA PHYLLITE A LA COMPOSITION DE LA BRAVAISITE. — Le résidu obtenu après élimination des carbonates de ces sédiments ne renferme que peu ou pas d'argile ; *il est essentiellement formé d'une substance facilement attaquable par l'acide chlorhydrique et à laquelle j'ai d'abord réservé le nom de phyllite*. Bien que sa compo-

sition soit variable, elle est très voisine de celle de la bravaisite, car elle est celle d'un alumo-silicate hydraté complexe renfermant comme bases essentielles du protoxyde de fer, de la magnésie et de la potasse. La soude n'y existe qu'en faible proportion, la chaux toutefois n'apparaît que rarement et en petite quantité.

La présence de toutes ces bases dans un composé riche en eau, explique naturellement la facilité avec laquelle il s'attaque, fait qui à lui seul le différencie déjà nettement des argiles du groupe du kaolin.

LE MICA BLANC. — La présence de quantités importantes de mica blanc a été constatée dans tous les sédiments marins, les variations observées dans la composition des phyllites se reproduisent parallèlement dans les résidus micacés auxquels Van BEMMELEN avait donné le nom de portion kaolinique. *Leur partie attaquable est essentiellement formée de mica blanc*, mais tandis que celui-ci apparaît seul dans les sédiments des formations halogènes (Trias-Sannoisien-Rupélien) et dans les boues des grands fonds, l'argile pure s'y mêle en faible proportion dans les dépôts de mer peu profondes au voisinage des côtes, sans que cette teneur dépasse, dans les cas étudiés, 8 à 9 % de la totalité de la roche.

Par contre, *la teneur très faible en alcalis des argiles réfractaires citées montre que la muscovite n'y existe qu'en très minime proportion*. C'est là encore un fait qui distingue nettement ces deux groupes de roches. On l'explique facilement si l'on admet que l'altération des micas blancs n'a pu se continuer dans l'eau de mer à cause de sa teneur en sels de potassium.

En effet, si la transformation en argile, sous la seule action de l'eau pure, d'un minéral aussi peu altérable que la muscovite a été admise par ZEMJATCHENSKY et un certain nombre de savants, elle ne paraît guère possible dans un milieu marin, où la formation de minéraux potassiques tels que la glauconie et l'orthose est aujourd'hui prouvée.

Ces composants essentiels sont accompagnés d'éléments détritiques et assez souvent d'éléments de néo-formation.

AUTRES MINÉRAUX DÉTRITIQUES. — Le quartz détritique est abondant dans tous les dépôts étudiés. Il apparaît sous forme de

grains plus ou moins anguleux en bonne partie visibles au microscope et pouvant atteindre 40 à 50 μ . Renfermant quelquefois de fines inclusions de rutile, il est accompagné assez rarement de fragments de silic.

L'*orthose* a pu être identifiée nettement dans un certain nombre de cas. Ses éléments avaient toujours des dimensions comparables à celles des plus gros grains de quartz.

Le *zircon* est l'un des plus répandus de tous les minéraux accessoires. Comme la tourmaline et le rutile, on le rencontre dans presque tous les sédiments.

Le plus souvent, il apparaît sous forme de grains allongés à peu près incolores ou légèrement gris, aux angles fortement émoussés. Parfois aussi on le trouve sous forme de prismes bipyramidés présentant les combinaisons des faces p , m , h^1 , a^1 , b^1 , $b^{1/2}$.

Les inclusions sont fréquentes dans ce minéral.

La *tourmaline*, facilement reconnaissable à son polychroïsme, apparaît dans tous les étages, le plus souvent sous forme de grains roulés, mais parfois aussi, tout particulièrement dans les sédiments tertiaires, sous forme de prismes trapus très nets présentant les faces p , a^1 , e^2 . En lumière naturelle elle reste assez rarement incolore et ses teintes les plus fréquentes sont le gris, le brun et diverses variétés de vert, mais surtout le vert bouteille.

Le *rutile* existe dans tous les sédiments étudiés sous forme de fragments plus ou moins allongés présentant quelquefois la macle en genoux, dans quelques cas j'ai reconnu également des minuscules octaèdres que j'ai attribués à l'*anatase*.

L'origine première de ces minéraux accessoires doit être recherchée tant dans les inclusions des micas, ce qui est le cas de la plupart des zircons, des tourmalines et du rutile, que, d'une façon plus générale, dans les éléments des roches métamorphiques ou ignées.

La magnétite étant complètement détruite par les attaques chlorhydriques, j'ai attribué à l'*ilménite* les éléments noirs que l'on rencontre toujours dans les résidus de ces attaques.

Le *grenat* existe dans un très grand nombre de sédiments, il y forme des grains anguleux, peu abondants en général.

Le *corindon*, qui n'apparaît guère que dans quelques sédiments triasiques, est un élément rare. Il existe sous forme de fragments

aux arêtes vives. Je n'ai jamais observé de cristaux de ce minéral.

Exceptionnellement, un peu de *chlorite* a été trouvée dans une marne blanche du Trias supérieur (Laneuveville-devant-Bayon) et quelques éléments de *topaze* et de *disthène* dans l'argile albienne de Myennes.

LES MINÉRAUX DE NÉO-FORMATION. — Les quartz de *néo-formation* sont assez rares. Je n'en ai guère rencontré en abondance que dans le Keuper inférieur, où ils constituent alors la majeure partie du résidu de l'attaque sulfurique. Ils apparaissent le plus souvent sous forme de cristaux bipyramidés présentant les combinaisons $p e^{1/2}$ et $p e^{1/2} e^2$ ou d'agrégats d'éléments grossièrement cristallisés.

L'*opale d'origine biologique* est assez fréquente dans les sédiments tertiaires. Elle abonde dans les dépôts modernes où elle est particulièrement représentée par des spicules d'éponge et des diatomées.

La présence de *pyrite* n'a été reconnue que dans des sédiments secondaires ou tertiaires. Elle n'est reconnaissable qu'au microscope, où elle apparaît alors sous forme de petites sphères atteignant au maximum 10 ou 20 μ .

Tous les sédiments marins étudiés sont donc formés de carbonates, de minéraux détritiques et d'une substance très altérable: LA BRAVAISITE. L'argile y fait à peu près complètement défaut.

QUATRIÈME PARTIE

Comparaison entre les glauconies alumineuses et les phyllites étudiées : celles-ci ne sont bien que des variétés de bravaisite. Hypothèse sur leur origine. Dédutions concernant les roches sédimentaires et cristalloylliennes.

Jusqu'ici, en me basant seulement sur sa composition chimique, j'ai admis que la partie essentielle des marnes (appelée phyllite ou portion B) pouvait être confondue avec la bravaisite.

Le tableau ci-contre, en faisant ressortir cette similitude de composition, permet de comparer toutes ces substances aux glauconies alumineuses. J'ai été ainsi amené à étudier les propriétés de celles-ci et à les rapprocher de celles des portions B. Ayant ensuite émis une hypothèse sur l'origine de ces dernières, j'ai tiré de toutes ces constatations quelques déductions intéressant les roches sédimentaires et les roches cristalloylliennes. C'est par l'ensemble de ces exposés que je terminerai ce travail.

Comparaison entre les propriétés chimiques des glauconies alumineuses et celles des phyllites

Mes essais ont porté sur un sable calcaire, très riche en glauconie alumineuse, qui m'a été obligeamment remis par M. le Professeur LACROIX.

J'ai étudié la façon dont agissaient sur ce sable l'acide chlorhydrique et la solution sodique.

Les résultats de mes essais figurent dans les tableaux qui suivent (1).

(1) Pages 658-659.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Glauconie actuelle (1)	Glauconie jurassique Russie (2)	Glauconie jurassique Russie (3)	Bravaisite Noyant (4)	Marne grise Saint-Martin	Marne verte Varangéville	Marne grise Piennes	Marne verte Romainville
SiO ²	47.46	47.59	47.88	51.40	47.98	53.10	45.49	56.99
Al ² O ³	1.53	17.99	14.94	18.90	19.07	20.02	25.70	18.19
Fe ² O ³	30.83	13.95	17.13	4.00	»	»	»	»
FeO	3.10	3.70	2.68	»	7.62	7.10	10.61	7.39
MnO	»	»	»	»	0.28	0.24	»	0.06
CaO	»	1.22	0.56	2.00	»	»	»	»
MgO	2.41	1.80	2.45	3.30	12.90	5.48	3.27	4.49
K ² O	7.76	7.21	8.04	0.50	4.17	6.71	4.05	4.63
Na ² O	»	0.42	0.43	»	0.90	0.66	1.07	1.32
H ² O	7.00	5.27	5.91	13.30	7.06	6.68	9.80	6.90
Totaux	100.00	99.15	100.02	99.40	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Rapport molécul.</i>								
SiO ²								
Al ² O ³	52.73	4.49	5.49	4.62	4.21	4.51	3.01	5.27
MgO								
Al ² O ³	4.00	0.25	0.42	0.44	1.87	0.70	0.32	0.63
K ² O, Na ² O								
Al ² O ³	5.49	0.50	0.66	0.37	0.31	0.42	0.24	0.35
H ² O								
Al ² O ³	27.22	1.66	2.24	3.99	2.06	1.89	2.16	2.15

(1) L. W. COLLET et A. W. LEE. — Sur la composition chimique de la glauconie. C. R. A. S., tome 142, p. 1000, année 1906.

(2) K. GLINKA. — Der Glaukonit, seine Entstehung, sein chemischer Bestand und seine Verwitterung. Petrograd, 1896.

(3) *Idem.*

(4) MALLARD. — Bulletin de la Société Minéralogique de France, tome I, page 7, année 1878.

Toute la glauconie a été détruite en moins de quatre heures et la vitesse de l'attaque était très comparable à celle des phyllites. En même temps, comme pour celles-ci, le rapport moléculaire $\frac{\text{MgO}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ allait en diminuant au cours des opérations, mais toutefois le rapport $\frac{\text{K}^2\text{O}}{\text{Al}^2\text{O}^3}$ augmentait.

Attaque d'un sable glauconifère calcaire

Nature des opérations			Poids de l'essai : 2.1728								Rapports moléculaires		
Concentration	Température	Durée	SiO ²	Al ² O ³	Fe ² O ³ Mn ² O ³	CaO	MgO	K ² O	Totaux	Résidu	MgO Al ² O ³	K ² O Al ² O ³	SiO ² Al ² O ³
1/20	15°	24 h.	0.0166	0.0286	0.0522	0.1878	0.0328	0.0056	0.3236		0.29	0.21	6.41
1/5	55°	1 h. 1/2	0.0100	0.0542	0.1080	0.0080	0.0396	0.0376	0.2574		0.19	0.74	
1/2	80-85°	1 h.	0.0014	0.0560	0.1158	»	0.0252	0.0502	0.2486		0.11	0.97	
1/2	80-85°	1 h.	0.0011	0.0032	0.0080	»	0.0018	0.0050	0.0198		0.14	1.70	
Reprise par : NaOH 1/10									0.5064				
Totaux :			0.5356	0.1420	0.2846	0.1958	0.0994	0.0984	1.3558	0.6034	Perte au feu		
Soit %			24.65	6.53	13.09	9.01	4.57	4.53		27.74	9.37	au total	99.52

La facilité avec laquelle les acides agissent sur ce minéral explique la rapidité de son altération à l'air, CAYEUX a constaté cette altération dans les glauconies anciennes, qui peu à peu brunissent à l'air et peuvent donner naissance à leur stade le plus avancé, à de véritables minerais de fer (1). Aussi ce savant ne met pas en doute que sous l'action de l'eau chargée d'acide carbonique la composition de la glauconie ne soit rapidement modifiée.

D'après GLINKA (2), celle-ci, exposée simplement à l'action de l'eau et de la neige, perd une partie des bases qu'elle renfermait, en particulier des oxydes de fer, de la magnésie, de la potasse, et se transforme en argile ferrugineuse.

Or, l'altération rapide est une des caractéristiques du minéral essentiel des marnes. J'ai constaté notamment à propos des marnes triasiques, avec quelle facilité cette substance s'oxydait à l'air, le protoxyde de fer passant rapidement à l'état de peroxyde. Souvent même, cette altération paraît s'être produite au moment du dépôt de ces sédiments ou peu après, d'où la formation des cargneules et des quartz hématisés que l'on retrouve dans certains niveaux et surtout dans les marnes rouges du Keuper.

Il y a donc ici encore un rapprochement à faire entre les phyllites et les glauconies.

Action de la soude

L'action de la solution sodique sur celles-ci est fort peu efficace; voici à ce sujet quelques chiffres:

	Poids de l'essai: 1 gr. 1393	
Ordre des opérations	1	2
Durée des opérations	1/2 h.	2 h.
Quantités dissoutes de		
SiO ²	0.0140	0.0159
Al ₂ O ₃ (3)	0.0025	0.0017
<i>Proportion d'alumine solubilisée par rapport à la totalité de l'essai:</i>	0.22	0.15
<i>Les rapports moléculaires correspondants sont:</i>	9.52	15.9

au lieu de 6.41, obtenu précédemment.

(1) L. CAYEUX. — Genèse d'un minéral de fer par décomposition de la glauconie. (C. R. A. S., t. 142, p. 895-897, 1906.)

(2) GLINKA. — Mémoire cité.

(3) La roche étudiée renfermait 6.53 % d'alumine provenant seulement de la glauconie.

La glauconie est fort peu attaquée par la solution d'alcali caustique. Elle l'est même moins encore que les phyllites étudiées et ce fait peut être dû à sa plus faible teneur en alumine.

Tous ces corps : phyllites et glauconies alumineuses ont donc des compositions voisines, leurs propriétés chimiques sont communes, leurs gisements sont les mêmes.

Il y a donc lieu de considérer que presque toutes les phyllites étudiées ne sont que des variétés de BRAVAISITE et de leur réserver ce nom (1).

Hypothèse sur le mode de formation des phyllites

On est par suite en droit de se demander si leurs conditions de formation ne sont pas analogues. On sait déjà que la glauconie n'apparaît que dans des terrains sédimentaires d'origine marine (2) L. W. COLLET et G. W. LEE (3) admettent de plus que ce minéral dérive de l'argile. Celle-ci, par la perte et le remplacement de son alumine par de l'oxyde ferrique, et par la fixation de potasse dans un milieu marin, se transformerait ainsi en un silicate complexe d'une composition toute différente.

Or, tous les caractères communs des glauconies et des bravaisites militent en faveur d'un mode de formation semblable. D'autres faits viennent à l'appui de cette thèse. Toutes mes recherches ont montré que l'argile manque à peu près complètement dans tous les sédiments marins étudiés dans ce mémoire. Parmi eux, ceux qui se sont formés dans les milieux salins les plus concentrés, c'est-à-dire les marnes lagunaires de faciès bien défini, possèdent les teneurs les plus fortes en magnésie et en potasse. Par contre, les sédiments liasiques qui se sont déposés dans les mers peu profondes (200 mètres au plus) recevant d'importants apports fluviaux, sont moins riches en silice combinée, en magnésie et en

(1) A l'exception peut-être de la phyllite des marnes du Keuper des Pyrénées.

(2) A. LACROIX. — Minéralogie de la France et de ses colonies, tome I, 2^e partie, page 409.

(3) L. W. COLLET et G. W. LEE. — Sur la composition chimique de la glauconie. C. R. A. S., tome 142, pages 999-1001, année 1906.

potasse. Enfin les argiles réfractaires à peu près pures n'apparaissent que dans les sédiments d'eau douce (1).

L'eau de mer agissant chimiquement sur tous les apports terrigènes tels que : les minéraux riches en chaux, la biotite, les chlorites et même l'argile, en auraient profondément modifié la constitution dans un milieu essentiellement réducteur, comme l'atteste dans tous les cas la présence de matières organiques et très souvent de pyrite.

La biotite, en particulier, qui manque à peu près complètement dans les sédiments, malgré son extrême abondance dans les gneiss et les granites, se serait transformée en séricite ou en une chlorite alcaline, fait corroboré en partie par l'existence de très fines inclusions de rutile dans la bravaisite.

Il se serait ainsi produit un enrichissement général en potasse, en magnésie et en silice et un appauvrissement en chaux : le résultat de ces transformations serait la formation de la bravaisite.

Les apports terrigènes qui se sont déposés au sein des lagunes salées ou dans la mer à de grandes profondeurs ayant été en contact avec des solutions salines d'une concentration suffisante ou pendant des temps assez longs se seraient transformés complètement et le terme théorique de ces modifications chimiques serait la formation d'un alumo-silicate hydraté complexe répondant à la formule :



Par contre, les dépôts alluvionnés le long des plages, dans des zones où les apports fluviaux étaient souvent considérables, ne se transformaient qu'incomplètement, ce serait le cas des sédiments du Lias lorrain.

La composition des apports primitifs, le degré de concentration de l'eau de mer et la nature de cette concentration, le temps pendant lequel ces apports restaient en contact avec elle, en particulier la durée de leur chute auraient donc été les facteurs essentiels dont dépend la nature des dépôts formés.

(1) D'autres gisements exploités en France rentrent dans cette dernière catégorie, telles sont les argiles à lignite des environs d'Uzès et celles des dépôts du Pliocène supérieur de l'Allier.

Inversement, l'action des eaux douces chargées d'acide carbonique aurait transformé peu à peu les sédiments argileux en argile kaolinique plus ou moins pure.

Pour terminer ces considérations, une remarque s'impose : *il y a généralement corrélation entre la teneur en carbonates des sédiments marins d'une part, la richesse en silice et en magnésic de la bravaisite et la teneur en alcali des résidus micacés (portion C) d'autre part* ; mais cette règle n'est pas absolue. Cette corrélation explique toutefois ce fait, admis en particulier par LE CHATELIER, VOGT et LAVEZARD, que l'argile des marnes renferme un silicate *pauvre en alumine*.

Déductions tirées de la composition des sédiments étudiés

On peut déduire de l'ensemble de ces faits quelques remarques :

L'absence de l'argile dans tous ces dépôts confirme la règle très généralement admise pour la recherche des matériaux réfractaires : ceux-ci n'existent pratiquement que dans les dépôts d'eau douce, ou dans des dépôts de décalcification remaniés.

Par contre, la présence constante de la potasse dans la bravaisite et le peu de soude qu'on y rencontre permettent d'expliquer plusieurs faits restés jusqu'ici assez obscurs. On sait que de ces deux alcalis, le premier prédomine de beaucoup dans les roches cristallines affleurant à la surface du sol. Or, malgré la destruction constante de ces roches, l'eau de mer et les gisements de sels ne renferment que peu de sels de potassium et une proportion considérable de chlorure de sodium. La formation de la bravaisite au détriment des apports terrigènes et de l'eau de mer donne la raison de ces constatations en apparence contradictoires.

En deuxième lieu, par leur composition, par la facilité avec laquelle elle s'altère, la bravaisite remplit le rôle prêté aux zéolithes du sol, ces « bodenzéolithes » des auteurs allemands (1) dépourvues de chaux et riches en magnésie auxquelles nombre d'auteurs attribuent le pouvoir fertilisant des terres. *C'est à la bravaisite bien plus qu'aux micas blancs beaucoup moins attaquables qu'elle, que les plantes emprunteraient leur potasse, et le pouvoir fertilisant paraît dépendre dans une large part de la composition*

(1) E. A. WULFING. — Mémoire cité, pages 33 à 36.

et de la proportion de ce minéral. C'est en particulier à son altération lente que serait due en bonne partie cette propriété spéciale aux sols épuisés et laissés incultes, de retrouver peu à peu leur pouvoir fertilisant par une longue exposition à l'air.

Enfin, une dernière remarque s'impose. Abstraction faite des teneurs en acide carbonique, les *dépôts marins* présentent une composition globale souvent très voisine de celle des gneiss et d'un grand nombre de roches cristallophylliennes d'origine sédimentaire. Les éléments mêmes de ces dernières existent sous forme de minéraux détritiques dans tous ces sédiments. Leur transformation en roches métamorphiques peut donc s'expliquer sans qu'il soit nécessaire d'admettre des venues d'alcalis (1).

Le tableau qui suit met en évidence la similitude qui existe entre la composition chimique de quelques roches cristallophylliennes et celle de quelques marnes.

ANALYSES COMPARÉES DE QUELQUES ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES
ET DE QUELQUES MARNES (2)

	Gneiss à sillimanite et cordiérite Forêt Noire (3)	Gneiss à wernérites près de St-Nazaire (3)	Amphibolite feldspathique Vosges d'Alsace (3)	Marne grise Piennes	Marne verte Romainville	Marne grise St-Martin
SiO ²	61,20	52,72	45,98	59,12	54,30	45,65
TiO ²	1,19	1,39	0,08	1,13	1,03	0,62
Al ² O ³	17,40	16,43	18,88	19,14	15,11	14,02
Fe ² O ³	1,20	2,00	4,37	0,19	0,36	0,32
FeO	5,76	2,57	7,83	4,52	4,50	3,82
MnO	»	»	»	»	0,03	0,14
CaO	0,93	14,52	11,41	2,80	11,40	11,81
MgO	2,53	4,11	6,44	1,53	2,80	15,01
K ² O	4,07	2,21	0,93	3,38	4,04	3,57
Na ² O	2,86	2,76	2,72	0,91	1,18	0,75
H ² O	2,19	+ 0,81	0,90	7,28	5,26	4,29
		- 0,35				
Divers		CO ² 0,16				
		Cl 0,08				
Totaux	99,33	100,11	99,54	100,00	100,00	100,00

(1) Opinion déjà exprimée par C. R. VAN HISE dans: *Treatise on metamorphism. Monog. of the U. S. Geol. Survey, v. XLVII, 1268 p., 1904.*

(2) Analyses globales, déduction faite toutefois de l'acide carbonique.

(3) J. DE LAPPARENT. — *Leçons de pétrographie, p. 472-473, Paris, 1923.*

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

I. — Afin de déterminer la composition minéralogique des sédiments argilo-calcaires du Bassin de Paris, j'ai étudié tout d'abord *les conditions d'attaque des divers minéraux des marnes* par les principaux acides et les solutions alcalines. J'ai vérifié ainsi que certains corps, en particulier la kaolinite, l'halloysite, les argiles amorphes de ce groupe et le mica blanc sont peu attaqués par l'acide chlorhydrique, même s'ils sont réduits en particules plus petites que celles rencontrées dans les sédiments. De plus, l'élément essentiel de ces roches, en enrobant ces minéraux, les préserve pratiquement de l'action de cet acide dans les conditions où j'ai opéré. L'acide sulfurique au contraire les détruit complètement. Par contre, l'orthose et le quartz résistent à ces deux acides.

II. — Me basant sur ces résultats, *j'ai mis au point une méthode d'analyse fractionnée* comportant :

a) Un traitement à froid par l'acide chlorhydrique très dilué pour éliminer les carbonates.

b) Une attaque à chaud par l'acide chlorhydrique pour analyser la partie essentielle de la plupart des sédiments.

c) Une attaque à chaud par l'acide sulfurique afin de doser le mica et l'argile dans le sédiment.

d) Une attaque fluorhydrique, afin de définir la proportion d'orthose.

III. — Par cette méthode, j'ai établi la composition minéralogique des *roches étudiées*. J'ai mis ainsi en évidence :

1° *La présence dans tous les sédiments marins d'alumo-silicates très altérables dont les bases essentielles sont le protoxyde de fer, la magnésie et la potasse*. Je les considère comme des variétés de bra-

vaisite. Ils sont *toujours* accompagnés de *mica blanc*, d'*orthose* et de *quartz*.

2° *L'absence complète d'argile dans la plupart de ces roches*, ce minéral n'apparaissant qu'en faible proportion dans les sédiments de mers très peu profondes.

IV. — J'ai pu constater par là que *les argiles réfractaires ne sont pas des dépôts marins*.

V. — L'étude des propriétés chimiques des glauconies, particulièrement des glauconies alumineuses et de leur mode de formation m'ont conduit à admettre que *la bravaisite s'est formée par l'action chimique de l'eau de mer sur les apports terrigènes*.

VI. — Mes recherches m'ont également permis d'établir que dans leur ensemble les sédiments marins argileux ont la même composition chimique que les roches métamorphiques d'origine sédimentaire. *La potasse en particulier y existe en même proportion que dans la plupart des gneiss et des pyroxénites* et il n'est nullement besoin de faire intervenir l'action des venues d'alcalis pour expliquer la formation de ces roches.

VII. — *Bien que j'ai rencontré partout, en proportion variable il est vrai, de l'orthose et du mica blanc, l'existence de la bravaisite, la facilité avec laquelle elle s'altère, suffisent pour expliquer l'origine de la potasse assimilée par les plantes.*

BIBLIOGRAPHIE

1. ANDRÉ (G.). — Chimie du sol, 2 vol., 625 p. Paris, 1920-1921.
2. ARSANDAUX (H.). — Sur la composition de la bauxite. C. R. A. S., t. CXLVIII, p. 936 et 1115, 1909.
3. — Contribution à l'étude des latérites. C. R. A. S., t. CXLIX, p. 682, 1909.
4. — Contribution à l'étude des formations latéritiques. C. R. A. S., t. CXLIX, p. 1082, 1909.
5. — Nouvelle contribution à l'étude des latérites. C. R. A. S., t. CL, p. 1698, 1910.
6. — Altération des roches silicatées. B. S. F. M., fasc. 3, 1913.
7. AZÉMA (Colonel). — Note sur la montmorillonite de Bordes, en la Trémouille (Vienne). Bulletin de la Société Française de Minéralogie, t. XXXVI, p. 111, année 1913.
8. BARRAND (P.). — La préparation de l'alumine à partir de l'argile. Revue de Métallurgie, t. XVII, p. 516, 1920.
9. BAUER (M.). — Beiträge zur Geologie der Seychellen-Inseln und besonders zur Kenntniss der Laterite. Neues Jahrbuch für Mineralogie, u. s. w. Stuttgart, II, p. 168, 1898.
10. BEMMELN (J. VAN). — Contributions à la connaissance des produits de décomposition des silicates dans les terrains argileux, volcaniques et latéritiques. Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles (La Haye), t. X, p. 209-265, 1905.
11. BERTRAND (L.). — Application de l'examen micrographique à l'étude de la structure des argiles. Bulletin des Recherches et Inventions, t. IV, n^{os} 75 et 76, p. 825 et 841, 1923.
12. BERTRAND (L.) et LANQUINE (A.). — Sur les relations entre la composition chimique, la structure microscopique et les qualités céramiques des argiles. C. R. A. S., t. CLXIX, p. 1171, 1919.
13. BISCHOFF (C.). — Les argiles réfractaires: gisements, composition, examen, emploi au point de vue des produits réfractaires en général. Traduction sur la troisième édition par M. O. CHEMIN (604 p. et 93 fig.), 1907.
14. BOUDOUARD (O.) et LEFRANC (J.). — Etude sur les argiles (I). Matières premières; leur composition chimique. Bulletin de la Société Chimique de France, t. XXXI, p. 976, 1922.

15. — Etude sur les argiles (II). Analyse centésimale et analyse rationnelle, emploi du microscope. Bulletin de la Société Chimique de France, t. XXXI, p. 1145, 1922.
16. — Etude sur les argiles (IV). Analyse mécanique. Bulletin de la Société Chimique de France, t. XXXIII, série 4, p. 587, 1923.
17. — Etude sur les argiles (V). Action de la chaleur. Bulletin de la Société Chimique de France, t. XXXIII, série 4, p. 1627, 1923.
18. BRACONNIER (M.-A.). — Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle. Nancy-Paris, 1883.
19. BRIGGS (L.-J.), MARTIN (F.-O.) et PEARCE (J.-R.). — The centrifugal Method of mechanical Soil Analysis. U. S. Dep. of Agric. Bureau of Soils, Bull. n° 24.
20. BRONGNIART (A.). — Mémoire sur les kaolins ou argiles à porcelaine. C. R. A. S., t. VII, p. 1085, 1838.
21. BRONGNIART (A.) et MALAGUTI. — Deuxième mémoire sur les kaolins ou argiles à porcelaine. C. R. A. S., t. XIII, p. 735, 1841.
22. BUVIGNIER. — Statistique géologique de la Meuse. 1 vol., 1 atlas, 1852.
23. CALDERON et CHAVES. — Contribuciones al estudio della glauconita. An. Soc. Espan. de Hist. nat., vol. XXIII, t. III, Madrid, 1894.
24. CARNOT. — Traité d'analyse des substances minérales, 1910.
25. CASPARI (W.-A.). — The composition and character of Oceanic red Clay. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, t. XXX, p. 183-201, 1909-1910.
26. — Contributions to the Chemistry of submarine Glauconite. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, t. XXX, p. 364, 1909-1910.
27. CAYEUX (L.). — Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Mém. Soc. Géol. Nord IV, mémoire II, 589 p., 10 pl., Lille, 1897.
28. — Existence d'une faune saumâtre dans les sables de l'argile plastique. C. R. A. S., t. CXL, p. 1728, 1905.
29. — Genèse d'un minerai de fer par décomposition de la glauconie. C. R. A. S., t. CXLII, p. 895, 1906.
30. — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. Mémoire carte géologique de la France. Paris, 1916.
31. CHESNEAU (C.). — Principes théoriques et pratiques d'analyse minérale (641 p.). Paris, 1912.
32. CLARKE (F.-W.). — The composition of Glauconite and Greenalite, in Ch. K. Leith, The Mesabi Iron-bearing District of Minnesota. Monog. U. S. Geol. Surv., vol. XLIII, p. 243-247, 1903.
33. — The composition of the red Clay (of the Deep-Sea deposits). Chem. News London, t. IX, p. 185, 1908.
34. COLLET (L.-W.). — La glauconie. Arch. sc. phys. et nat. (4), t. XXIV, 1907.
35. — Les dépôts marins. 1 vol. de l'Encycl. scient. Paris, 1908.

36. COLLET (L.-W.) et LEE (G.-W.). — Recherches sur la glauconie. Proc. R. S. Edinburg, vol. XXVI, p. 238-278, 12 pl., 1 carte, 1905-1906.
37. — Sur la composition chimique de la glauconie. C. R. A. S., t. CXLII, p. 999, 1906.
38. DOELTER. — Handbuch der Mineralchemie, Dresde et Leipzig, 1912-1921.
39. DUMONT (J.). — Sur l'analyse minéralogique des terres arables. C. R. A. S., t. CXL, p. 1111, 1905.
40. — La terre arable. Paris, 1907.
41. — Sur une nouvelle méthode d'analyse physique du sol. C. R. A. S., t. CLIII, p. 889, 1911.
42. FERSMANN (A.). — Ueber die Palygorskitegruppe. Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg, VI^e série, t. II, p. 255 et 637, 1908.
43. — Matériaux pour l'étude des silicates hydratés magnésiens. Travaux du Musée géol. Pierre le Grand près l'Académie Imp. des Sciences, tome VIII, 1913-1916.
44. — Gisements russes des terres à foulon et des substances voisines (avec les données analytiques de Nicholaëvsky) (en russe). Petrograd, 1919.
45. — Géochimie de la Russie (en russe). Petrograd, 1922.
46. FRESSENIUS. — Traité d'analyses chimiques quantitatives, 1909.
47. GLINKA (K.). — Der Glaukonit, seine Entstehung, sein chemischer Bestand und seine Verwitterung, Saint-Petersbourg, 1896 (114 p.).
48. GRANDJEAN. — Coloration des argiles par les couleurs d'aniline. Bull. Soc. Fr. Minér., t. XXXII, p. 409-419, 1919.
49. — Propriétés optiques et genèse du feldspath néogène des sédiments du Bassin de Paris. C. R. A. S., t. CXLVIII, p. 723, 1909.
50. GROSSOUVRE (A. DE). — Sur l'argile à silex des environs de Vierzon. B. S. G. F. (3), t. XXVIII, p. 809, 1900.
51. — Nouvelles observations sur le terrain à silex du Sud-Ouest du Bassin de Paris, B. S. G. F. (4), t. I, p. 431-432, 1901.
52. HANCOCK (W.-C.). — The rational Analyse of Clay. London. The Journal of the Society of Chemical Industry, t. XXIX, p. 307, 1910.
53. HAUG (E.). — Traité de Géologie. 4 vol. Paris, 1907-1911.
54. HILLEBRAND (W.-F.), DUDLEY (Ch.-B.), RICHARDSON (C.), STOCKES (H.-N.). — Cooperative analysis argillaceous limestone. Journal of the American chemical Society (Easton), t. XXVIII, p. 223, 1906.
55. HISE (C.-R. VAN). — A Treatise on Metamorphism, monog. of the U. S. Geol. Survey, v. XLVII, 1286 p., 1904.
56. IRVINE (R.) and MURRAY (J.). — On chemical Changes in Marine Muds. Proceedings of the R. S. of Edinburgh, vol. XXI, p. 35-39, 1896.
57. JACQUOT (E.), TERQUEM et BARRE. — Description géologique et minéralogique du département de la Moselle, 490 p., 5 pl. hors texte. Paris, 1868.

58. JOLY (H.). — Jurassique inférieur et moyen de la bordure N.-E. du Bassin de Paris. Nancy, 1908.
59. KOERNER (J.-A.). — Thèse inaugurable. Strasbourg, 1899.
60. LACROIX (A.). — Minéralogie de la France et de ses Colonies. 5 vol. Paris, 1893-1913.
61. — Sur la structure et les propriétés optiques de divers silicates compacts ou terreux. C. R. A. S., t. CXXI, p. 737, 1895.
62. LAPPARENT (A. DE). — Sur l'origine du limon des plateaux. C. R. A. S., p. 1095-1097, 20 avril 1885.
63. — Note sur le limon des plateaux dans le Bassin de Paris, B. S. G. F. (3), t. XIII, p. 456-461, 1884-1885.
64. — Sur l'argile à silex du Bassin de Paris. C. R. A. S., t. CXII, p. 316, 1891.
65. — Traité de géologie, 5^e édit. Paris, 1906.
66. LAPPARENT (J. DE). — Leçons de Pétrographie, 501 pages, 28 pl. Paris, 1923.
67. LAVEZARD (E.). — Contribution à l'étude des argiles de France. Mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, p. 113-192, 1906.
68. LE CHATELIER (H.). — Sur la constitution des argiles. Bulletin de la Société Chimique, t. XLVIII, p. 116, 1887.
69. — Constitution des calcaires marneux. C. R. A. S., t. XVIII, p. 262, 1894.
70. — La Silice et les Silicates (567 pages). Paris, 1914.
71. LEMBERG (J.). — Zur microchemischen Untersuchung einiger Minerale Zeitsch. d. deutsch Geol. Ges. Bd. XLIV, p. 231-232, 1890.
72. LEMOINE (P.). — Géologie du Bassin de Paris (408 p.). Paris, 1911.
73. LEVALLOIS. — Notice sur le Keuper et le Grès keupérien. Congrès scientifique de France (5^e session). Metz, 1837.
74. — Mémoire sur le gisement du sel gemme dans le département de la Moselle et sur la composition générale du Muschelkalk en Lorraine. Mémoire de la Soc. Roy. de Nancy et Ann. des Mines, 4^e série, t. XI, 1846-1847.
75. — Aperçu sur la constitution géologique du département de la Meurthe. Nancy, 1856 et 1862.
76. LONGCHAMBON (M.). — Sur le rôle de la magnésie dans les cycles sédimentaires. C. R. A. S., t. CLVIII, p. 267, 1914.
77. MALLARD. — Sur la Bravaisite. Bulletin de la Société Minéralogique de France, t. I, p. 5, 1878.
78. MARCUS (E.) and BILTZ (W.). — Ueber die Chemische Zusammensetzung der Stassfurter Salztone. Zeitsch für anorg. Chemie, t. LXVIII, p. 91, 1910.
79. — Ueber die chemische Zusammensetzung des roten Salztone. Zeitsch, für anorg. Chemie, t. LXXVII, p. 119, 1912.
80. MELLOR. — Nomenclature of clays. II Longton Trans. English Ceramic Soc., t. IX, p. 114-119, 1910.

81. MERRILL (G.-P.). — Rocks, Rocks-weathering and Soils, 1897.
82. MICHEL-LÉVY et LACROIX. — Les minéraux des roches. Paris, 1888.
83. MOISSAN. — Chimie Minérale. Paris, 1906.
84. MOODY (G.-T.). — The causes of variegation in Keuper Marls and in other calcareous Rocks *Qu. J. G. S.*, vol. LXI, p. 431-439, 1905.
85. MUNTZ (A.) et GAUDECHON (H.). — Contribution à l'étude des argiles. *C. R. A. S.*, t. CLVII, p. 968, 1913.
86. — Sur les argiles en suspension. *Revue Scientifique*, t. XCVI, p. 186, 1916.
87. MURRAY (J.) et RENARD (A.-F.). — Report on the Deep-Sea Deposits based on specimens collected during the voyage of H. M. S. Challenger, during the years 1872 to 1876, 1891.
88. ODEN (Sven). — Allgemeine Einleitung zur Chemie und physikalischen Chemie der Tone. *Bulletin of the geological institution of the University of Upsala*, t. XIV, p. 175-194, 1917.
89. ORCEL (J.). — Remarques sur l'emploi du cupferron dans l'analyse des silicates et des aluminates naturels. *B. S. F. M.*, t. XLVI, p. 66, 1923.
90. RANDOIN (M.). — Contribution à l'étude de la silice globulaire représentant l'argile au silex au sud du Bassin de Paris. *C. R. A. S.*, t. CLXXII, p. 1046, 1921.
91. RENARD (A.-F.). — Sur les cristaux de phillipsite des sédiments du centre de l'Océan Pacifique. *Bull. Ac. Roy. Belg.*, 3^e série, t. XIX, p. 88 et 182, 1890.
92. RUBY WALLACH. — Analyse thermique des argiles. *C. R. A. S.*, t. CLVII, p. 48, 1913.
93. SAHLBOM (V.). — Analyse des glauconites suédoises. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala*, t. XIV, 1919.
94. SAINTE-CLAIRE DEVILLE (H.). — De la présence du vanadium dans un minerai alumineux du Midi de la France. *Etudes analytiques sur les matières alumineuses. Annales de Chimie et de Physique*, t. LXI, p. 309, 1861.
95. SCHOENE (Em.). — Ueber Schlämmanalyse. *Bull. Soc. Imp. Nat. Moscou*, t. XI, 1^{re} partie, p. 324, 1867.
96. — Ueber einen neuen Apparat für die Schlämmanalyse. *Zeitsch. für anal. Chemie*, t. VII, taf. I, p. 29-47, 1868.
97. SCHLOESING (Th.). — Sur la précipitation des limons par des solutions salines très étendues. *C. R. A. S.*, t. LXX, 20 juin 1870.
98. — Détermination de l'argile dans la terre arable. *C. R. A. S.*, t. LXXVIII, p. 1276, 1874.
99. — Sur la constitution des argiles. *C. R. A. S.*, t. LXXVIII, p. 1438, 1874.
100. — Sur la constitution des argiles. *C. R. A. S.*, t. LXXIX, p. 376, 1874.
101. — Recherche sur l'état de l'alumine dans les terres végétales. *C. R. A. S.*, t. CXXXII, p. 1203, 1901.

102. — Sur l'analyse mécanique des sols. C. R. A. S., t. CXXXVII, p. 373, 1903.
103. TAMMAN (G.) et PAPE (W.). — Silikatstudien I Über den Wasserverlust des Kaolins und sein Verhalten in festen Zustände zu den Karbonaten und Oxyden der Erdalkalien. Zeits. für anorg. and allg. Chemie, t. CXXVII, p. 43, 1923.
104. TERMIER (P.). — Les schistes cristallins des Alpes Occidentales. Comptes rendus Cong. géol. inter. IX session, Vienne 1903, p. 571-586.
105. THIÉBAUT (L.). — Sur la composition des marnes irisées. C. R. A. S., t. CLXXV, p. 447, 1922.
106. — Recherches sur la composition minéralogique de quelques marnes du Tertiaire d'Alsace. C. R. A. S., t. CLXXVII, p. 273, 1923.
107. — Sur la composition minéralogique de quelques marnes. Bulletin de la Soc. des Sciences de Nancy, p. 55, 1923.
108. — Sur la présence d'un mica blanc dans les résidus argileux. C. R. A. S., t. CLXXVIII, p. 96, 1924.
109. — Recherches sur la composition minéralogique de quelques sédiments argileux du Bassin de Paris. C. R. du Congrès des Sociétés savantes en 1924, p. 143 à 154.
110. — THOULET (J.). — Note sur un nouveau procédé d'étude au microscope des minéraux en grains très fins. Bull. Soc. Fr. Min., t. II, p. 188-189, 1879.
111. — Séparation mécanique des divers éléments minéralogiques des roches. Bull. Soc. Franç. de Min., t. II, p. 17-24, 1879.
112. — Le calcaire et l'argile dans les fonds marins. C. R. A. S., t. 142, p. 738, 1906.
113. — Précis d'analyse des fonds marins actuels et anciens. Paris, 1907.
114. — Chute des sédiments à travers les eaux océaniques. C. R. A. S., t. CLIII, p. 787, 1911.
115. THUGUTT (St. J.). — Fritz Hinden's neue Reactionen zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie. Stuttgart, n° IX, 1905.
116. TREADWELL et BOLL (Marcel). — Chimie analytique, analyse quantitative. 1920.
117. TSCHERMACK. — Die Chloritgruppe, Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wissenschaften, in Wien. Mathem. naturvis. Classe: Bd XCIX, I, avril 1890 et Bd C Abth. I, février 1891.
118. TUCKER (A.-E.). — The formation and analyses of Clays, The journal of the Society of chemical Industry, t. XXIX, p. 467-471, 1910.
119. URBAIN (G.). — Les disciplines d'une Science. La Chimie. Paris, 1921.
120. VERNADSKY (W.-J.). — Sur la sillimanite comme anhydride des acides alumo-siliciques. Bull. de la Soc. des Nat. de Moscou. Moscou, 1891.
121. — Minéralogie (en russe). Moscou, 1908-1912.

122. — La géochimie. Paris, 1924.
 123. VOGT (G.). — De la composition des argiles et des kaolins. C. R. A. S., t. CX, p. 1199, 1890.
 124. — La composition des argiles. Bull. de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, mai 1897, reproduit dans les mémoires publiés par cette société, p. 193 à 218, 1906.
 125. WULFING (E.-A.). — Untersuchung des bunten Mergels der Keuperformation auf seine chemischen und mineralogischen Bestandteile. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 56 H. a. VIII, p. 1 à 46, 1900.
 126. ZEMJATCHENSKY. — Etude sur les argiles russes (en russe). Pétrograd, 1923.
-

ERRATA

Page :	Ligne :	Lire :	au lieu de :
511	16	dolomie	dolomite
518	renvoi (1)	1890	1910
525	27	d'orthose	de mica
541	titre du 2 ^e tableau	sulfurique	chlorhydrique
585	ilménite, rutile	1,15	1,16
593 - 597 - 664	tableau-tableau-7	chlorhydrique	chlorydrique
	bases		
616 et 617	rapport	1,97	1,23
	alumine		
664	1	composition	composition
664	2	étudié	étudé
665	9	des glauconies alumi- neuses, et leur	des glauconies alumi- neuses et de leur
669	22	tome CXVIII	XVIII

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	7
INTRODUCTION	9
PREMIÈRE PARTIE	
CHAPITRE I. — Historique.....	13
DEUXIÈME PARTIE	
CHAPITRE II. — Recherches sur les conditions d'attaque des minéraux rencontrés habituellement dans les sédiments argileux.....	27
CHAPITRE III. — Exposé de la méthode d'analyse déduite des recherches précédentes	42
TROISIÈME PARTIE	
CHAPITRE IV. — Données générales sur les sédiments étudiés. Leur position stratigraphique et leur faciès.....	65
CHAPITRE V. — Trias.....	67
CHAPITRE VI. — Jurassique et Crétacé.....	102
CHAPITRE VII. — Tertiaire.....	122
CHAPITRE VIII. — Comparaison des roches étudiées avec quelques autres dépôts sédimentaires. Résumé de la composition générale de tous ces sédiments.....	144
QUATRIÈME PARTIE	
CHAPITRE IX. — Comparaison entre les glauconies alumineuses et les phyllites étudiées : celles-ci ne sont que des variétés de bravaisite. Hypothèse sur leur origine. Dédutions concernant les roches sédimentaires et cristallophylliennes.....	154
RÉSUMÉ GÉNÉRAL	162
BIBLIOGRAPHIE	164
