



**BIBLIOTECA CENTRALA**  
**A**  
**UNIVERSITAȚII**  
**DIN**  
**BUCUREȘTI**

No. Curent 29998 Format II

No. Inventar ..... Anul .....

Secția ..... Raftul .....

41969





1947

**D<sup>r</sup> ACHALME**

DIRECTEUR DE LABORATOIRE A L'ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES

# Les Edifices physico-chimiques

TOME I

# L'ATOME

SA STRUCTURE, SA FORME

DESSINS A LA PLUME DE  
M. RAOUL LECLERC, ARCHITECTE DIPLOMÉ DU GOUVERNEMENT

*Dr. Gabriela H. Chaborski*



PAYOT, PARIS



## LES ÉDIFICES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans cette œuvre, absolument originale et nouvelle, l'auteur, partant de quelques postulats très accessibles, cherche à pénétrer la structure intime du monde extérieur et à en donner une représentation concrète, permettant une explication rationnelle des phénomènes chimiques et biologiques.

Cette série comprendra sept volumes qui paraîtront dans un court délai :

- Tome I. — L'ATOME. — SA STRUCTURE, SA FORME. (*Paru.*)
- Tome II. — LA MOLÉCULE CHIMIQUE EN GÉNÉRAL.
- Tome III. — LA MOLÉCULE MINÉRALE.
- Tome IV. — LA MOLÉCULE ORGANIQUE.
- Tome V. — LA MOLÉCULE VIVANTE.
- Tome VI. — LES ÊTRES VIVANTS.
- Tome VII. — L'HOMME.

Inu. 29598

Inu. A. 52.302

D<sup>r</sup> ACHALME

DIRECTEUR DE LABORATOIRE A L'ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES

LES ÉDIFICES PHYSICO-CIMIQUES

TOME I

# L'ATOME

SA STRUCTURE, SA FORME

AVEC DES DESSINS A LA PLUME DE

M. RAOUL LECLERC

ARCHITECTE DIPLOMÉ DU GOUVERNEMENT

DONATIA  
Dr. Gabriela H. Chaborski

32663



PAYOT & C<sup>ie</sup>, PARIS

106, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1921

Tous droits réservés.


CONTROL

BIBLIOTECA CENTRALA UNIVERSITARA  
BUCURESTI  
COTA 29998

1956

1961

L

**B.C.U. Bucuresti**  
  
**C32663**

394/06

6223

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation  
réservés pour tous pays.  
Copyright 1921, by Payot & Cie.



## AVANT-PROPOS DU TOME PREMIER

Depuis que l'hypothèse purement métaphysique de Leucippe, Démocrite, Epicure, développée par Lucrèce et reprise par l'école de Gassendi, suivant laquelle la matière est discontinue et composée d'atomes, a été expérimentalement vérifiée par Dalton, Gay-Lussac, Berzélius, Dulong et Petit, Gerhardt, Wurtz, etc..., on peut dire que la première étape des connaissances humaines sur la constitution de la matière a été franchie. L'épreuve du temps n'a fait que consolider cette conquête et, en même temps, les découvertes de la physique moderne ont fait considérablement avancer sur le terrain de l'inconnu une autre aile de l'armée scientifique. Il est permis de se demander aujourd'hui s'il n'est pas légitime de pousser plus loin tout le front de notre connaissance et *d'élargir une fois de plus le domaine des choses aux dépens de celui des mots.*

L'étude des rayons cathodiques, des substances radioactives, des ions électrolytiques et gazeux, du mouvement brownien, nous ont fourni des mesures qui,

par leur concordance, permettent d'affirmer avec une probabilité voisine de la certitude l'existence réelle de particules si ténues qu'elles risquent d'échapper longtemps encore à l'exploration directe de nos sens. Toutefois l'immensité du terrain définitivement conquis ne peut que nous donner confiance dans les résultats de l'effort qu'il reste à faire. La métaphysique ne peut plus désormais ignorer la physique et la chimie et l'on peut entrevoir déjà le point où s'opérera leur jonction.

Prenons donc la notion d'atome telle que nous la donnent la physique et la chimie et cherchons à en dégager les notions objectives résultant des faits acquis pendant ces dernières années. L'idée de corps simple a été radicalement modifiée par la découverte des propriétés radioactives de l'uranium et surtout du radium et de ses produits de désintégration. Les noms de Becquerel, de M. et M<sup>me</sup> Curie, de Rutherford, en seront immortalisés. L'atome chimique apparaît comme un édifice particulièrement résistant, mais il a perdu son caractère d'insécabilité, et la possibilité d'extraire de tout corps matériel des corpuscules, tous semblables, doués de propriétés électriques intenses, a donné un renouveau à la théorie toujours actuelle de l'unité de la matière.

Dans cette voie, peut-on acquérir une notion plus

concrète de l'atome chimique, le mot atome n'ayant plus aucune signification étymologique? Cela ne sera possible que si nous pouvons résoudre les problèmes suivants :

Quels sont les constituants de l'atome chimique? Sont-ils réductibles à une ou plusieurs unités?

Ces unités une fois définies, quel est leur nombre dans l'architecture de chaque atome?

Le nombre de ces unités une fois déterminé, suivant quels rapports sont-elles juxtaposées dans l'espace, c'est-à-dire quelle est la forme que revêtent les divers agrégats atomiques?

Telle est la division générale du premier volume de cet ouvrage, les derniers chapitres étant consacrés à l'étude particulière de chaque atome chimique.

---





## CHAPITRE PREMIER

### L'ÉLECTRON, CORPUSCULE D'ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE

#### *Rayons cathodiques.*

Lorsque, dans une ampoule de Crookes — qui n'est au demeurant qu'un tube de Geissler de dimensions plus grandes — on diminue la pression jusqu'au voisinage d'un millième de millimètre de mercure, on voit la luminosité qui a tant intéressé et intrigué notre enfance, disparaître à l'intérieur du tube ; en même temps, les parois de l'ampoule présentent une phosphorescence verdâtre localisée principalement en face de la cathode. Cette phosphorescence est produite par des rayons qui partent de la cathode et se propagent en ligne droite ; l'on peut se convaincre de ce fait en interceptant une partie de ce rayonnement à l'aide d'une feuille de métal découpée, dont la forme se reproduit en sombre sur la paroi phosphorescente.

Ce sont les rayons cathodiques qui diffèrent essentiellement de ce que l'on nomme habituellement rayons, en ce qu'ils ne sont pas constitués par des oscillations de l'éther, comme les rayons lumineux, les rayons calorifiques, les rayons X, les rayons hertiens de la télégraphie sans fil, etc..., mais par des projectiles qui se déplacent avec une

vitesse énorme, se chiffrant par des milliers de kilomètres à la seconde.

Cela n'est pas une hypothèse : c'est un fait. L'existence de ces corpuscules est attestée par l'observation de la force vive dont ils sont animés et qui peut être mise en évidence, soit par la mise en action d'un moulin (même en se mettant à l'abri de tout effet radiométrique), soit par l'élévation énorme de température (3600° environ) que l'on peut obtenir en concentrant les projectiles en un point à l'aide d'une cathode concave.

Ces corpuscules possèdent également une propriété qui les caractérise et a permis de pousser plus loin l'étude de leur structure intime. Ils sont déviés par un champ magnétique ou électrique ce qui donne la certitude, non seulement qu'il s'agit bien de corpuscules, mais encore que ces corpuscules sont électrisés. En recueillant à l'aide d'un dispositif ingénieux les projectiles cathodiques dans un cylindre de Faraday relié à un électroscope, Jean Perrin a pu établir objectivement que ces corpuscules sont chargés négativement, c'est-à-dire qu'ils transportent ce que, par abstraction, nous nommons l'électricité négative.

A l'aide d'expériences délicates, fondées sur la mesure exacte de la trajectoire parcourue par les projectiles échappés de la cathode, on a pu déterminer d'une part leur vitesse que l'on a trouvée comprise habituellement entre 40 000 et 50 000 kilomètres par seconde (20 000 et 150 000 comme limites extrêmes), d'autre part le rapport existant entre leur charge électrique et leur masse. L'étude de ce dernier rapport  $\frac{\text{charge électrique}}{\text{masse}}$  ou  $\frac{e}{m}$  est extrêmement



intéressante. D'abord il est constant, quel que soit le métal de la cathode, le gaz emplissant le tube et le voltage mis en jeu, ce qui permet de supposer que la charge électrique et la masse sont elles-mêmes constantes. Il correspond à une densité électrique énorme, car il est égal à  $1,80 \times 10^7$  c'est-à-dire à 18 millions. Enfin, si l'on attribue à ces corpuscules une charge identique à celle qui est transportée par un atome d'hydrogène dans l'électrolyse, on est obligé d'attribuer à ces corpuscules une masse 1 000 à 2 000 fois plus petite que celle de l'atome d'hydrogène qui représente pourtant la plus petite quantité de matière que la chimie nous fasse connaître à l'état isolé.

Les projectiles cathodiques, en raison de leur vitesse, sont très pénétrants. P. Lenard a montré qu'on peut les étudier en dehors d'une ampoule de Crookes présentant dans la région opposée à la cathode une petite fente rectangulaire qu'obture une mince feuille d'aluminium. Les projectiles cathodiques traversent le métal, rendent conducteur et ozonisent l'air au voisinage de la fente, impressionnent les plaques photographiques et provoquent la condensation de la vapeur d'eau.

Nous possédons donc maintenant un certain nombre de notions essentiellement concrètes sur les corpuscules qui constituent les rayons cathodiques. Ce sont des projectiles qui se déplacent avec une vitesse considérable, transportent de l'électricité négative sous une concentration énorme, et dont la masse paraît être de mille fois inférieure à celle du plus petit atome matériel connu. Ces corpuscules ne sont donc pas des abstractions mais des *réalités* dans le sens le plus étroitement étymologique (*res*, chose, objet).

*Rayons  $\beta$ .*

Dans le monde merveilleux qu'a entr'ouvert la découverte de la radioactivité, une place importante doit être attribuée aux rayons  $\beta$ , qui émanent du radium et d'un grand nombre d'atomes radioactifs. L'étude de cette partie du rayonnement qui peut être facilement isolée par suite de sa déviation dans un champ magnétique ou un champ électrique, a montré qu'il s'agit là de corpuscules, convoyeurs d'électricité négative et dont le rapport  $\frac{e}{m}$  est égal à celui qui caractérise les rayons cathodiques. La seule différence d'avec ces derniers, en dehors de l'origine, consiste en une vitesse plus grande des projectiles, qui peut s'élever de 170 000 kilomètres à la seconde à 280 000, c'est-à-dire presque à la vitesse de la lumière. Il s'agit donc évidemment de corpuscules identiques à ceux qui constituent les rayons cathodiques et s'échappant spontanément des atomes radioactifs avec des vitesses énormes.

*Rayons photo-électriques.*

Si l'on éclaire brusquement la surface soigneusement polie de certains métaux, principalement des métaux alcalins, on constate que le métal prend une charge positive. Si l'expérience a lieu dans un vide avancé, on observe que cette électrisation est due au départ brusque de corpuscules chargés négativement. Quel que soit le métal, le rapport  $\frac{e}{m}$  de ces corpuscules est le même que celui des rayons cathodiques et des rayons  $\beta$ .

*Rayons secondaires de Curie-Sagnac.*

Si, au lieu d'éclairer le métal, on fait arriver sur lui un faisceau de rayons X, on obtient un résultat analogue : électrisation positive du métal et départ de particules électrisées négativement dont le rapport  $\frac{e}{m}$  est identique à celui des rayons précédents.

*Emission de corpuscules par les corps chauds.*

Les solides incandescents laissent également échapper un rayonnement complexe dans lequel on peut distinguer des particules positivement chargées, mais surtout des corpuscules à charge négative dont le rapport  $\frac{e}{m}$  montre l'identité avec les corpuscules précédents.

*L'électron.*

De ces faits, résulte une première conclusion, sur la constitution de ce que nous appellerons la matière. Dans certaines circonstances et sous l'action de diverses formes de l'énergie, on peut extraire de la matière, quelle que soit la nature chimique du corps sur lequel on opère, des corpuscules électrisés négativement et dont la masse semble inférieure d'environ mille fois à celle du plus petit atome connu.

Il s'agit maintenant de donner un état civil à ces corpuscules en leur attribuant un nom et en déterminant leur nature.

J.-J. Thomson qui a apporté une contribution spéciale



à l'étude de ces corpuscules, s'est abstenu de leur assigner un nom spécial et les désigne simplement par le mot de *corpuscules*. C'était peut-être la solution la plus sage, car on ne saurait se féliciter de ce qu'ait prévalu le vocable d'électron, dû à Johnston Stoney. Ce mot a en effet le double inconvénient de concentrer toute l'attention sur les propriétés électriques du corpuscule et de prêter en outre à la confusion, car il a été employé dans des acceptions radicalement différentes.

Bien que la notion nouvelle de l'existence de corpuscules cathodiques se soit montrée exceptionnellement féconde, les physiciens modernes se servent indifféremment du mot électron pour désigner : 1° le corpuscule lui-même ; 2° la charge portée par un atome d'hydrogène dans l'électrolyse ; 3° le quantum d'électricité, c'est-à-dire la plus petite quantité d'électricité  $e$  pouvant entrer dans un calcul. De ces trois acceptions, la dernière représente une idée essentiellement abstraite, la seconde désigne une propriété abstraite d'une chose concrète : l'atome d'hydrogène ; la première seule correspond à une chose concrète, objective, douée de propriétés et existant en soi.

Cette confusion est d'autant plus regrettable qu'elle semble exprimer, entre ces diverses notions, l'existence d'une équivalence au moins sur certains points. Il en résulte, par exemple, pour tout esprit confiant dans la valeur des mots, que la charge propre des corpuscules, désignée sous le nom d'électron, est égale 1° à la charge positive de l'atome d'hydrogène ; 2° à l'électron, quantum d'électricité. Or ce sont là des hypothèses purement gratuites, ne donnant que des représentations erronées des

faits, ainsi que nous espérons l'avoir établi dans un autre ouvrage.

On voit, par cet exemple, combien il faut être circonspect et ne s'avancer qu'après avoir soigneusement défini les mots dont on se sert et trié ceux qui expriment des propriétés de choses et ceux qui représentent des choses réelles. Toutefois, lorsqu'il s'agit de *mots*, c'est-à-dire de *conventions* et non de *faits ayant une existence objective*, il est toujours possible de s'entendre. Aussi, pour éviter la création d'un vocable nouveau qui ne ferait qu'augmenter la confusion, et sous le bénéfice des restrictions qui précèdent, nous adoptons le mot d'*électron* consacré par l'usage, en convenant explicitement que nous désignerons ainsi une chose (*res*) concrète s'identifiant aux *corpuscules* de J.-J. Thomson.

#### *Electron et matière.*

Ce baptême étant effectué, nous devons, en nous conformant à l'usage, nous poser la question obligatoire : l'électron est-il de la matière ou de l'électricité ? Que le lecteur ne s'effraie pas, nous ne l'entraînerons pas sur les sables mouvants de la métaphysique.

Puisque nous avons vu que l'électron entre d'une façon générale dans la constitution de la matière, il nous semble aussi oiseux de poser la question : l'électron est-il de la matière ? que de se demander en présence d'une maison construite en ciment : le ciment est-il une maison ?

Tout dépend, en effet, de ce que nous voulons désigner sous le nom de matière. Tant que l'on croyait à une matière homogène, composée par l'agrégation de parti-



32663

cules douées de propriétés très analogues, on pouvait définir la matière : la substance étendue, divisible, impénétrable, qui tombe sous nos sens (Larousse). Mais du moment que cette substance nous apparaît sous la forme d'un agrégat qui peut laisser échapper des corpuscules électrisés sans que toutes ses autres propriétés apparentes en soient modifiées, nous sommes obligés de donner au mot matière un sens moins restreint, et on tend à désigner sous ce nom tout ce qui possède la double propriété de l'étendue et de la masse.

L'électron peut-il entrer dans cette définition de la matière? Disons tout de suite que l'on n'a pas encore pu déterminer d'une façon certaine le volume des corpuscules. On peut le calculer, grâce à des hypothèses et des extrapolations plus ou moins vraisemblables ou légitimes. Il vaut autant avouer que nous n'en savons rien.

En revanche, nous savons que l'électron possède une inertie. Puisqu'il est animé d'une force vive, lorsqu'il se déplace avec vitesse, il faut, en raison du principe de la conservation de l'énergie, qu'il ait reçu lui-même l'énergie dont il est le convoyeur. Il a donc présenté une inertie par rapport à l'accélération à laquelle il a été soumis. Il possède donc une masse. Si l'on se contente donc de définir la matière dans son sens le plus abstrait tout ce qui possède une masse, l'électron est de la matière.

Mais la question devient plus compliquée si nous déplaçons légèrement les données du problème. Si nous voulons concrétiser la notion de masse, nous arrivons rapidement à la notion de poids, qui est la force résultant d'une masse soumise à une accélération spéciale, celle de la

pesanteur. Ici nous entrons dans le domaine de l'inconnu expérimental. Nous ne savons pas si l'électron, tout en ayant une masse, a un poids, parce que nous ne savons pas si la pesanteur agit sur lui. Donc si nous définissons la matière : tout ce qui a un poids, nous ne pouvons pas affirmer que l'électron soit de la matière.

En revanche, nous savons que la masse de l'électron diffère sensiblement de la masse telle qu'on l'entend ordinairement en mécanique. On est en effet habitué à considérer la masse d'un corps comme invariable et indépendante de sa vitesse. Or on est arrivé à admettre que la masse de l'électron grandit avec la vitesse, jusqu'à devenir infinie au voisinage de la vitesse de la lumière. Dans un corps électrisé on considère en effet deux masses, l'une mécanique (la masse dans le sens habituel du mot), l'autre électro-magnétique. Il résulte d'expériences et de calculs qui semblent définitifs que la masse de l'électron est uniquement électro-magnétique. Si donc la masse requise pour entrer dans la définition du mot matière est la masse mécanique, l'électron n'est pas de la matière. Si on se contente d'une masse sans autre désignation, l'électron peut être de la matière. Il s'agit, on le voit, de *mots* et non de *choses*.

#### *Electron et électricité.*

Il en est de même de la question : l'électron est-il de l'électricité ? Ici aussi il faut définir. L'électricité est une *abstraction* qui résulte de notre connaissance de certains phénomènes dits phénomènes électriques. C'est une forme de l'énergie (autre abstraction), susceptible de se transfor-



mer en d'autres formes. Lorsque l'électricité par exemple se transforme en chaleur dans l'effet Joule, que deviendrait l'électron, objet concret, s'il était constitué par de l'électricité? Dire que l'électricité a une structure atomique et que l'électron est un atome d'électricité négative, c'est forcer la valeur des mots et donner à une notion vraie une forme paradoxale pour la rendre plus frappante. Mais il faut se garder de prendre cette proposition à la lettre. C'est ce qui n'a pas toujours été pratiqué, surtout en Allemagne où, sous le nom d'énergétique, le mélange de choses concrètes et d'idées abstraites a abouti à un véritable imbroglio, dans lequel les grands fondateurs de la thermodynamique : Lavoisier, Carnot, Clapeyron, Marc Seguin, Joule, Colding, etc..., auraient vraiment peine à se reconnaître.

C'est de ce chaos qu'il faut dégager le corpuscule, objet précis, dont les migrations, les attractions, les répulsions, donnent naissance à des phénomènes particuliers que l'on a nommé *phénomènes électriques*. Ce sont là des manifestations de ses propriétés dont la *notion d'électricité* se dégage par abstraction.

Les phénomènes électriques ne sont du reste pas les seuls par lesquels se manifeste l'électron. L'étude des phénomènes magnétiques a conduit Pierre Weiss à décrire une unité abstraite de magnétisme : le *magnéton*. L'origine des phénomènes lumineux doit être attribuée à la vibration de corpuscules qui, d'après W. Ritz, se comportent comme un aimant élémentaire. Il en résulte la notion d'une unité que d'autres auteurs ont décrits sous le nom de *spectron*. Le magnéton, le spectron, dont

l'existence en temps qu'unités abstraites est des plus intéressantes, ne doivent pas néanmoins être considérés comme des constituants nouveaux et universels de la matière. L'hypothèse qui en fait des manifestations d'un même objet réel, le corpuscule ou l'électron, apparaît comme la plus vraisemblable.

En résumé, l'électron n'est pas de la matière, bien qu'il en ait une des propriétés, l'inertie ; c'est un constituant de la matière. L'électron n'est pas de l'électricité, du magnétisme, de la lumière, mais il semble être l'origine des phénomènes électriques, magnétiques, lumineux. Enfin et surtout il est plus et mieux que tout cela. L'électron n'est ni un mot, ni une abstraction, ni une propriété, ni même un fait, c'est un objet, un élément, une substance, une chose ayant une existence concrète, une chose en soi.

Pour plus de détails théoriques et bibliographiques on lirait utilement le chapitre premier d'*Électronique et biologie*, Masson, 1913.

---

## CHAPITRE II

### L'UNITÉ D'ÉLECTRICITÉ POSITIVE ET L'UNITÉ DE MATIÈRE

Lorsque, d'une substance quelconque, on extrait des corpuscules ou électrons à l'aide d'un des procédés indiqués dans le chapitre précédent, elle reste électrisée positivement, c'est-à-dire elle présente pour les corpuscules électrisés négativement un centre d'attraction par suite de sa tendance naturelle à reconquérir sa neutralité électrique.

*L'électricité positive*, nom sous lequel nous désignons cette attraction pour les corpuscules négatifs est donc la *propriété d'un autre constituant de la matière, propriété qui se manifeste lorsqu'on a retiré d'un corps ses électrons ou du moins une partie de ses électrons*.

Quelle est la nature de ce reliquat? On a parlé d'électrons positifs par un désir naturel de symétrie. Mais jamais par des moyens analogues à ceux employés pour l'étude des électrons négatifs, on n'a pu obtenir des résultats décelant l'existence de corpuscules transportant de l'électricité positive au même degré de densité que celle des électrons négatifs, c'est-à-dire dont le rapport  $\frac{e}{m}$  approche de 18000000.

Voyons ce qu'a donné l'expérimentation lorsqu'on a étudié des particules positivement électrisées et aussi petites que possible, dans des conditions de vitesse telles qu'il soit possible de leur appliquer des méthodes semblables à celles qui ont permis la détermination des corpuscules négatifs.

*Rayons positifs dans les gaz raréfiés.*

Si, à une cathode pleine sur laquelle viennent se heurter des particules positivement électrisées, on substitue une cathode perforée, on peut mettre en évidence en arrière de cette cathode un faisceau rectiligne de rayons qui marque d'une tache phosphorescente jaune le point où il vient frapper la paroi de l'ampoule.

On désigne ce faisceau sous le nom de rayons canaux, de rayons anodiques, de rayons de Goldstein, de rayons de J.-J. Thomson, de rayons positifs.

C'est cette dernière dénomination qui nous paraît la plus explicite; mais il est juste de rappeler que c'est Goldstein qui les a signalés le premier, et J.-J. Thomson qui les a le mieux étudiés. Le livre récent que ce dernier auteur leur a consacré devrait être lu par tous ceux qu'intéresse le problème de la constitution de la matière.

En déviant ces rayons à l'aide d'un champ magnétique et d'un champ électrique, il a été possible d'établir que le faisceau qui les compose n'est pas homogène, mais que le rapport  $\frac{e}{m}$  le plus élevé, correspond à la masse la plus petite si l'on suppose la charge électrique constante, ne



dépasse pas  $10^4$ , soit 10 000. La densité électrique de ces particules est donc 1 800 fois moindre que celle des corpuscules cathodiques. Cela veut dire que si l'on suppose la charge positive de ces particules égale en valeur absolue à la charge négative des électrons, leur masse est 1 800 fois plus grande.

Or on a pu déterminer de différentes manières d'une part la charge électrique totale d'une molécule-gramme d'hydrogène, d'autre part le nombre de particules existant à l'état libre dans une molécule-gramme d'un gaz quelconque. Si l'on calcule de cette manière le rapport  $\frac{e}{m}$  pour un atome d'hydrogène, on trouve précisément un chiffre de l'ordre de  $10^4$ . On peut donc conclure avec vraisemblance que *les plus petites particules formant les rayons positifs sont constituées par des atomes d'hydrogène portant la même charge électrique que l'ion  $H^+$  dans l'électrolyse.*

### *Rayons $\alpha$ .*

Dans le rayonnement des corps radioactifs, on peut isoler un faisceau chargé positivement. On donne aux rayons de ce faisceau, qui convoie la plus grande partie de l'énergie du rayonnement radique, le nom de rayons  $\alpha$ . Ce faisceau est composé de particules matérielles se déplaçant avec une vitesse moyenne de 20 000 kilomètres à la seconde et dont le rapport  $\frac{e}{m}$  est constant et égal à environ  $6 \cdot 10^3$  ou 6 000.

La nature chimique de ces particules a pu être précisée. Lorsqu'elles ont repris leur neutralité électrique, elles

constituent les molécules d'un gaz monoatomique, l'hélium, He, dont le poids atomique est 4. Si, comme on a pu le déterminer directement, on attribue à la charge électrique de chacune d'elles une valeur double de celle que transporte l'ion  $H^+$  dans l'électrolyse, on trouve que leur masse est égale à 4 fois celle des plus petites particules constituant les rayons canaux, ce qui est bien d'accord avec le poids atomique 4 de l'hélium. Les rayons  $\alpha$  sont donc constitués par des ions de  $He^{++}$ , c'est-à-dire de l'hélium ayant une double charge positive.

*Particules positives émises par les corps chauds.*

Ni la lumière, ni les rayons X ne provoquent le départ d'aucune particule positive. Mais, ainsi que nous l'avons vu plus haut, certains corps, principalement les métaux, dégagent, lorsqu'on les chauffe, un rayonnement dans lequel on peut déceler des corpuscules négatifs et en même temps des particules électrisées positivement. La détermination du rapport  $\frac{e}{m}$  a permis d'attribuer à ces particules une masse égale à 23-28 fois celle de l'atome d'hydrogène. Il s'agit donc là également d'atomes ou de molécules, mais on n'est pas encore bien d'accord sur la nature chimique de ces particules. Les uns veulent voir là des atomes de sodium (23), les autres des molécules d'oxyde de carbone (28).

Tels sont les faits. Ils peuvent se résumer en une seule proposition. *L'examen des rayonnements composés de particules en mouvement, chargées d'électricité positive, permet d'attribuer avec vraisemblance à ces particules une*

masse de même ordre que celle des atomes chimiques. Les plus petites de ces particules correspondent à l'atome d'hydrogène; les mieux connues, celles des rayons  $\alpha$ , sont constituées par des atomes d'hélium.

Or, l'atome d'hydrogène, l'atome d'hélium, c'est ce que nous nommons la matière, dans le sens le plus ancien du mot. *L'électricité positive nous apparaît donc, d'après ces faits, comme inséparable de la matière* et ceci pose d'une manière précise la question des électrons positifs.

### *Les électrons positifs.*

Cette question peut recevoir plusieurs solutions.

En premier lieu, si l'on donne au mot électron la signification abstraite dont nous avons parlé au chapitre précédent, c'est-à-dire si l'on considère l'électron positif comme la charge élémentaire d'électricité positive, aucune difficulté n'est possible. La matière de l'atome chimique transporte, comme nous venons de le voir, une charge positive qui en semble inséparable. Cela est l'énonciation pure et simple des faits, mais ne nous donne aucun aperçu sur la nature objective de cette électricité positive.

Si, par un désir naturel de symétrie ne reposant toutefois sur aucune notion expérimentale, on veut donner une existence réelle à l'électron positif, on peut faire deux hypothèses.

Dans la première, l'électron positif est un corpuscule symétrique de l'électron négatif. Il aurait le même rapport  $\frac{e}{m}$  et ne différerait que par le signe de la charge. Cela n'a pas au point de vue objectif grande signification; car on

ne peut invoquer à l'appui de cette opinion que l'identité des contraires qui forme la base de la philosophie d'Hegel. En tout cas on ne peut identifier cet électron positif avec les particules composant les rayonnements dont nous venons de parler et dont le rapport  $\frac{e}{m}$  est environ 1800

fois plus faible. L'électron positif serait donc accolé à la substance même de la particule et d'une manière si intime qu'il en serait en quelque sorte inséparable. Ainsi considéré, l'électron positif *a peut être un intérêt métaphysique; il n'en a aucun au point de vue physique ou chimique.*

Pour d'autres qui, par un désir de symétrie poussé encore plus loin, n'acceptent pas d'autres masses que la masse électromagnétique, l'électron positif ne serait autre chose qu'une charge d'électricité positive libre, égale en quantité à celle du corpuscule négatif, mais qui, étant concentrée dans une espace beaucoup plus restreint que dans l'électron négatif, présenterait par cela même une masse électromagnétique beaucoup plus grande. Cette hypothèse, d'ailleurs ingénieuse, qui est le fondement de la théorie purement électromagnétique de la matière repose sur un certain nombre de postulats ou d'extrapolations qui nous semblent des plus discutables. Elle introduit la *notion de volume* de l'électron qui est précisément celle sur laquelle nous avons le moins de données expérimentales. Elle n'indique nullement en quoi consiste la différence capitale entre l'électricité positive et l'électricité négative, c'est-à-dire ce changement de signe, que seuls peuvent considérer comme négligeables ceux qui ne veulent ou ne savent regarder la vérité en face. De ce que,



par exemple, les lois de l'imbibition nous permettent de déterminer quelle quantité d'eau, dans des conditions précises, constituera avec du sable desséché un agrégat stable, dira-t-on que le sable et l'eau sont deux choses identiques et de signes contraires, et que croira-t-on, par une semblable formule, avoir expliqué, ou même représenté ?

Pour le moment, nous devons uniquement nous demander s'il ne serait pas plus simple et plus rigoureux de ne pas sortir du domaine des faits et de n'incursionner sur les frontières indéterminées de la mathématico-métaphysique que lorsque nous serons arrivés à l'extrémité de la route ferme de l'observation et de l'expérimentation. Or, quelles notions certaines possédons-nous sur la nature de l'électricité positive ? C'est 1° *qu'elle est pratiquement inséparable de ce que nous appelons l'atome matériel*, tel que nous le font connaître les phénomènes chimiques et gravifiques, et 2° *que l'on n'a jamais pu obtenir une particule possédant à la fois une charge positive et une masse inférieure à celle du plus petit atome connu, l'hydrogène*. Dès lors pourquoi chercher à compliquer la question pour courir après une unité qui est forcément chimérique, puisqu'on aboutira toujours à deux abstractions distinctes : l'électricité positive et l'électricité négative ? N'est-il pas plus sage de donner des faits l'interprétation qui nous paraît la plus simple, du moment qu'elle représente, si elle ne les explique pas, tous les résultats expérimentaux : *les corps matériels sont constitués par la réunion, sous l'influence des actions électrostatiques, de corpuscules que l'on peut nommer électrons et dont l'électricité négative est une*

*propriété, et d'unités matérielles (stricto sensu) qui peuvent se ramener à l'atome d'hydrogène et dont une des propriétés est ce que nous appelons l'électricité positive.*

Telles sont les données qui nous sont fournies par l'étude physique. Nous allons chercher maintenant à les concilier avec les faits chimiques ; car une hypothèse valable doit satisfaire sans contradictions les desiderata chimiques au même titre que les desiderata physiques ; et c'est là, semble-t-il, ce qu'ont perdu de vue la plupart des physiciens qui ont cherché à élucider le passionnant problème de la constitution de la matière.

Voir *Électronique et biologie*, chapitre II.

---

### CHAPITRE III

## L'ATOME CHIMIQUE N'EST PAS INSECABLE

*La matière, agrégat d'unités de matière et d'électrons.*

Nous voilà donc en présence de deux constituants de la matière : l'un le corpuscule ou l'électron possède une masse très faible, exclusivement électromagnétique ; l'autre, correspondant à la plus petite quantité de matière connue, exerce une vive attraction sur l'électron, produisant ainsi ce que nous nommons les phénomènes d'électricité positive ; sa masse, sous l'influence de l'attraction terrestre, paraît constituer la majeure partie sinon la totalité de la matière pesante.

*Imaginons pour un instant que, dans un chaos initial, (dont nous n'affirmons pas pour cela l'existence concrète), seuls, ces deux éléments se soient trouvés en quantité illimitée. Le monde, tel que nous le connaissons, aurait-il pu prendre naissance et comment cette édification aurait-elle pu être menée à bien ?*

Nous pouvons répondre à cette question par une comparaison. Donnons à un architecte, d'une part, le plan d'un monument déterminé, d'autre part, une quantité suffisante de ciment et d'éléments égaux et minuscules de gravier. Il pourra chercher à réaliser son œuvre de deux

manières. Dans le premier cas, il cherchera à agglomérer son ciment et son gravier en une seule masse en lui donnant la forme du monument projeté. Ainsi entreprise, l'œuvre aura de grandes chances de ne pouvoir être réalisée.

Dans le second cas, il confectionnera d'abord avec le ciment et le gravier des éléments maniables de forme appropriée, à l'aide desquels il construira l'ensemble de la même manière que s'il s'agissait de pierres de taille et, avec un nombre limité de modèles, il lui sera permis de mener son œuvre à bien. Chaque élément, pris isolément, représentera un conglomérat de premier ordre. Par leur réunion en plus ou moins grand nombre, on pourra réaliser des conglomérats de deuxième ordre plus ou moins compliqués.

C'est ainsi que nous pouvons représenter l'édifice atomique et l'édifice moléculaire dans l'hypothèse où il n'y aurait comme éléments primordiaux que l'électron et l'unité de matière.

#### *L'atome insécable des corps simples.*

Cette hypothèse est satisfaisante au point de vue physique, nous venons de le voir ; voyons maintenant si elle est d'accord avec les phénomènes chimiques, ou si l'on doit lui substituer une autre suivant laquelle l'architecte, au lieu de n'avoir que du ciment et du sable, pourrait disposer de pierres de taille de différents modèles.

C'est certainement cette dernière opinion que, d'une manière presque unanime, auraient soutenue les chimistes du dernier siècle. Les méthodes rigoureuses de Lavo-



sier, succédant aux vues théoriques des alchimistes, avaient introduit dans la science la notion des corps simples, c'est-à-dire des particules de matière, demeurant toujours semblables à elles-mêmes au milieu des réactions chimiques qui n'ont aucune prise sur leur constitution intime.

C'est à ces particules élémentaires des corps simples que l'on a attribué le nom d'atomes chimiques dans l'idée des chimistes du commencement du XIX<sup>e</sup> siècle ; ce mot comportant toute sa valeur étymologique, l'atome était insécable. Le nombre de ces entités s'accrut progressivement et atteignait 83 dans la dernière table des poids atomiques.

Néanmoins, si elle est d'accord avec l'interprétation rigoureuse des faits expérimentaux, cette multiplicité d'éléments est loin d'être satisfaisante pour l'esprit, et, devant les faits, tous les chimistes philosophes ont considéré cette solution comme provisoire. Nous verrons plus loin avec quel regret J.-B. Dumas renonça à l'hypothèse de l'unité de la matière qu'il avait un moment espéré asseoir sur une base expérimentale inattaquable.

Notre grand Berthelot, auquel on ne peut reprocher d'avoir jamais sacrifié l'expérience à la théorie, écrivait en 1885 :

« Assurément cette notion de l'existence définitive et immuable de soixante éléments distincts, tels que nous les admettons aujourd'hui, ne serait jamais venue à l'idée d'un philosophe ancien, ou bien il l'eût rejetée aussitôt comme ridicule ; il a fallu qu'elle s'imposât à nous par la force inéluctable de la méthode expérimentale. Est-ce à

dire que telle soit la limite définitive de nos conceptions et de nos espérances ? Non, sans doute : *en réalité, cette limite n'a jamais été acceptée par les chimistes que comme un fait actuel, qu'ils ont toujours conservé l'espoir de dépasser.* »

Et à la page suivante, Berthelot expose en quelques lignes quelles sont les conséquences nécessaires de l'hypothèse suivant laquelle à chaque corps simple correspond un atome insécable :

« Ainsi chaque corps simple serait constitué par un atome spécial, par une certaine particule matérielle insécable. Les forces physiques, aussi bien que les forces chimiques, ne sauraient faire éprouver à cet atome que des mouvements d'ensemble, *sans possibilité de vibrations internes*, celles-ci ne pouvant exister que dans un système formé de plusieurs parties. Il en résulte encore qu'il *ne peut y avoir dans l'intérieur d'un atome indivisible aucune réserve d'énergie immanente.* »

C'est en comparant aux idées actuelles ces lignes, écrites il y a trente ans, que l'on peut se rendre compte de la véritable révolution qu'ont produite dans les bases mêmes de la chimie, les découvertes de la physique moderne.

### *Les phénomènes spectroscopiques.*

Ce furent d'abord les données spectroscopiques, difficiles à concilier avec la première des propositions nécessaires qui découlent de la notion classique de l'atome insécable. La théorie électromagnétique de la lumière suppose la vibration d'un corps électrisé ; or, la multipli-

cité des raies spectrales ou du moins des séries de raies, émises par un corps chimique incandescent et croissant avec le poids atomique de ce dernier, suivant l'observation d'Exner, évoque forcément l'idée d'une vibration interne de l'atome, incompatible avec la notion de son homogénéité. Nous ne pouvons discuter plus longuement cette signification des raies spectrales, dont nous aurons à nous occuper ailleurs, à propos des hypothèses de Rutherford-Bohr, sur la structure de l'atome.

#### *Les phénomènes radioactifs.*

Mais l'homogénéité interne de l'atome a été surtout remise en question par la découverte de la radioactivité et de l'évolution des substances radioactives. Nous avons déjà parlé dans les deux premiers chapitres de cet ouvrage des rayons  $\alpha$  et  $\beta$ , formés, les premiers d'atomes d'hélium, les seconds d'électrons, animés les uns et les autres de vitesses prodigieuses. Nous devons insister ici sur la signification chimique de cette véritable explosion d'atomes.

Les corps radioactifs sont des corps simples à poids atomique considérable (au-dessus de 208), mais dont les atomes semblent constitués d'une manière instable et en état de perpétuel devenir. Ces modifications qui sont spontanées et ne peuvent être influencées en rien par aucun des moyens en usage dans les laboratoires se font toujours dans le sens de la simplification, c'est-à-dire par l'élimination d'électricité ou de matière sous forme d'électrons (rayons  $\beta$ ) et d'hélium (rayons  $\alpha$ ). Nous aurons à revenir souvent au cours de ces études sur les aperçus

que nous dévoile cette remarquable propriété en ce qui concerne la formation et la vie des atomes.

Nous ne pouvons donner ici la description même incomplète des phénomènes radioactifs. Rappelons seulement l'évolution des atomes des deux séries les mieux connues : celles de l'uranium et celle du thorium.

	POIDS ATOMIQUE	NATURE DU RAYONNEMENT	PÉRIODE
Uranium. . . . .	238,5	$\alpha$	600000000 d'années
Radiouranium. . . . .	»	»	»
Uranium X. . . . .	»	$\beta, \gamma$	24,6 jours
Ionium. . . . .	»	$\alpha$	30000 ans
Radium. . . . .	226,5	$\alpha, \beta, \gamma$	2000 ans
Émanation ou niton. . . . .	220 à 223	$\alpha$	3,85 jours
Radium A. . . . .	»	$\alpha$	3 minutes
Radium B. . . . .	»	$\beta$	26,7 minutes
Radium C. . . . .	»	$\alpha, \beta, \gamma$	19,5 minutes
Radium D. . . . .	»	$\beta$	15 ans
Radium E. . . . .	»	$\beta$	4,8 jours
Radium F. . . . .	»	$\alpha$	140 jours
Plomb (?). . . . .	207	stable	

Nous voyons ainsi un atome d'uranium passer par une série de transformations d'une durée très inégale, caractérisées chacune par l'émission d'électrons ou d'atomes d'hélium. Le poids atomique de l'hélium étant 4, chaque corps radioactif, formé avec l'émission de rayons  $\alpha$ , possède un poids atomique inférieur de 4 unités par rapport à celui qui lui a donné naissance. Après 8 transformations de ce genre, l'atome d'uranium a enfin atteint un état stable constitué par l'atome de plomb qui semble être l'aboutissant des transformations de cette famille.

L'évolution des corps appartenant à la famille du tho-



rium est sensiblement analogue, bien que les périodes, sauf la première, soient beaucoup plus courtes.

	POIDS ATOMIQUE	NATURE DU RAYONNEMENT	PÉRIODE
Thorium. . . . .	232	»	30 000 000 000 d'années
Mesothorium 1. . . . .	»	»	5,6 ans
Mesothorium 2. . . . .	»	$\beta, \gamma$	6,2 heures
Radiothorium. . . . .	»	$\alpha$	2 ans
Thorium X.. . . .	»	$\alpha, \beta, \gamma$	3,6 jours
Émanation.. . . .	»	$\alpha$	53 1"
Thorium A.. . . .	»	$\beta$	10,6 heures
Thorium B.. . . .	»	$\alpha$	55 1'
Thorium C.. . . .	»	$\alpha$	qq. 1" (P)
Thorium D. . . . .	»	$\beta, \gamma$	3,1 1"
Bismuth. . . . .	208		stable

L'existence certaine de cet ordre de phénomènes rend complètement insoutenable la thèse de l'insécabilité de l'atome puisqu'il nous est ainsi permis d'assister à sa décomposition en éléments différents, éléments préexistants évidemment dans l'atome primitif. En outre, cette explosion atomique s'accompagne de la mise en liberté d'une quantité énorme d'énergie sous toutes ses formes : énergie électrique, énergie mécanique, énergie lumineuse, énergie calorifique, énergie chimique.

Si donc, comme l'affirme Berthelot, « *il ne peut y avoir dans l'intérieur de l'atome indivisible aucune réserve d'énergie immanente* », la révélation de la valeur immense de l'énergie intra-atomique est une preuve décisive et l'insécabilité de l'atome se trouve maintenant aussi complètement démentie par les faits les plus rigoureusement acquis, qu'elle semblait, il y a trente ans, trouver dans les résultats de l'expérimentation son argument le plus

probant. Aussi l'on peut dire qu'au point de vue de la philosophie chimique et de la métaphysique de la matière, la découverte d'Henri Becquerel et de Pierre et Marie Curie peut être considérée comme le point de départ d'une ère nouvelle.

#### *La transmutation expérimentale.*

Toutefois, si au lieu de rester sur le terrain positif, nous nous plaçons au point de vue théorique, nous voyons que cette possibilité de la transformation des atomes chimiques nous ramène aux conceptions médiévales de l'alchimie et de la transmutation des métaux et corps simples.

On peut, en effet, ironiser à bon compte en parlant des alchimistes. Leurs rêves, qui ne semblent plus irréalisables, ont servi à accumuler les faits à l'aide desquels ont été construites les sciences chimiques. S'ils ont rempli le rôle ingrat de précurseurs, c'est que l'esprit marche toujours en avant et devance souvent de bien loin les preuves matérielles. Aussi ont-ils trouvé de grands savants qui n'ont pas dédaigné de glaner dans leur champ. La lecture des études que leur a consacrées Berthelot est à ce point de vue des plus instructives ; et dans l'hommage qu'il leur a rendu, le fondateur de la chimie synthétique, qui, à son corps défendant, était aussi un grand philosophe, est venu devancer Ramsay. Le célèbre chimiste anglais n'a pas craint, en effet, d'aborder le problème du côté expérimental et de consacrer récemment à la transmutation des corps simples un chapitre de son ouvrage : « Elements and Electrons ».

Nous venons de voir que la radioactivité est une véritable transmutation spontanée ; mais les conditions déterminantes nous échappent, et s'il est possible de les entrevoir, nous ne pouvons exercer aucune action directe sur l'évolution des phénomènes radioactifs.

Depuis dix ans, Ramsay et ses élèves poursuivent, avec une patience et une ingéniosité sans cesse renouvelées, la réalisation d'une transmutation expérimentale, et les résultats qu'ils ont obtenus sont de nature à faire espérer que le pas décisif a été franchi.

Les premières recherches ont porté sur la transformation du cuivre en lithium. Ramsay et Cameron ont traité par l'émanation du radium des solutions de sulfate et d'azotate de cuivre et, malgré le soin apporté à la purification, ils ont constamment trouvé dans le liquide après traitement du lithium, facilement décelable à l'examen spectroscopique. M<sup>me</sup> Curie et M<sup>me</sup> Gleditsch ont contesté ces résultats et ont attribué l'origine du lithium à sa présence dans le verre des vases ayant servi à l'expérience. Dans des vases en platine, en effet, on n'obtiendrait aucune réaction.

En collaboration avec Usher, Ramsay a constaté que le niton (émanation du radium) mis au contact avec des solutions contenant du silicium, du zirconium, du titane ou du thorium, dégage de l'acide carbonique, bien que, certainement, le milieu ne contienne pas trace de carbone.

Ces expériences sont déjà singulièrement troublantes ; mais Ramsay lui-même ne leur accorde qu'un intérêt de second ordre. Il en est tout autrement, d'après lui, des

expériences suivantes qui semblent bien se rapporter à une véritable transmutation.

En 1908, cet expérimentateur, en collaboration avec Cameron, avait établi que l'action de l'émanation du radium sur l'eau a pour effet la production d'une certaine quantité de néon. Ces expériences ont d'abord été contredites et l'on a voulu attribuer la présence du néon à l'entrée de l'air atmosphérique qui, comme on le sait, contient une petite quantité de ce gaz. Ramsay a repris plus récemment cette expérience en se mettant rigoureusement à l'abri de cette cause d'erreur et a pu de nouveau mettre en évidence la production du néon.

Mais ce n'est pas tout. Dans les expériences précédentes, l'intervention d'un corps radioactif introduit dans le problème un facteur dont l'action ne peut pas être très facilement définie, bien qu'elle semble liée à l'énergie des rayons  $\alpha$  et  $\beta$ . Collie et Paterson ont procédé d'une manière toute différente. Ils ont soumis longtemps de l'hydrogène raréfié au bombardement cathodique dans une ampoule de Crookes et ont trouvé ensuite dans le tube de l'hélium et du néon, sans que l'origine de ces gaz ait pu, d'après eux, être attribuée à l'air atmosphérique ou à un dégagement du gaz occlus dans le verre de l'ampoule ou le métal de la cathode.

Ramsay a repris ces expériences et indique que le bombardement cathodique de l'hydrogène pur et sec semble engendrer de l'hélium. Si, au contraire, l'hydrogène est mélangé à de l'oxygène ou à de la vapeur d'eau, on obtient du néon. De même, dans des expériences encore trop peu nombreuses pour qu'il puisse donner des



conclusions absolument fermes, cet auteur a obtenu de l'argon par le bombardement cathodique de l'hydrogène en présence du soufre et peut être du krypton en substituant du sélénium au soufre.

Les expériences qui précèdent sont encore, dans leur ensemble, trop délicates et trop récentes pour qu'elles puissent être considérées comme hors de toute contestation. On a, par exemple, suggéré que le néon de l'air atmosphérique pouvait traverser le verre échauffé par le bombardement cathodique, que l'hélium et le néon pouvaient être occlus dans le verre et les électrodes, puis mis en liberté sous l'influence du courant et des rayons cathodiques. Ces objections ont eu pour résultat de faire reprendre chaque fois les expériences avec une rigueur plus grande.

Du reste, J.-J. Thomson qui a formulé ces réserves avec le plus de précision a, lui-même, malgré une interprétation légèrement différente, apporté une série de faits non moins intéressants. En soumettant des sels alcalins aux rayons cathodiques, il a réussi, par sa méthode des rayons positifs, à déceler dans l'atmosphère du tube de Crookes un gaz nouveau, ayant pour poids atomique trois et auquel l'auteur donne le nom de X3. Bien que J.-J. Thomson veuille considérer ce corps comme une molécule triatomique de l'hydrogène, nous verrons plus loin les raisons qui nous semblent militer en faveur de l'opinion suivant laquelle il s'agirait d'un nouveau corps simple, prévu par Lecoq de Boisbaudran et venant se placer en tête de la série des halogènes.

Ces exemples semblent donc bien établir qu'en dehors

*de l'observation des phénomènes radioactifs, la sanction expérimentale, longtemps considérée comme impossible, soit venue confirmer d'une manière directe cette notion de complexité de l'atome dont l'étude des phénomènes physiques proclamait la nécessité.*

Voir *Electronique et biologie*, chapitre III.

---

## CHAPITRE IV

### NOMBRE DES UNITÉS DE MATIÈRE ENTRANT DANS LA CONSTITUTION DES ATOMES

Si nous examinons quelles sont les notions vraiment précises que nous possédons sur chaque atome, nous voyons qu'il est possible de les ramener à trois :

1° *Le poids atomique*, c'est-à-dire le rapport pondéral qui existe entre les atomes des divers corps simples.

C'est là certainement la notion la plus rigoureuse.

2° *La valence*, c'est-à-dire la capacité que possède chaque atome de se combiner avec un nombre plus ou moins grand d'autres éléments. Cette notion qui peut s'exprimer numériquement, avec moins de rigueur toutefois que le poids atomique, n'en est pas moins des plus importantes.

3° *Un ensemble de propriétés*, résultant des rapports nécessaires entre une espèce atomique et les autres atomes, propriétés qui se manifestent par des phénomènes auxquels on a donné le nom de *réactions chimiques*.

C'est de ces trois ordres de faits que nous devons chercher à déduire nos connaissances objectives des atomes chimiques.

La notion de poids atomique, que nous pouvons déter-

miner expérimentalement avec une admirable précision, nous permet d'aborder directement la question qui fait l'objet de ce chapitre.

*La signification du poids atomique.*

Nous avons montré qu'il existe nécessairement une unité de matière, c'est-à-dire que les propriétés de la matière au sens étroit du mot *ne sont pas continues, mais expriment l'intégration des propriétés d'unités irréductibles* et que, parmi ces propriétés, une des plus caractéristique est d'être attirée par les forces de gravité. Il en découle naturellement que chaque atome, conglomerat d'unités de matière, sera attiré par les forces de gravité, proportionnellement au nombre des unités qui le composent. *Le poids atomique, caractéristique de chaque atome, ne sera donc autre chose que l'expression de la valeur numérique de ce rapport.*

On ne peut émettre à ce sujet que deux hypothèses.

*Ou bien les divers poids atomiques sont les multiples du plus petit d'entre eux : l'hydrogène, qui serait à la fois l'atome le plus léger et l'unité de matière.* Dans ce cas, l'unité chimique de matière se confondrait avec l'unité physique de matière que nous avons étudiée au chapitre II. Le nombre entier qui exprimerait le poids atomique désignerait ainsi le nombre d'unités de matière entrant dans la composition de l'atome.

*Ou bien, tous les poids atomiques, y compris celui de l'hydrogène, sont des multiples d'une unité de matière plus petite que le plus petit atome connu.*



*Le poids atomique et l'unité de matière.*

La première hypothèse a pour elle d'être la plus simple et cela doit nous engager à ne la rejeter qu'en présence d'objections décisives, démontrant le désaccord entre l'hypothèse et les faits observés.

On peut invoquer également en sa faveur le fait négatif que nous avons rapporté dans le chapitre II : jamais l'expérimentation n'a pu déceler une quantité d'électricité positive transportée par des particules matérielles possédant une masse inférieure à celle d'un atome d'hydrogène.

Mais cette hypothèse possède également à son actif un certain nombre de faits positifs :

1° Dans l'étude des rayons positifs, non seulement J.-J. Thomson, comme nous venons de le dire, n'a jamais constaté l'existence d'une particule chargée positivement et d'une masse inférieure à celle d'un atome d'hydrogène, mais encore, quel que soit le gaz mis en action, il a toujours trouvé un plus ou moins grand nombre de particules possédant exactement cette masse. Nous savons bien que J.-J. Thomson lui-même a donné comme explication de ce phénomène l'occlusion possible de l'hydrogène dans le verre de l'ampoule ou le métal de la cathode ; il est permis toutefois de se demander si cette cause peut toujours être invoquée et si elle est la seule. On pourrait également supposer, avec quelques auteurs, qu'il s'agit là d'un véritable fractionnement, en un mot d'une analyse de l'atome.

2° En face de cette analyse, on peut également invoquer la véritable synthèse d'atomes que Ramsay d'une

part, Collie et Paterson de l'autre (voir chapitre III), semblent avoir réalisée en produisant de l'hélium, du néon, et peut-être du krypton et de l'argon, par le bombardement cathodique de l'hydrogène, soit pur, soit en présence d'oxygène, de soufre ou de tellure. C'est dans cette voie, aboutissant à une véritable synthèse atomique, que l'on semble approcher le plus près de l'expérience décisive.

3° Un savant anglais, sir Norman Lockyer a abordé le problème d'un tout autre côté.

D'après cet auteur, les étoiles les plus chaudes ne donnent que le spectre de l'hydrogène ; puis apparaît celui de l'hélium. A une température inférieure, les spectres de ces gaz sont mélangés aux raies que l'on obtient avec les métaux portés aux plus hautes températures connues ; ce sont les raies protométalliques. A une température plus basse encore, les spectres des métaux peuvent être décelés avec les caractères qu'ils présentent dans l'arc électrique. D'une manière générale, les éléments apparaissent dans l'ordre des poids atomiques croissants.

Se basant sur ces faits, sir N. Lockyer admet qu'il s'agit là d'une véritable *évolution inorganique*, et que, *sous l'influence de très hautes températures, les corps simples se dissocient progressivement pour arriver à se résoudre en hydrogène*. Inversement, sous l'influence du refroidissement, les atomes d'hydrogène s'agrègent pour former de l'hélium, puis, les autres corps simples dans l'ordre courant des poids atomiques.

Les idées cosmogoniques de sir N. Lockyer ont soulevé bien des objections. S. Arrhénius, entr'autres, prétend

que, dans certains cas, celui des nébuleuses par exemple, les spectres de l'hydrogène et de l'hélium sont seuls obtenus parce que au contraire la température y est très basse et que seuls les gaz les plus réfractaires s'y maintiennent à l'état gazeux et peuvent y donner des spectres, les autres corps étant condensés à l'état liquide ou solide.

Les objections d'Arrhénius ne peuvent toutefois être généralisées et, si elles ne sont pas décisives, les observations de sir N. Lockyer doivent être prises en sérieuse considération dans cette révision du procès de l'unité de la matière.

*Les décimales des poids atomiques, objection à l'unité de la matière.*

Nous voyons ainsi que si nous ne possédons pas encore d'expérience cruciale, établissant d'une manière incontestable la formation des atomes les plus compliqués aux dépens du seul atome d'hydrogène, il faut convenir que l'observation et l'expérience sont nettement en faveur de cette hypothèse.

Nous voyons ainsi renaître, sous une forme moderne, l'hypothèse de Prout, chère à Dumas, qui n'y renonça qu'en présence des observations si précises et si consciencieuses de Stas. Prout admettait l'unité de la matière, c'est-à-dire la formation de tous les atomes à l'aide d'un pantogène unique, l'atome d'hydrogène, et l'atome d'hydrogène seul.

Sous cette forme absolue, l'hypothèse de Prout ne semble pas exacte. La dualité nécessaire des constituants électriques de la matière ne paraît pas compatible avec l'hy-

pothèse de l'*unité de la matière*, mais elle l'est parfaitement avec la notion d'*unité de matière*, qui est tout à fait différente.

Dans l'hypothèse de Prout, en effet, les divers atomes sont formés par la simple polymérisation de l'hydrogène. A aucune époque, les chimistes qui l'ont défendue n'ont cherché à concréter cette formation, ni à déterminer quelles peuvent être les forces qui unissent ainsi les composants primordiaux. En tout cas, il ne leur est jamais apparu que la cause de cette agrégation puisse être un élément doué de masse, et pouvant influencer d'une manière quelconque sur le poids atomique.

Pour eux, l'unité était la commune mesure des divers poids atomiques, et les décimales que donnaient les déterminations devaient être attribuées à des erreurs d'expérience. Dès lors, il était inutile d'invoquer la présence d'un autre constituant, et l'intransigeance même de la théorie uniciste en amena la chute après que les patientes recherches de Stas eurent montré que la commensurabilité commune des poids atomiques n'était qu'une loi approchée et ne pouvait être définitivement admise, au moins sous la forme absolue que lui avait donnée Prout.

L'hypothèse de Prout semblait pourtant contenir une certaine part de vérité. Elle n'a jamais été rejetée qu'à regret par les chimistes ; elle ne l'a jamais été complètement par les philosophes dont elle satisfait les désirs de simplification, et Berthelot lui-même, qui ne peut être suspect de faiblesse à l'égard des théories en désaccord avec l'expérimentation, reconnaissait que « tout en n'étant plus soutenable dans son sens strict et rigoureux, l'hypo-



thèse de Prout a pour elle des observations singulières et qui, en tout état de cause, réclament une interprétation ».

Aujourd'hui, grâce aux acquisitions de la physique moderne, la question se pose différemment. Le poids atomique n'apparaît plus comme une fonction à une seule variable indépendante. Si la seconde variable, le nombre des électrons, peut être, dans certains cas, négligeable, on ne saurait affirmer qu'elle le soit toujours, et cela doit nous faire examiner de plus près l'objection contre laquelle est venue se briser la théorie de l'unité de la matière, à savoir l'incommensurabilité des poids atomiques, c'est-à-dire l'existence de décimales dans les chiffres qui les expriment alors que, l'hydrogène étant pris comme unité, les poids atomiques, si l'hypothèse de Prout était exacte, devraient être représentés par des nombres entiers.

*Les décimales des poids atomiques et les causes d'erreur expérimentales.*

Il n'est certes pas dans notre intention de chercher à diminuer le mérite de ceux qui, comme Berzélius, Stas, Richards, Guye, etc..., ont consacré tous leurs soins à la détermination la plus exacte possible des poids atomiques. Leurs expériences sont, le plus souvent, des merveilles d'ingéniosité, de délicatesse et de patience. Il ne semble pas douteux que les précautions prises ne les aient mis de plus en plus à l'abri des causes d'erreur connues. Aussi les chiffres obtenus méritent-ils la plus grande confiance et il serait souverainement injuste d'imiter certains sceptiques et de vouloir leur appliquer la boutade de Le Verrier

à Bessel : « le chiffre des dix millièmes est peut-être exact, mais celui des entiers ne l'est certainement pas ».

Les poids atomiques ainsi déterminés sont incontestablement comparables ; toutefois, nous ne croyons pas que leur exactitude soit absolue et encore moins que les décimales qu'ils présentent constituent, comme on l'admet couramment, un argument crucial contre l'existence d'une unité de matière.

En effet, sans mettre en cause le moins du monde la rigueur de l'expérimentation, en admettant que la pureté des corps sur lesquels il a été opéré était absolue (et l'on est obligé de reconnaître que, dans bien des cas, le criterium de cette absolue pureté fait défaut), en attribuant aux balances une infailibilité, corroborée par l'infailibilité de nos sens et la disparition de tout facteur personnel, on ne peut affirmer que le poids obtenu soit fidèlement et uniquement la totalisation des unités de matière, si elles existent.

Il est d'abord nécessaire de se souvenir que la loi, ou plutôt l'hypothèse d'Avogadro, sur laquelle sont basées les méthodes physiques les plus délicates, est une loi approchée. On sait, en effet, que les différents gaz et vapeurs ne suivent pas rigoureusement ni la loi de compressibilité, ni la loi de dilatation par la chaleur, qui sont également des lois approchées. Par exemple, l'hydrogène est moins compressible que ne le voudrait la loi de Mariotte, l'acide carbonique l'est davantage. Il en résulte que, si nous admettons comme point de départ, qu'à une pression déterminée, le même volume des deux gaz contient le même nombre de molécules, nous ne pourrons

maintenir cette affirmation lorsque nous aurons modifié cette pression. Or, nous n'avons aucun moyen de savoir à quel moment précis le nombre des molécules est rigoureusement égal dans un même volume des deux gaz; mais nous savons que les différences ne sont pas grandes et qu'à n'importe quelle pression les deux chiffres sont à peu près égaux. C'en est assez pour authentifier les nombres entiers obtenus, pas assez pour donner aux décimales la valeur d'un dogme intangible.

L'opération même de la pesée est bien plus compliquée qu'elle n'apparaît au premier abord. Elle met en action les lois de la gravité; mais est-il nécessaire de rappeler ici que nous ne savons rien de la nature même des forces de gravité et que ces lois sont purement empiriques. En tous cas, c'est le facteur gravité, qu'au moyen de corrections, l'on cherche à dégager des autres facteurs susceptibles d'agir sur l'opération de la pesée. Mais est-on bien certain de faire toutes les corrections nécessaires, lorsqu'il ne s'agit plus d'un poids relatif, mais d'un poids absolu? Nous indiquerons ici un exemple que nous présenterons plutôt comme une illustration de notre pensée que comme une objection directe aux mesures effectuées. Il suffit de peser un morceau de fer doux en déplaçant un aimant dans son voisinage pour voir que, si l'on ne connaissait pas les lois du magnétisme, on ne pourrait accorder aucune confiance aux lois de la gravité. Or les variations du champ électrique et du champ magnétique terrestres sont suffisantes pour, qu'avec les idées actuelles sur la constitution de l'électricité et de la matière, on ne puisse, à priori, les considérer comme complètement négligeables.

On ne peut, du reste, affirmer que l'arrangement relatif des particules matérielles entre elles n'ait pas une certaine influence sur le poids du composé. Bien plus, après les recherches de Landolt, Sandford et Rey, Heydwiller, Morley, Guye, etc., il semble bien que l'on peut affirmer le contraire et que les poids subissent dans les réactions chimiques des variations, certes minimales, mais sur l'étendue desquelles on n'est pas encore bien fixé. Guye affirme qu'elles ne pourraient intéresser, tout au plus, que la deuxième décimale des poids atomiques. D'accord lorsqu'il s'agit de changements dans l'édifice moléculaire, mais du moment que l'atome est un conglomérat complexe, n'est-il pas permis de formuler l'hypothèse suivant laquelle *l'arrangement différent des éléments qui le composent peut produire des variations de poids sensibles.*

Nous pouvons même avoir une donnée précise à cet égard. La détermination précise du poids atomique de l'hydrogène par rapport au poids atomique de l'oxygène a donné le chiffre de 1,008. Au lieu de déclarer qu'un tel écart est incompatible avec l'unité de matière, ne semble-t-il pas plus logique de se demander si cette différence de 0,008 ne correspond pas à la différence de poids (et non de masse) entre l'unité de matière simplement engagée dans la combinaison moléculaire de la molécule d'hydrogène et la même unité de matière engagée dans la combinaison atomique de l'atome d'oxygène. Il n'y a là rien qui répugne à l'esprit ou qui soit en contradiction avec un fait expérimental. Si nous partons de ce point de départ, nous allons voir que plus le chiffre du poids atomique s'élève, plus la rigueur de ses décimales devient incertaine,



en raison même de cet écart entre le poids (et non la masse) des unités de matière prises isolément et celui de leur intégration dans l'atome.

Car enfin, — il n'est pas inutile de le répéter : — il n'est plus question désormais d'une *polymérisation sans cause* de ces unités de matière, mais bien d'une *agglomération dans laquelle les électrons, particules douées de masse, jouent un rôle capital*. La masse électronique présente même la singularité de n'être pas constante et de varier avec la vitesse. Comment agit la gravité sur cette masse ? Nous l'ignorons complètement et, bien que cette masse figure évidemment dans le poids de l'atome, nous ne savons même pas si les forces de gravité l'attirent, la repoussent ou restent sans action. Ce simple énoncé nous permet de contester toute valeur à l'argumentation qui opposerait les décimales des poids atomiques à l'hypothèse de l'unité de la matière.

Il ne s'agit pas en effet de critiquer la valeur des expériences faites et des résultats acquis, mais simplement de mettre en garde contre des déductions abusives, basées sur la rigueur absolue des décimales obtenues. Alors que les grandes lois de la physique apparaissent de plus en plus comme des lois approchées que l'on ne peut extrapoler à l'infini, les chimistes auraient mauvaise grâce à vouloir maintenir l'absolutisme de leurs approximations.

Ils devraient plutôt se souvenir que les poids atomiques de Stas dont la détermination scrupuleuse a occupé la plus grande partie de la vie de ce savant n'ont pu être maintenus. Les recherches nouvelles de Guye, Richards ont établi, en effet, que des causes d'erreur, telles que

l'absorption d'eau ou de gaz, la solubilité relative des composés les plus insolubles, la division extrême de certains précipités qui échappent aux filtrations les plus soigneuses, etc., sont de nature à modifier des décimales que l'on était en droit de croire définitives.

*Les décimales des poids atomiques, preuve de l'unité de matière.*

Etant données ces nombreuses causes d'erreur, il est admirable que l'expérimentation ait pu obtenir un tel degré de précision que les décimales des poids atomiques non seulement ne soient plus un obstacle à l'hypothèse de l'unité de matière, mais constituent, à notre avis, l'argument le plus puissant en faveur de l'existence de cette unité.

En premier lieu, il faut se souvenir que les nombres ainsi fixés sont des moyennes déduites des données expérimentales. Un apôtre infatigable de l'unité de la matière, Hinrichs, a cherché dans un grand nombre de publications à établir que les limites vers lesquelles tendent ces moyennes sont des nombres entiers. L'ensemble des calculs et des courbes d'Hinrichs est très impressionnant surtout en ce qu'il corrobore les autres arguments invoqués par cet auteur en faveur de sa thèse. Néanmoins Le Chatelier a récemment critiqué la valeur de la base mathématique de sa méthode.

Il nous semble plus simple et plus rigoureux de comparer entre eux les poids atomiques admis par la commission internationale et de rechercher *s'ils semblent se grouper autour des nombres entiers ou si, au contraire,*

*les décimales résultant des données expérimentales sont aussi irrégulièrement distribuées qu'elles le seraient au cas où les atomes des corps simples formeraient des êtres distincts, n'ayant entre eux aucune commune mesure.*

Voici comment nous pourrons, avec quelque rigueur, nous rendre compte du rôle du hasard dans cette répartition des décimales.

Deux hypothèses seules sont en présence. Ou bien il n'existe pas d'unité de matière et les nombres représentant les poids atomiques sont quelconques. Dans ce cas, aucune commensurabilité, même esquissée, n'est à prévoir et *les décimales des coefficients atomiques doivent être réparties d'une manière sensiblement égale entre 0 et 1*, ainsi que le voudrait l'intervention de la seule loi du hasard.

Dans l'hypothèse contraire, à cette loi vient se substituer la notion d'une unité de matière, facteur nouveau qui a pour action d'introduire, entre les coefficients atomiques, une commensurabilité d'autant plus marquée que ce facteur aura une influence plus considérable. Nous admettons en effet, ne l'oublions pas, que le poids atomique est une fonction ne dépendant pas forcément d'une seule variable indépendante : le nombre des unités de matière ; mais que d'autres variables peuvent intervenir : spécialement le nombre et l'arrangement des électrons qui sont susceptibles de diminuer cette commensurabilité dans des proportions corrélatives de leur importance respective.

Ceci posé, divisons en cinq fractions égales les possibilités du premier chiffre des décimales du poids atomique.

Dans une première catégorie, plaçons les corps dont les décimales vont de 0,91 à 1,10, c'est-à-dire ceux dont le poids atomique se groupe le plus étroitement autour de l'unité ; dans une seconde, ceux qui vont de 1,1 à 1,3 et ainsi de suite. Il est bien évident que, d'après les lois du hasard, ces cinq catégories doivent, si la première hypothèse correspond à la réalité des faits, contenir un nombre sensiblement égal de corps simples. Nous nous trouvons, en effet, dans des conditions analogues à celle du jeu de dés, en admettant que le solide régulier dont on se sert ait cinq faces au lieu de six. Si le dé est bien construit, il n'y a aucune cause déterminante pour, qu'après avoir été agité et lancé, il repose sur une quelconque de ses faces plutôt que sur une autre. En d'autres termes, tous les chiffres de 1 à 5, dans notre jeu, ont les mêmes chances de sortir. Si l'un d'entre eux était privilégié d'une manière évidente pendant une assez longue série, l'existence d'une intervention quelconque, venant modifier les lois du hasard : tricherie, construction vicieuse du dé, etc., s'imposerait à notre esprit.

Or l'examen le plus superficiel du tableau ci-contre nous montre que le groupe des décimales de 0,91 à 1,1 l'emporte considérablement sur tous les autres groupes. Mais nous pouvons ne pas nous en tenir là et pousser plus loin notre analyse.

Borel, dans un livre des plus suggestifs sur le hasard, indique une formule commode, permettant d'apprécier avec une rigueur suffisante la probabilité suivant laquelle se présente tout événement s'écartant de la répartition régulière. Désignant sous le nom d'unité décimale d'écart



POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES D'APRÈS LE  
GROUPÉS SUIVANT

De 51 à 60.	De 61 à 70.	De 71 à 80.	De 81 à 90.	De 91 à 100.
Cuivre 63,57	Nickel 58,68	Indium 114,8	Argon 39,88	Hydrogène 1,008
Zirconium 90,60	Strontium 87,63		Fer 55,84	Hélium 4,00
Mercure 200,60	*Yttrium 88,70		*Gallium 69,90	Lithium 6,94
	*Ruthénium 101,70		*Rhodium 102,90	Bore 11,00
	Palladium 106,70		Argent 107,88	Carbone 12,005
	Etain 118,70		Cœsium 132,81	Oxygène 16,00
	*Erbium 167,70		*Praséodyme 140,90	Fluor 19,00
			Osmium 190,90	Sodium 23,00
				Vanadium 51,00
				Chrome 52,00
				Manganèse 54,93
				Cobalt 58,97
				Arsenic 74,96
				Brome 79,92
				Krypton 82,92
				Molybdène 96,00
				Iode 126,92
				Lauthane 139,00
				*Europium 152,00
				*Lutécium 175,00
				Tungstène 184,00
				Thallium 204,00
				Bismuth 208,00
				*Radium 226,00

TABLEAU DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR 1916,  
LEURS DÉCIMALES

De 1 à 10.	De 11 à 20.	De 21 à 30.	De 31 à 40.	De 41 à 50.
Glucinium 9,10	Néon 20,20	Cérium 140,25	Magnésium 24,32	Chlore 35,46
Azote 14,01	Selenium 79,20	*Néodyme 144,30	Silicium 28,30	*Germanium 72,50
Aluminium 27,10	Antimoine 120,20	*Gadolinium 157,30	Zinc 65,37	Rubidium 85,450
Phosphore 31,04	Xénon 130,20		Cadmium 112,40	*Niobium 93,50
Soufre 32,06	*Terbium 159,20		Baryum 137,37	Tellure 127,50
Potassium 39,10	Platine 195,20		*Samarium 150,40	*Oyspresium 162,50
Calcium 40,07	Or 197,20		*Niton 222,40	*Holmium 163,50
*Scandium 44,10	Plomb 207,20		Thorium 232,40	*Thullium 168,50
Titane 48,1	Uranium 238,20			*Ytterbium 173,50
Iridium 193,1				Tantale 181,50



un nombre obtenu en multipliant la racine carrée du nombre des expériences  $E$  par deux fois la racine carrée du produit de la probabilité de l'événement observé,  $p$ , par la probabilité contraire  $q$  ( $q = 1 - p$ ), il établit que la probabilité d'un écart supérieur à  $n$  fois l'unité décimale est égale à  $10^{-n^2}$ . Il nous est donc loisible d'appliquer cette formule à l'écart que l'on constate, à première vue, entre le nombre des corps de la première catégorie et celui que l'on devrait obtenir rationnellement, si les décimales des poids atomiques étaient quelconques, c'est-à-dire réparties suivant les seules lois du hasard.

Nous pouvons du reste varier notre manière d'opérer en nous rappelant que, suivant la rareté des corps ou

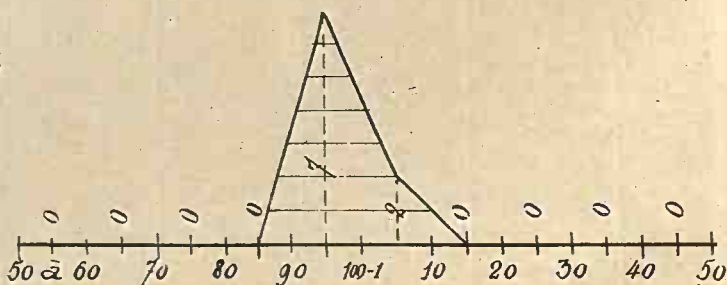


Fig. 1.

l'élévation des poids atomiques, il existe des degrés de précision différents entre les décimales des poids atomiques des différents éléments.

Remarquons d'abord que si nous considérons les corps simples dont le poids atomique est inférieur à 20, nous constatons qu'aucun d'eux ne diffère du nombre entier de plus de  $1/10$ . C'est une proportion de 100 pour 100

au lieu de 20 pour 100. Mais le nombre des cas n'est pas assez élevé pour que nous puissions utilement employer la méthode des unités décimales d'écart (*fig. 1*).

Examinons maintenant les corps simples dont le coefficient atomique est inférieur à 60. Ce sont les éléments

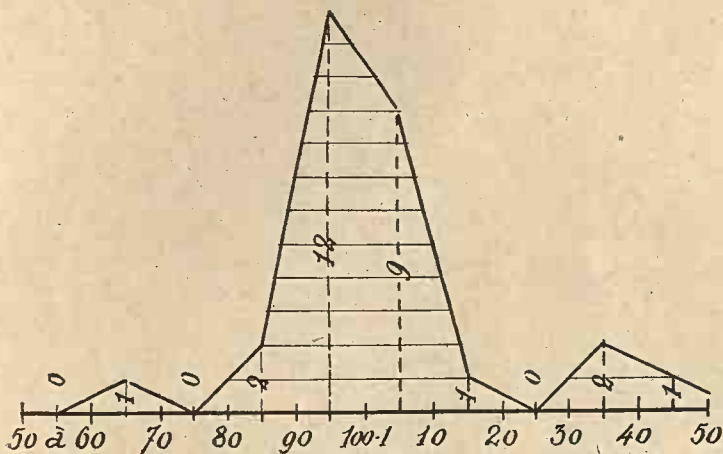


Fig. 2.

les plus répandus et ils constituent probablement la presque totalité de la masse terrestre. Nous trouvons 28 corps sur lesquels 21 appartiennent à la catégorie comprise entre 0,91 et 0,1. C'est une proportion de 75 pour 100 au lieu de 20 pour 100. Si nous appliquons la formule de Borel, nous obtenons : unité décimale d'écart

$$\text{ou } U = 2 \sqrt{\frac{1}{5} \times \frac{4}{5} \sqrt{28}} = \frac{4}{5} \sqrt{28} = \frac{4}{5} \times 5,3 = 4,24.$$

Si la répartition avait été complètement régulière, cette catégorie aurait dû comprendre 5,6 corps au lieu de 21.



L'écart observé est donc de 15,4. Le coefficient est donc égal à  $\frac{15,4}{4,24} = 3,63$  dont le carré est 13,17. La probabilité cherchée est donc de  $10^{-13,17}$ , c'est-à-dire inférieure à  $\frac{1}{10\ 000\ 000\ 000\ 000}$  ou à un dix-trillionième. Or dans la

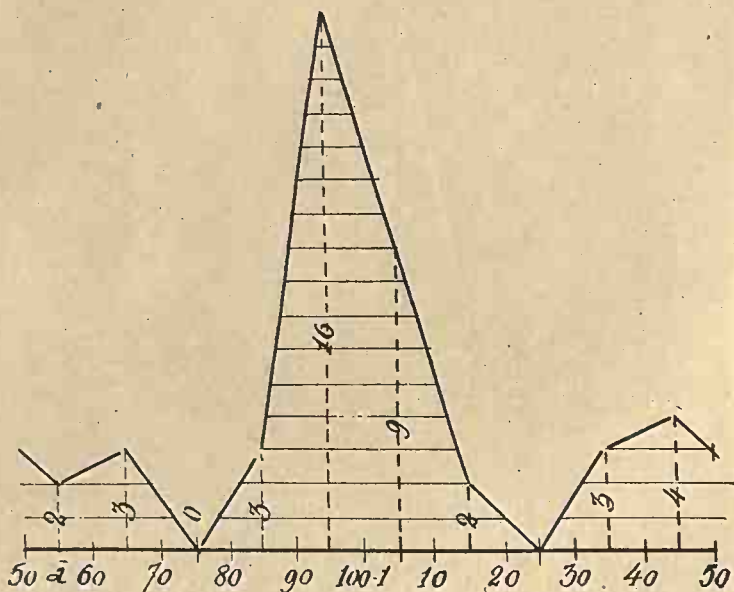


Fig 3.

vie pratique, nous considérons comme négligeable toute probabilité inférieure au millionième (*fig. 2*).

L'examen des 42 corps simples dont le poids atomique est inférieur à 100 donne le résultat suivant : 25, soit 60 pour 100, appartiennent au groupement autour de l'unité. Si nous calculons la probabilité à laquelle corres-

pond ce nombre dans le cas où cette coïncidence serait due au hasard, nous avons :

$$U = 2\sqrt{\frac{1}{5} \times \frac{4}{5}} \sqrt{42} = \frac{4}{5} \times 6,5 = 5,2.$$

$$E = 25 - \frac{42}{5} = 25 - 8,4 = 16,6.$$

$$n = \frac{16,6}{5,2} = 3,2 \text{ dont le carré est } 10,24.$$

La probabilité cherchée est de  $10^{-10,24}$ , c'est-à-dire comprise entre un dix-milliardième et un cent-milliardième. Nous pouvons, du reste, comprendre pourquoi elle est un peu supérieure à la précédente. Nous ne comprenons pas, en effet, dans le groupement autour de l'unité, deux corps dont la décimale commence par 9; le gallium 69,9, et le krypton 82,9. Or en réalité leur poids atomique ne diffère que de  $\frac{1}{10}$  de l'unité, et lorsqu'il s'agit de corps aussi rares et aussi difficiles à obtenir purs, le désir d'arrondir la décimale entraîne certainement une erreur supérieure à  $\frac{1}{100}$ . Si nous comptons ces deux corps, le groupement autour de l'unité comprendra 27 corps au lieu de 25 et la probabilité d'une coïncidence fortuite s'abaissera à  $10^{-12,96}$ , c'est-à-dire au voisinage du dix-trillionième (*fig. 3*).

Il est difficile de concevoir l'énormité de pareils chiffres avec lesquels nous ne sommes pas familiarisés. Une des manières les plus frappantes de nous les représenter consiste à les appliquer aux mesures du temps.

Nous nous rendons bien compte, à notre échelle, de la

brïeveté d'une seconde. Or, en un siècle, il n'y a environ que 3 153 600 000 secondes. Dix trillions de secondes correspondent à près de 3 200 siècles, plus de 160 fois

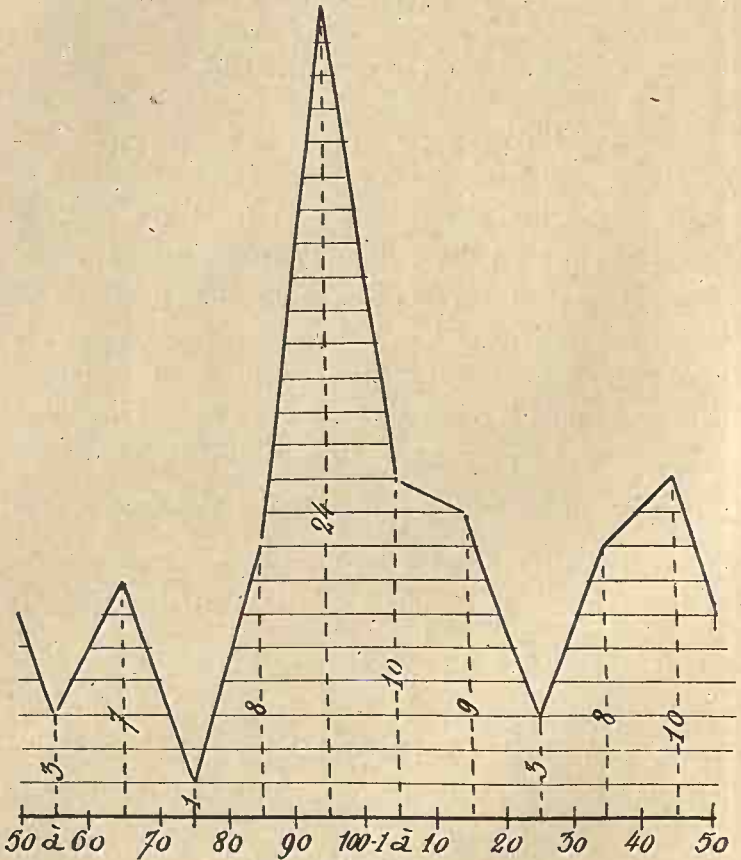


Fig. 4.

le temps écoulé depuis le commencement de l'ère chrétienne.

On voit ainsi les chances qu'aurait un événement quel-

conque de se produire durant une seconde déterminée s'il devait se passer dans des conditions absolument fortuites une fois durant 3 200 siècles. La probabilité que le groupement des poids atomiques autour de l'unité est dû au hasard, est du même ordre.

Si nous prenons tous les poids atomiques figurant dans la table de la commission internationale de 1916, nous obtenons évidemment des chiffres moins élevés, étant donnée la difficulté croissante de la détermination précise des décimales des poids atomiques. Ils sont néanmoins intéressants. 34, soit 41 pour 100, se groupent autour de l'unité. L'application de la formule de Borel donne les résultats suivants :

$$U = 2\sqrt{\frac{1}{5} \times \frac{4}{5}} \sqrt{83} = \frac{4}{5} \times 9,1 = 7,28.$$

$$E = 34 - \frac{83}{5} = 34 - 16,6 = 17,4.$$

$$n = \frac{17,4}{7,28} = 2,4 \text{ dont le carré est } 5,76.$$

La probabilité est voisine du millionième (*fig. 4*).

Toutefois, parmi tous les corps simples connus, il en est un certain nombre dont les poids atomiques n'ont été précisés que d'une manière très approximative et faire entrer leurs décimales dans un calcul de probabilité a plus de chances d'en fausser que d'en augmenter l'exactitude. Ce sont les éléments rares d'une purification difficile, comme par exemple la plupart des terres rares : scandium, yttrium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, erbium, holmium,



thullium, ytterbium, lutécium, auxquels on peut joindre le gallium, le germanium, le niobium, le rhodium, le ruthénium, l'indium, le radium et le niton (*fig. 5*).

Si l'on enlève ces 22 corps, on a les résultats suivants :

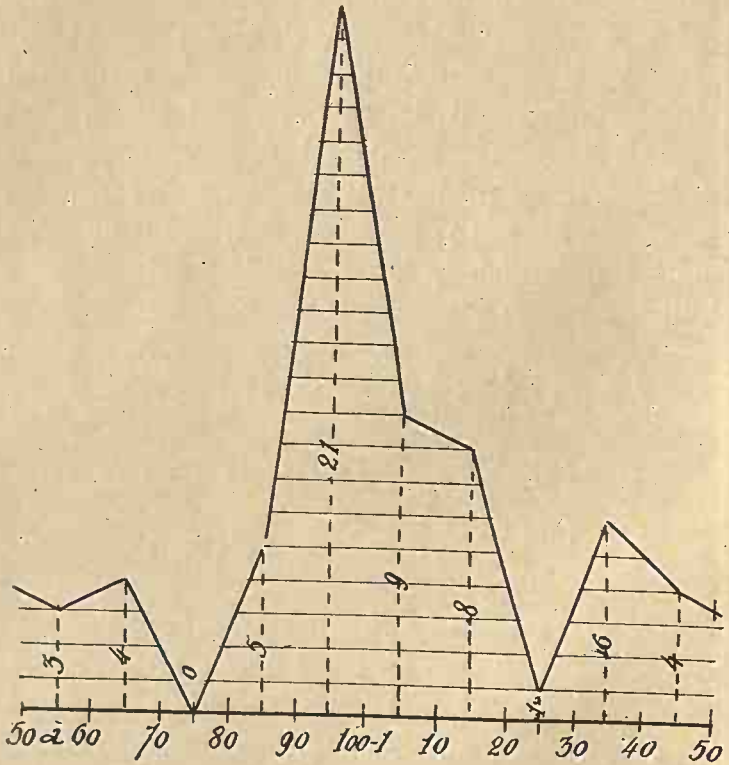


Fig. 5.

sur 61 corps, 30, soit à peu près 50 pour 100, se groupent autour de l'unité.

$$U = 2\sqrt{\frac{1}{5}} \times \frac{4}{5} \sqrt{61} = \frac{4}{5} 7,8 = 6,24.$$

$$E = 30 - \frac{61}{5} = 30 - 12,2 = 17,8.$$

$$n = \frac{17,8}{6,24} = 2,85 \text{ dont le carré est } 8,1225.$$

La probabilité cherchée est donc entre le cent-millionième et le milliardième.

Mais on peut encore varier l'expérience en calculant la probabilité suivant laquelle le hasard aurait pu provoquer la détermination des poids atomiques, différant d'un nombre entier de moins de un centième, c'est-à-dire dont les décimales sont comprises entre 0,99 et 1,01. On trouve que, sur 83 corps simples, 18 remplissent cette condition.

D'après Borel, dans le cas où la probabilité est faible (inférieure à  $\frac{1}{10}$ ), l'unité décimale d'écart est le double de la racine carrée du nombre attendu des événements favorables. La probabilité d'un écart dépassant  $n$  fois cette unité est de  $10^{-n^2}$ .

Dans le cas actuel, la probabilité pour chaque corps est de  $\frac{1}{100}$ ; pour 83 éléments l'unité décimale d'écart serait donc  $2 \times \sqrt{0,83}$ , soit environ  $2 \times 0,9$  ou 1,8. La valeur de  $n$  est donc de  $\frac{18 - 0,83}{1,8} = \frac{17,27}{1,8} = 9,54$ , dont le carré est 91. La probabilité cherchée est donc de l'ordre de  $10^{-91}$ .

La même formule pour les 61 éléments les mieux connus donne 15 cas favorables au lieu de 0,61.  $n = 9,2$  dont le carré est 85.

Enfin parmi les 28 corps simples dont le poids est inférieur à 60, on note 10 cas favorables et la probabilité revient à l'ordre de  $10^{-96}$ .

Or ce chiffre est de ceux dans lesquels on peut avoir le plus de confiance; car il s'agit de corps bien connus, d'un isolement relativement facile et d'un poids atomique faible. La précision avec laquelle les poids atomiques ont été déterminés est, pour la plupart d'entre eux, d'après Guye, de l'ordre du dix millième.

Si, pour plus de rigueur encore, on ne comprend pas dans ces calculs l'azote dont le poids atomique 14,01 est certainement un maximum, les probabilités sont ramenées respectivement à  $10^{-81}$ ,  $10^{-73,6}$  et  $10^{-76}$ . Cette modification ne change pas grand'chose à la conception que nous pouvons nous faire de la petitesse de ces chiffres.

On doit donc considérer comme absolument négligeable l'hypothèse suivant laquelle le groupement des décimales des poids atomiques autour des nombres entiers est une coïncidence due au hasard.

L'autre alternative s'impose donc. Ce groupement est dû à une loi et il est impossible d'en trouver une autre que la suivante : *les poids atomiques ont une tendance à être commensurables entre eux par suite de l'existence d'une unité de matière dont la masse est égale à celle de l'atome d'hydrogène, c'est-à-dire qui se confond avec ce dernier.*

Il ne saurait en effet être question d'une autre unité, plus petite, qui motiverait évidemment, suivant que l'unité choisie serait égale à la moitié ou au quart de l'atome d'hydrogène, des groupements analogues autour des décimales 0,5 ou 0,25, 0,5, 0,75,

Cette commensurabilité par l'unité est donc une loi limite. Les faibles écarts s'expliquent facilement pour les raisons que nous avons données plus haut. Restent les exceptions dont il faut également trouver une explication satisfaisante.

*L'unité de matière et les corps isotopes.*

Si nous prenons par exemple les cinq corps dont le poids atomique est inférieur à 50 et dont les décimales diffèrent du nombre entier de plus de 0,1, nous voyons qu'il y a parmi eux deux gaz rares, le néon 20,2 et l'argon 39,88. Il est à remarquer que l'écart est minime puisque, pour l'argon, il n'est que de 0,02. Or il faut se souvenir qu'il s'agit là de corps chimiquement inertes dont la purification est par cela même extrêmement difficile; les méthodes physiques peuvent être seules utilisées pour la détermination de leur poids atomique. De plus, la molécule de ces gaz présente la particularité d'être mono-atomique et il est permis de se demander si l'on est bien certain des limites exactes dans lesquelles la loi d'Avogadro-Ampère leur est applicable.

Les cas du magnésium 24,32 et du silicium 28,3 sont un peu plus difficiles à interpréter.

L'écart est un peu plus grand et ces corps présentent des propriétés chimiques bien définies qui rendent leur purification plus facile et la fixation de leur poids atomique plus rigoureuse. Néanmoins, dans les différentes déterminations qui ont été faites, on ne peut s'empêcher d'être frappé des écarts considérables que l'on relève suivant les méthodes employées. Wurtz, dans son dictionnaire,



donne 24 comme poids atomique du magnésium. C'est celui qu'avaient obtenu Marchand et Scheurer par la décomposition du carbonate de magnésie. Le chiffre de la commission des poids atomiques a été plusieurs fois modifié: 24,28, 24,36, 24,32.

Il en est de même du silicium, pour lequel Wurtz indique 28,00 comme poids atomique. Dumas avait obtenu 28,02 par l'analyse du chlorure de silicium. Clarke, par de nombreuses déterminations, fut conduit à admettre la valeur 28,181. La commission des poids atomiques qui avait d'abord adopté 28,4, a abaissé plus tard ce chiffre à 28,3.

Il est vrai qu'il reste le chlore dont le poids atomique est certainement très voisin de 35,45, car le nombre et la précision des déterminations ne saurait laisser aucun doute. Aussi cette fraction constitue-t-elle un argument sérieux contre l'existence de l'unité de matière. *Nous pourrions presque dire que c'est le seul.*

Toutefois il ne s'agit là que d'une difficulté, et on peut émettre bien des hypothèses pour concilier le poids atomique du chlore et l'existence de l'unité de matière. La plus probable nous semble être la suivante.

Dans *Electronique et Biologie*, page 61, nous avons indiqué comme possible l'existence de deux corps possédant des poids atomiques différents et des propriétés chimiques si complètement identiques que leur séparation serait irréalisable. L'exemple des terres rares dont l'isolement est si difficile en raison de l'analogie de leurs réactions, nous semblait plaider en faveur de cette hypothèse. Elle a depuis reçu un nom, et, ce qui vaut mieux, un

corps. On a décrit sous le nom d'isotopes des corps simples à poids atomiques différents, mais à propriétés chimiques identiques. M. Maurice Curie, d'une part, M. Hagenschmidt, de l'autre, guidés par des données théoriques sur le poids atomique probable du plomb résultant de la désintégration du radium, ont déterminé comparativement le poids atomique du plomb provenant de la galène, et du plomb de la pechblende et de la monazite, minerais radioactifs. Alors que les résultats donnaient pour le premier chiffre 207, poids atomique classique du plomb, ces savants obtenaient, pour le radioplomb, un poids atomique plus voisin de 206 que de 207 conformément aux idées théoriques.

Cette notion très simple de l'isotopisme peut être facilement invoquée à l'appui de notre thèse. Elle montre que, dans certains cas, les décimales des poids atomiques peuvent provenir du mélange du corps simple étudié avec un autre corps isotope.

Faisons en l'application au cas du chlore. Nous expliquons plus loin les raisons qui nous poussent à lui assigner le poids atomique de 35 au lieu de 35,45, c'est-à-dire à le considérer comme un agrégat de 35 unités de matière. D'autre part, à propos de l'argon, nous donnons les raisons, qui nous semblent les plus plausibles, des anomalies nombreuses que présente ce gaz rare, par rapport aux lois qui paraissent régir les familles naturelles des corps simples. Nous sommes portés à accepter que l'argon résulte de la combinaison (peut-être sous la forme atomique) du gaz X 36 et de l'hélium. Il suffit d'admettre que, dans un certain nombre d'atomes de chlore, le même

phénomène se présente, les conditions topographiques étant les mêmes. Le chlore que nous connaissons serait un mélange de deux corps isotopes 35 et 39, ce qui donnerait un poids atomique de 35,45 pour une proportion de 88,75 du premier pour 11,25 du second. Cette hypothèse ne nous semble pas invérifiable expérimentalement.

Cette notion de l'isotopisme est, du reste, admirablement illustrée par les beaux travaux d'Urbain sur les terres rares. Il s'agit là de corps foncièrement voisins au point de vue chimique et dont la séparation est extrêmement difficile. Seul, le spectroscope peut guider dans ce labyrinthe ; mais s'il faisait défaut, il est probable que des dédoublements, tel que celui du néodyme, auraient été impossibles.

De même, sans la radioactivité, la séparation du radium et du baryum eût été quasi impossible ; mais si la détermination du poids atomique du baryum avait été faite à l'aide d'un sel provenant d'une source radifère, le poids trouvé aurait été forcément vicié dans ses décimales.

On peut évidemment formuler d'autres hypothèses ; mais nous voulons surtout établir qu'il vaut mieux chercher à interpréter une exception que se baser sur elle pour enlever toute valeur à la règle. C'est pourtant cette dernière tendance qui, sous l'influence corrosive du germanisme, semblait pendant ces dernières années prévaloir dans les sciences et principalement en chimie, conduisant ainsi à une véritable anarchie.

Il serait pourtant bon de se souvenir que la plupart des grandes découvertes scientifiques (prenons par exemple celle de l'ionisation spontanée des solutions par Arrhé-

nius), sont dues à une confiance éclairée dans la généralité des lois et l'interprétation des exceptions.

En somme, le soin avec lequel on a déterminé les poids atomiques profite ainsi à la théorie de l'unité de la matière, maintenant que l'on peut être fixé sur la nature des facteurs dont l'influence perturbatrice peut modifier légèrement le poids de l'atome et faire apparaître les décimales que l'on a opposées comme un argument péremptoire à Prout et à Dumas. Du moment que, dans le calcul, on admet l'intervention d'une seconde variable (les électrons) dont les variations ne peuvent être exactement déterminées et semblent ne pas devoir être négligeables, on est bien obligé de se contenter dans les résultats des approximations que Berthelot, avec son grand amour de la précision, reprochait, à regret, aux théories chimiques de la constitution de la matière. Mais n'est-ce pas déjà un grand progrès que d'entrevoir l'origine de ces approximations en attendant que l'on puisse démêler les lois des corrections à apporter et les soumettre elles-mêmes aux mesures ?

*L'unité de matière et les corps hypothétiques (coronium, nebulium).*

Une autre objection à l'existence d'une unité de matière, se confondant avec l'atome d'hydrogène, pourrait être basée sur l'existence de corps simples d'un poids atomique inférieur à celui de ce gaz. C'est ainsi que l'on a décrit comme un corps simple nouveau le coronium existant à la périphérie de l'atmosphère solaire et le géocoronium qui formerait également la région la plus élevée de



l'atmosphère terrestre. Le poids atomique de ce gaz, déduit de sa densité supposée, a été évalué à la moitié environ du poids atomique de l'hydrogène. L'atome de ce dernier gaz ne serait donc pas la plus petite quantité de matière pouvant exister à l'état libre et cela ruinerait évidemment l'hypothèse suivant laquelle il constituerait l'unité irréductible de matière.

Mais il semble que *l'on ait confondu la molécule d'hydrogène et l'atome d'hydrogène*. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que la densité du gaz hydrogène composé de molécules biatomiques est double de celle d'un gaz composé d'hydrogène ionisé, c'est-à-dire dont la molécule est brisée en deux ions, l'un positif et l'autre négatif. Il faut, en effet, se souvenir que d'après les plus récentes théories sur les aurores boréales, les orages magnétiques et d'autres phénomènes cosmiques, la terre reçoit constamment du soleil des quantités énormes d'électrons, animés d'une vitesse voisine de celle de la lumière. Ces électrons, parvenus dans les régions extrêmement raréfiées qui forment la limite des atmosphères, brisent les molécules gazeuses qui les composent et les ions, résultant de ces chocs, se trouvent à une distance trop grande les uns des autres pour pouvoir se recombinaison rapidement. A priori, on peut donc admettre que, sur leurs limites, les atmosphères solaire et terrestre sont constituées presque uniquement par des atomes d'hydrogène isolés : la densité de ce gaz serait, en le ramenant aux conditions habituelles, exactement la moitié de celle de l'hydrogène moléculaire. Il n'y aurait donc nullement à faire intervenir l'existence d'un nouveau corps simple et notre hypothèse permettait

de prévoir et permet d'expliquer la présence d'un gaz moins dense que l'hydrogène dans les régions les plus élevées des atmosphères solaire et terrestre.

Reste bien la question des raies spectrales ou plutôt de la raie spectrale sur laquelle est basée toute la théorie du coronium : le succès de la spectroscopie en ce qui concerne l'hélium est bien de nature à rendre les physiciens intransigeants. Néanmoins, il ne faudrait pas perdre de vue que les corps simples ne présentent pas exactement les mêmes spectres suivant l'état électrique du milieu dans lesquels on les examine. Or, comme l'a montré Pickering, l'hydrogène est susceptible de donner dans certaines conditions un spectre tout à fait différent du spectre habituellement connu. Pouvons-nous prévoir, du reste, les modifications du spectre de l'hydrogène dans un milieu extrêmement raréfié dans lequel l'hydrogène se trouverait à l'état d'ions isolés et même, étant donnée la surabondance extrême des électrons, uniquement à l'état d'ions négatifs ? Aussi pouvons-nous, jusqu'à preuve contraire, considérer comme la plus probable l'hypothèse qui cadre si bien avec les chiffres obtenus et suivant laquelle le coronium n'est autre chose que de l'hydrogène ionisé, se comportant ainsi comme un gaz mono-atomique de densité égale à la moitié de celle de l'hydrogène moléculaire que nous connaissons comme forme habituelle.

Disons également un mot du nebulium dont on a décelé l'existence dans les nébuleuses et auquel on a attribué le poids atomique : 1,5. En admettant également qu'il s'agit là d'un gaz mono-atomique, on est amené à doubler ce

chiffre et on obtient le nombre 3 qui serait une preuve de plus en faveur de notre hypothèse.

Ce corps était en effet prévu dans la classification de Lecoq de Boisbaudran. Dans notre classification il prend rang facilement avant l'hélium (4-1) et en tête de la famille du fluor (19-16). Les recherches récentes de J.-J. Thomson sur les rayons positifs permettent même de supposer que ce gaz peut se rencontrer sur la terre. Nous aurons à revenir plus loin sur cette question (v. chapitre XII).

Loin donc de constituer une objection cruciale contre l'unité de la matière, *l'existence du coronium et du nebularium est non seulement conciliable avec cette hypothèse, mais encore apporte un nouvel argument en sa faveur.*

NOTA. — Bien que nous nous soyons interdit toute considération qui ne soit pas d'ordre objectif et expérimental, nous devons signaler à la fin de ce chapitre la confirmation de nos vues par le principe de relativité.

Tous les savants, acquis aux nouvelles idées d'Einstein, admettront facilement, qu'étant données les variations de masse et de poids d'un système isolé suivant la valeur de son énergie interne, le poids atomique, bien que dû pour la plus grande part à l'inertie des unités de matière, subisse dans ses décimales des variations légères, liées aux différences de l'énergie interne contenue dans les divers systèmes atomiques.

---

## CHAPITRE V

### NOMBRE DES ELECTRONS ENTRANT DANS LA CONSTITUTION DES ATOMES

Pour évaluer le nombre des électrons, nous ne possédons pas, comme en ce qui concerne le nombre des unités de matière, une donnée expérimentale aussi précise que celle des poids atomiques. Est-ce à dire pour cela que nous devons y renoncer ? Non, car au lieu de nous adresser aux phénomènes gravifiques, nous n'avons qu'à étudier les propriétés électriques de l'atome.

Nous savons, en effet, que, sauf certaines exceptions, sur lesquelles nous aurons à revenir dans le II<sup>e</sup> et le IV<sup>e</sup> volume de cet ouvrage, les molécules chimiques sont électriquement neutres ; nous avons donc là un point de départ solide. Il nous reste à nous demander : 1<sup>o</sup> *Combien d'électrons sont nécessaires pour neutraliser électriquement un nombre déterminé d'unités de matière ; 2<sup>o</sup> Si les atomes des corps simples sont électriquement neutres ou si nous avons des données permettant de déterminer leur charge électrique.*

A la première question, les idées classiques inspirées soit par le principe absurde d'Hegel sur l'identité des contraires, soit par un désir naturel de simplification dans



les calculs, apportent une solution qui semble satisfaisante au premier examen, mais qui, non seulement ne repose sur aucun fait, mais encore se trouve en contradiction flagrante avec l'observation et l'expérience.

D'après ces idées, *la chose réelle, l'électron, porte une charge égale et de sens contraire à celle de l'électron positif, propriété de l'unité de matière c'est-à-dire de l'ion hydrogène  $H^+$  dans l'électrolyse.*

Dans ce cas, notre problème se trouverait grandement facilité et, *si l'on admet la neutralité électrique de l'atome, il en résulterait évidemment que le nombre des électrons négatifs est égal à celui des unités de matière, c'est-à-dire au poids atomique de l'atome étudié.*

Malheureusement, ni l'un ni l'autre de ces postulats ne semblent admissibles, si l'on considère les choses de plus près.

#### *La neutralité électrique.*

Ceci nous amène à déterminer ce que nous appelons neutralité électrique, notion qu'il est possible d'analyser avec plus de détails, maintenant que nous savons que la matière est constituée par deux éléments : l'électron et l'unité de matière.

Entre chaque électron et chaque unité de matière existe une force d'attraction. Une force de répulsion existe au contraire entre les éléments de même nom. Ces forces, qui sont les manifestations des propriétés inhérentes à chaque élément, varient en raison inverse du carré de la distance qui les sépare. L'ensemble des phé-



nomènes, résultant de la mise en œuvre de ces forces, sont décrites sous le nom de phénomènes électriques.

Cette attraction de l'électron et de l'unité de matière l'un pour l'autre a pour résultat une tendance des deux éléments à se mélanger et à s'agréger jusqu'à ce que l'intervention d'une force antagoniste (la répulsion des éléments de même nom) vienne faire équilibre aux forces d'attraction.

*Le corps qui résultera de cette agrégation des deux éléments aura pour charge électrique la somme algébrique de ces charges de sens contraire.* Si les quantités d'électricité positive et négative sont égales, cette somme sera évidemment nulle. Mais il est bien entendu que chaque unité garde ses qualités électriques individuelles, de même que, dans une combinaison chimique, chaque atome garde ses propriétés particulières alors que celles des molécules sont modifiées par les réactions.

Cette neutralité n'est donc nullement analogue aux interférences, par exemple, dans lesquelles les vibrations de sens contraire sont amorties les unes par les autres.

Cette distinction est extrêmement importante comme nous le verrons à propos des complexes et des colloïdes : car il en résulte que cette notion de neutralité ne peut être extrapolée à l'infini, dans l'espace.

Un corps sera donc électrisé négativement lorsque les électrons seront en excès par rapport aux unités de matière. Il sera électrisé positivement si le nombre des unités de matière est au contraire en excès.

La tendance à la neutralisation se manifeste par des attractions et des répulsions, l'élément le plus mobile se

déplaçant suivant la résultante des forces qui le sollicitent. Ce sera le plus souvent l'électron, bien que certains phénomènes de l'effet Hall semblent indiquer que, dans des cas exceptionnels, il puisse y avoir déplacement des particules positives. S'il s'agit d'un solide, il se produira une asymétrie dans la distribution des deux éléments. *Le pôle négatif d'un solide isolé ou d'un conducteur sera le lieu (point ou surface) où il y aura afflux maximum ou écoulement d'électrons ; son pôle positif sera au contraire le lieu où les électrons seront le plus raréfiés ou puisés dans le milieu ambiant* (V. dans « Electronique et Biologie », chapitre xvii. Le courant électrique).

La neutralité est donc le résultat du mélange de deux objets concrets et non l'expression d'une équation entre deux abstractions de signes contraires. Dans ces conditions il n'est nullement nécessaire que la charge de l'électron soit égale et de sens contraire par rapport à celle de l'unité de matière. On peut parfaitement concevoir qu'il faille 5, 10, 1 000 électrons pour faire électriquement équilibre aux forces d'attraction, appartenant à une seule unité de matière. Il s'agit là d'un fait à déterminer et non d'une théorie à construire sur un postulat. Examinons donc les faits tels que nous les fournissent les déterminations directes et l'étude de la dispersion des particules du radium par la matière.

#### *Mesure de la charge de l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse.*

La manière la plus simple de mesurer une charge élémentaire d'électricité est de rechercher quelle est la charge

de chaque atome d'hydrogène dans l'électrolyse. Pour cela, il est nécessaire de connaître deux facteurs : 1° La charge globale d'une quantité déterminée de gaz hydrogène, 2° le nombre d'atomes existant dans cette quantité de gaz.

Le premier chiffre est bien connu et a fait l'objet de nombreuses mesures. Un gramme d'hydrogène transporte la quantité énorme de 96 550 coulombs soit, en transformant les coulombs en unités électrostatiques :  $29,10^{18}$  U. E., c'est-à-dire 290 trillions.

Le deuxième facteur, c'est-à-dire la quantité de molécules existant dans une molécule-gramme d'un gaz, chiffre que l'on désigne par  $N$  ou constante d'Avogadro, a été l'objet de nombreuses déterminations récentes, qui, par des procédés divers, ont abouti à une admirable concordance. Les résultats obtenus oscillent en effet entre 60 et 70 multipliés par  $10^{22}$ , donnant ainsi un nombre de l'ordre des centaines de sextillions, dont il est impossible à l'imagination de se faire une idée exacte.

La charge électrique d'un atome d'hydrogène, exprimée en unités électrostatiques est donc de  $\frac{29 \cdot 10^{13}}{70 \cdot 10^{22}}$  soit de  $4,12 \cdot 10^{-10}$  U. E.

Voilà donc déterminée, avec un degré de précision certainement satisfaisant, la charge de l'atome d'hydrogène, c'est-à-dire de l'unité de matière. Cette valeur que l'on désigne habituellement par la lettre  $e$ , se rapporte donc à l'unité d'électricité positive.

#### *Mesure de la charge des rayons $\alpha$ .*

Il s'agit là d'une mesure directe, qui en raison de sa grande importance réclame quelques développements.

On sait que les rayons  $\alpha$  sont constitués par de la matière chargée positivement. L'apparition de l'hélium dans la décomposition de la plupart des corps radioactifs a établi que cette matière est constituée par des atomes d'hélium, portant une charge positive.

La mesure de cette charge a été faite directement par Rutherford et Geiger, puis par Regener. Ces auteurs ont mesuré, d'une part le nombre de particules  $\alpha$  émises en un temps donné par un conducteur recouvert de radium C ou de polonium, c'est-à-dire de corps radioactifs émettant seulement des rayons  $\alpha$ , d'autre part, la perte de charge subie par le conducteur durant le même temps. Le chiffre obtenu a oscillé entre  $8,7 \cdot 10^{-10}$  et  $10,1 \cdot 10^{-10}$ . Il est donc de même ordre et sensiblement double de la charge positive, portée par un ion d'hydrogène dans l'électrolyse; charge que nous venons de voir égale à  $4,2 \cdot 10^{-10}$ .

On peut donc considérer que les rayons  $\alpha$  sont formés d'ions d'hélium,  $\text{He}^{++}$ , possédant une charge positive double de celle de l'ion  $\text{H}^+$ .

Après quelques centimètres de parcours dans l'air, les rayons  $\alpha$  perdent leur charge et deviennent des atomes neutres d'hélium.

Ils ont donc fixé des particules négatives, c'est-à-dire des électrons. Sous l'influence des idées régnantes, Rutherford avait admis que les rayons  $\alpha$  sont constitués par des atomes d'hélium, ayant perdu deux électrons. C'est en fixant deux électrons empruntés à l'ambiance que l'atome reprendrait sa neutralité.

Cette hypothèse semble peu en rapport avec les deux faits suivants :

En premier lieu, tous les auteurs sont d'accord pour reconnaître que la charge positive des rayons  $\alpha$  disparaît tout d'un coup lorsque la vitesse est abaissée au-dessous d'un chiffre auquel on a donné le nom de vitesse critique. Jamais on n'a observé de rayons  $\alpha$  possédant une demi-charge positive, c'est-à-dire n'ayant perdu ou fixé qu'un seul électron. Il faudrait donc que la perte ou la fixation de ces deux électrons soit absolument simultanée, ce qui semble assez extraordinaire.

En second lieu, dans toutes les théories électriques de la valence, l'inertie chimique de ces ions bivalents reste, comme nous le verrons, inexplicable.

Il semble beaucoup plus vraisemblable d'admettre que la fixation d'un seul électron suffit à neutraliser l'ion bivalent d'hélium, c'est-à-dire que l'électron possède une charge négative sensiblement égale, en valeur absolue, au double de la charge positive de l'atome d'hydrogène, c'est-à-dire de  $8 \text{ à } 10 \cdot 10^{-10}$  U. E.

*Dispersion des particules  $\alpha$  et des rayons X par la matière.*

Les très intéressantes recherches qui ont été effectuées dans le laboratoire de Rutherford par Geiger et Barkla ont conduit au même résultat. Ces deux auteurs ont mesuré la dispersion des rayons  $\alpha$  (Geiger) et des rayons X (Barkla) par les divers corps simples. Par suite de considérations qu'il serait trop long de développer ici et pour lesquelles nous renvoyons aux Mémoires originaux, ces expériences leur ont permis de déterminer la charge du noyau (?) positif de chaque atome. Leurs résultats coïn-



cident d'une manière impressionnante et la charge positive; c'est-à-dire la somme des charges positives qui se trouvent dans l'intérieur de chaque atome peut être, en première approximation, exprimée par la formule  $\frac{1}{2} AE$ , dans laquelle A représente le poids atomique et E la charge de l'électron négatif.

Or nous avons vu dans le chapitre précédent que le poids atomique est égal au nombre des unités de matière constituant l'atome. La neutralité de l'atome ne peut donc être acquise que si la valeur électrique de l'électron négatif est égale à deux fois la valeur électrique de l'unité de matière.

Si, en effet, nous désignons par A le poids atomique, nombre des unités de matière, par B le nombre des électrons, par  $e$  la charge de l'unité de matière, par E la charge de l'électron négatif, nous avons l'équation bien simple  $Ae = BE$ . En remplaçant le second terme par la valeur donnée par Geiger et Barkla:  $\frac{1}{2} AE$ , nous avons évidemment  $Ae = \frac{1}{2} AE$ , d'où  $e = \frac{E}{2}$ .

On arrive du reste directement à la même conclusion en extrapolant jusqu'à l'hydrogène la formule de Geiger et Barkla. Si, en effet, nous faisons A égal à 1, il vient que la charge de l'atome d'hydrogène est égal à  $\frac{1}{2} E$ , c'est-à-dire à la moitié de la charge de l'électron négatif.

Nous verrons plus loin que cette hypothèse est également la seule qui donne une explication satisfaisante de la molécule des corps simples.

L'objection que l'on pourrait faire à notre conclusion, en se basant sur les mesures de la charge des ions gazeux et les délicates recherches de Millikan, Roux, etc..., ne porte pas. Il ne s'agit plus là d'atomes isolés, mais d'agré-gats dont la charge propre est la somme algébrique des charges de leurs constituants. Si la charge de l'électron est, en valeur absolue, double de celle de l'unité de matière, la plus petite quantité pouvant être mesurée sera évidemment égale à celle de l'unité de matière et les charges plus élevées, à un de ses multiples.

Contrairement aux opinions classiques, nous admet-trons donc que la plus petite quantité de matière connue, soit l'ion  $H^+$ , possède bien une charge positive égale à un peu plus de  $4 \cdot 10^{-10}$  U. E., mais que la plus petite quan-tité d'électricité négative libre connue, c'est-à-dire la charge de l'électron, a une valeur sensiblement double, c'est-à-dire de  $8$  à  $9 \cdot 10^{-10}$  U. E.

Voilà donc résolue une des parties de notre problème, et nous arrivons à une première conclusion.

*Étant donnée la valeur électrique de l'électron par rap-port à celle de l'unité de matière, nous devons, si l'atome est électriquement neutre, fixer le nombre des électrons à la moitié du nombre des unités de matière, c'est-à-dire du poids atomique.* Il est intéressant de voir que des consi-dérations, basées sur la spectroscopie, ont conduit à peu près au même résultat. L'atome d'oxygène résulterait de l'agrégation de 16 unités de matière avec 8 électrons; celui d'azote serait constitué par 14 unités de matière et 7 électrons, et ainsi de suite.

Ce serait très simple, trop simple; car immédiatement

une objection surgit. Nous pouvons bien ainsi déterminer le nombre des électrons pour les corps simples dont le poids atomique est exprimé par un nombre pair ; mais cela nous est impossible pour les autres. Il serait absurde, en effet, de faire entrer un demi-électron dans la constitution d'un atome, l'électron étant, par définition et par essence, insécable.

Nous nous trouvons donc dans une impasse, mais seulement au cas où serait vrai le second postulat que l'on trouve admis sans discussion par tous les auteurs : à savoir la neutralité électrique de l'atome. .

*Le postulat de la neutralité électrique de l'atome.*

Dans toutes les théories électriques de l'atome, on voit, dès le début et sans commentaires, affirmer la neutralité électrique de l'agrégat atomique. Nul argument n'est apporté à l'appui de cette thèse qui semble être considérée comme un véritable postulat. Dans les modèles de J.-J. Thomson et Rutherford-Bohr qui forment des types généraux, l'atome est théoriquement neutre, c'est-à-dire constitué par une sphère ou un noyau positif, complètement neutralisé par un nombre déterminé d'électrons négatifs. En perdant un électron, il devient un ion monovalent positif ; en en acquérant un, il devient un ion monovalent négatif. De même par la perte ou l'acquisition de deux, trois, quatre électrons, il peut devenir un ion bivalent, trivalent, tétravalent, positif ou négatif, et ainsi de suite. C'est fort simple en théorie.

Mais en pratique, cette acquisition ou cette perte — sous une influence inconnue, car l'on ne peut mettre en

cause les forces électrostatiques — qui devraient être des accidents plus ou moins fréquents, apparaissent finalement comme la règle. En effet, sauf quelques cas exceptionnels — les molécules des gaz rares et les vapeurs de Zn, Cd, Hg, que nous étudierons bientôt —, nous ne connaissons les atomes isolés qu'à l'état de particules chargées, c'est-à-dire d'ions. Que ce soit l'ionisation gazeuse, l'ionisation électrolytique ou toute autre cause, *chaque fois que nous assistons à la rupture d'un agrégat moléculaire, les fragments atomiques nous apparaissent comme porteurs d'une charge électrique positive ou négative.*

On se trouve donc en présence du fait paradoxal suivant : on peut connaître chimiquement et même physiquement — (témoins les rayons positifs de J.-J. Thomson) — les propriétés d'un atome ayant un électron de plus ou un électron de moins que son compte exact, mais l'on ne peut jamais étudier celles d'un atome normal, c'est-à-dire n'ayant perdu ni acquis un électron. *L'atome neutre est donc une abstraction qui se dérobe aux constatations expérimentales.*


Cela serait certes insuffisant pour repousser cette hypothèse si elle représentait les faits d'observation d'une manière satisfaisante. Si, à la rigueur, on peut concevoir une certaine assymétrie de propriétés permettant de représenter la coalescence de deux atomes différents, on ne peut invoquer cet argument pour expliquer la formation de la molécule des corps simples au moyen de deux ou plusieurs atomes complètement identiques. C'est certainement là la pierre d'achoppement des modèles de J.-J. Thomson et de Bohr.

*La neutralité de l'atome et les molécules biatomiques.*


Prenons, par exemple, le cas le moins compliqué, celui de la molécule de gaz hydrogène,  $H^2$ , formée de la jonction de deux atomes d'hydrogène.

D'après la théorie de J.-J. Thomson, l'ion H serait constitué par un atome d'hydrogène, ayant perdu un électron. Si l'on admet avec Rutherford, que l'atome d'hydrogène n'en possède qu'un, l'ion H est l'atome d'hydrogène réduit à son noyau positif  $\oplus$ . D'autre part, pour former une molécule d'hydrogène  $H^2$ , nous sommes obligés d'admettre l'intervention d'un ion H négatif, qui sera l'atome normal augmenté d'un électron, soit le noyau

positif uni à deux électrons




Leur coalescence a pour résultat la formation d'une molécule neutre d'hydrogène, mais nous devons aussitôt nous demander ce que vont devenir les deux ions dans ces conditions nouvelles. Les deux électrons de l'ion  $\bar{H}$  continueront-ils à graviter (?) autour du noyau positif de l'ion  $H^-$ ? ou l'un s'en détachera-t-il pour aller graviter autour du noyau positif  $H^+$  dépourvu d'électrons?

Dans le premier cas, , il est difficile de

dire que la molécule d'hydrogène  $H^2$  est formée de deux éléments semblables. Il y aurait deux atomes complé-



mentaires d'hydrogène dont la constitution et les propriétés chimiques seraient différentes. Nous tombons dans la théorie insoutenable des électromères de Fry.

Dans la seconde hypothèse  — et il n'y

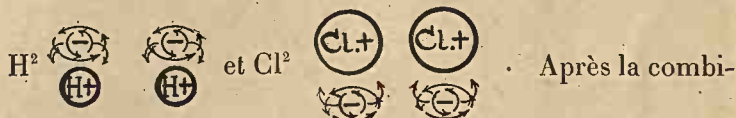
en a pas d'autres possibles, — la réalisation semble aussi difficile. En effet, les deux ions se sont unis en vertu de leur attraction électrostatique ; une fois effectué l'échange des électrons au moyen duquel la neutralité électrique de l'atome est rétablie, quelle est la force qui maintiendra la molécule en équilibre ? Nous sommes alors obligés de faire appel à l'hypothèse compliquée et peu réalisable de J.-J. Thomson, suivant laquelle chaque atome serait attiré par l'autre grâce à la formation d'un image électrique. Mais cette difficulté vaincue, nous en rencontrons une autre, qui, elle, nous semble insurmontable.

Lorsque cette molécule d'un corps simple se disloque, que ce soit sous une influence mécanique, ou plus fréquemment sous l'influence d'une action chimique, que va-t-il se passer ? Va-t-on voir un de ces atomes neutres se séparer de l'autre et se présenter à l'état de particule isolée ou se combiner sous cette forme pour constituer avec un autre atome une molécule nouvelle ?

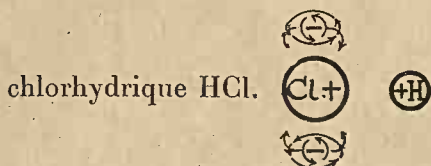
Empressons-nous de dire qu'il n'en est rien. *Lorsqu'une molécule d'hydrogène est brisée par une action mécanique (choc, vibration) ou physique (rayons X, rayons  $\alpha$  ou  $\beta$ , lumière ultra-violette), les fragments en sont toujours électrisés et l'atome neutre se dérobe à toute investigation.*

Il en est de même dans une combinaison chimique

entre atomes différents. Prenons par exemple la combinaison du chlore et de l'hydrogène qui constitue un cas des plus simples. Deux molécules biatomiques sont en présence



naison nous obtenons deux molécules biatomiques d'acide



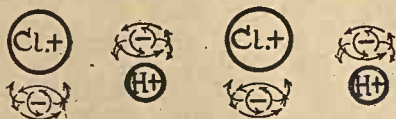
Cherchons à déterminer le mécanisme de ce chassé-croisé de deux atomes de chlore et de deux atomes d'hydrogène.

Il est impossible d'admettre — ce qui serait pourtant d'accord avec les résultats de la dissociation électrolytique — que deux ions de chlore négatifs  $Cl$ , c'est-à-dire possédant chacun un électron de trop, s'unissent à deux ions positifs d'hydrogène  $H^+$ , c'est-à-dire à deux atomes ayant perdu chacun un électron; car alors d'où viendraient ces ions? La rupture d'une molécule de chlore ou d'hydrogène ne peut, en effet, fournir que deux atomes neutres ou deux ions dont l'un est positif et l'autre négatif. C'est entre ces deux hypothèses qu'il faut choisir.

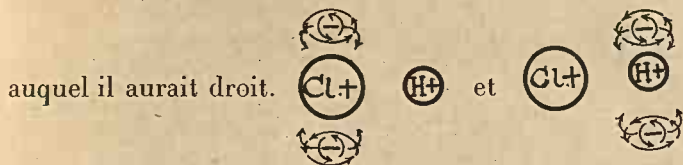
Adopter la première, c'est-à-dire admettre que la molécule nouvelle est due à l'union de deux atomes neutres, c'est nier l'électro-affinité, le rôle des ions dans les combinaisons; c'est renverser toutes nos notions chimiques les plus élémentaires, abandonner les conquêtes incomplètes

mais admirables des Davy, des Berzélius, des Faraday, des

Arrhénius, etc...



Se rallier à la seconde c'est affirmer — ce que l'expérience démontre exact — que, lorsque la molécule se déchire, elle forme deux ions, c'est-à-dire que l'un des noyaux positifs entraîne avec lui un électron de plus que ceux qui assurent sa neutralité électrique et qu'ainsi le second noyau positif ne possède plus, après cette rupture, qu'un nombre d'électrons inférieur d'une unité à celui



Mais alors on est fondé à se demander *par quel mécanisme se crée cette inégalité entre les deux atomes et quelle est la cause qui détermine le noyau positif ainsi privilégié?*

Du reste, une objection plus grave surgit. Si l'on adopte cette manière de voir, la notion d'atome chimique disparaît complètement. Si sa signification étymologique ne peut être complètement maintenue et si la notion d'atome chimique a perdu sa simplicité première, elle est néanmoins inséparable de l'idée d'un agrégat solidement constitué et impossible à modifier par les forces que nous savons mettre en œuvre. Que devient ce concept de simple sens commun, si nous nous trouvons, au contraire, en présence d'un système si fragile que, si on peut le concevoir à l'état isolé, on ne peut jamais l'observer.

ver sous cette forme, car il se brise toutes les fois qu'il entre en action ?

L'hypothèse de la molécule biatomique formée de deux atomes neutres et se sectionnant en deux ions, l'un négatif et l'autre positif, entraîne en effet à accepter la proposition invraisemblable suivant laquelle *les forces qui maintiennent l'édifice moléculaire seraient plus grandes que celles qui maintiennent l'édifice atomique*. Le postulat de l'atome neutre fait disparaître la conception de l'atome.

*La neutralité de l'atome et les molécules mono-atomiques.*

Mais nous n'avons parlé jusqu'ici que des molécules polyatomiques. Les partisans de la neutralité de l'atome ne manqueront pas de nous objecter l'existence des molécules mono-atomiques : celles des gaz rares et de certains métaux. Ne s'agit-il pas là de véritables atomes neutres ?

En premier lieu, nous laissons pour le moment de côté les molécules mono-atomiques des vapeurs métalliques du zinc, du cadmium et du mercure. Ces molécules ne sont mono-atomiques que dans des conditions de température déterminées et elles ne sont pas chimiquement inertes. Nous aurons du reste à y revenir à propos de la famille du zinc et à étudier les conditions topographiques qui semblent déterminer cette mono-atomicité.

Signalons toutefois dès maintenant qu'il s'agit là de corps simples bivalents, dont chaque atome peut être neutralisé par un électron. Au contraire, les expériences très nettes de J.-J. Thomson (voir *Passage de l'électricité*

à travers les gaz, pages 204 à 205) établissent que les vapeurs mono-atomiques des métaux alcalins se présentent sous forme d'ions et sont conductrices de l'électricité.

Toute autre est la molécule des gaz rares ; l'hélium, mono-atomique à toute température, chimiquement inerte, est un excellent exemple que l'on pourrait donner de l'atome neutre. Le tout est de définir exactement ce qu'il faut entendre par un atome d'hélium. Est-ce la particule  $\alpha$  porteur d'une double charge positive ou la molécule, dans le sens absolu du mot, formée par un corpuscule  $\alpha$  ayant fixé un nombre d'électrons suffisant pour devenir électriquement neutre ? Si l'on veut se rapprocher autant que possible du sens étymologique du mot atome, il semble que l'on ne puisse faire autrement que de considérer les particules  $\alpha$  comme des atomes d'hélium se transformant en molécules de gaz hélium par l'adjonction d'un ou deux électrons ? Mais il suffit de l'*accolement* de ce ou ces électrons à un corpuscule  $\alpha$  pour obtenir la molécule neutre d'hélium, et *rien ne prouve que cet électron devienne partie intégrale de l'agrégat atomique*. Il y a là une distinction importante à faire et qui n'a, à notre connaissance, jamais été faite.

Si, en effet, c'est à la molécule d'hélium que nous donnons le nom d'atome, comment appellera-t-on l'agrégat matériel qui constitue les rayons  $\alpha$  et qui emprunte au monde extérieur les conditions de sa neutralité ? On peut, en effet, concevoir théoriquement un milieu complètement privé d'électrons dans lequel les particules  $\alpha$  seraient obligées de persister dans l'état où elles étaient au moment



de leur expulsion hors de l'atome radioactif. Quel autre nom leur donner que celui de l'atome d'hélium ? Car si l'on fait de la neutralité la condition même de la définition de l'atome, on tombe dans un paralogisme évident.

Cette étude nous éclaire sur deux points également intéressants ; car ils sont nettement objectifs. 1° *Un atome peut exister à l'état de particule libre possédant une charge positive.* 2° *Il peut acquérir une neutralité électrique par la captation d'électrons empruntés au milieu extérieur.*

*La neutralité de l'atome et la formation des molécules.*

*Les électrons interatomiques.*

Partons de ces deux faits et voyons quelle application nous pouvons en faire au problème qui nous occupe. En premier lieu, on ne peut faire aucune objection théorique à la stabilité d'un agrégat matériel possédant une charge positive. Au contraire, les conditions dans lesquelles est expulsé l'atome d'hélium montrent bien qu'il s'agit là d'un agrégat exceptionnellement solide. Nous aurons à insister sur cette solidité à propos de la formation des atomes (chapitre VI).


D'autre part, il est permis de généraliser et d'admettre qu'un atome ayant une charge positive est capable de capter autour de lui des électrons négatifs, ce qui s'explique bien par la mise en œuvre des forces électrostatiques. Examinons ce qui va se passer dans les différents cas.



Si un atome d'hélium (particule  $\alpha$ ) porteur de deux charges positives ( $8,40 \cdot 10^{-10}$  U. E.) fixe un électron négatif dont la charge est de 8 à  $10 \cdot 10^{-10}$  U. E., les deux charges se trouvent neutralisées et il se forme non pas

un atome d'hélium He, mais une molécule neutre d'hélium formée d'un atome He<sup>++</sup> et de l'électron qui assurera sa neutralité.

Si l'on joint à cette notion les conditions topographiques sur lesquelles nous insistons plus loin à propos de la valence des gaz rares (chapitre xii) on comprend parfaitement l'inertie chimique de cette famille, et la mono-atomicité de la molécule, car leur forme ne conditionne aucune polarité.

Mais, si au lieu d'un atome porteur de deux charges positives, nous considérons un atome positif monovalent, l'ion H<sup>+</sup> par exemple, lui aussi fixera un électron par suite des forces électrostatiques. Mais comme la charge de l'électron est à peu près double de celle de l'ion H<sup>+</sup>, il résultera de cette rencontre, non pas un atome neutre mais un agrégat possédant une charge négative à la diffé-

rence des deux charges. Ce sera l'ion H<sup>-</sup>  possédant une charge égale et de sens contraire de celle de l'ion

H<sup>+</sup>  qui sera attiré par la force électrostatique. La liaison entre les deux atomes sera donc effectuée par un électron interatomique, c'est-à-dire extérieur aux deux atomes constituant la molécule. On obtiendra ainsi le plus petit agrégat électromatériel de second ordre : la molécule d'hydrogène H<sup>2</sup> .

S'il s'agit d'un atome ayant deux charges positives, la neutralité pourra, dans certaines conditions topographiques, être produite par le simple accollement d'un élec-

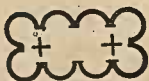
tron, si l'atome ne présente aucune polarité et si l'électricité positive est régulièrement distribuée à la surface. Nous venons de voir que tel semble être le cas de l'hélium.

Mais le plus souvent il n'en est pas ainsi ; cet accollement déterminera une véritable asymétrie de l'agrégat et la présence d'un électron en un point n'empêchera nullement un autre point de l'atome d'exercer une attraction sur un second électron ; les forces électrostatiques seront beaucoup mieux satisfaites par l'adjonction de ce second électron à un autre pôle de l'atome. L'agrégat ainsi obtenu aura besoin, pour être neutralisé, d'autres masses positives venant s'accoler aux points devenus ainsi des centres négatifs. Si les atomes qui viennent compléter la molécule sont monovalents, la molécule deviendra neutre et son action chimique sera épuisée, sauf quelques réserves que nous examinerons à propos des complexes. Si, au contraire, ces atomes sont bivalents, trivalents, tétravalents, la molécule restera ouverte ; elle ne sera pas saturée, à moins que les conditions topographiques ne permettent à un seul électron de neutraliser deux pôles positifs appartenant à deux atomes différents.

Telle est la théorie des électrons interatomiques que nous avons émise il y a quelques années ; nous aurons à y revenir dans les volumes suivants de cet ouvrage où nous étudierons les molécules. Nous espérons démontrer que cette théorie, très souple dans sa simplicité, n'est en désaccord avec aucun des faits chimiques acquis par l'expérience et est en mesure de les représenter sinon de les expliquer tous.

Pour préciser, prenons quelques exemples. Admettons

par anticipation que l'atome d'oxygène ait la forme d'un cylindre ou d'un parallépipède (nous verrons plus loin les raisons qui nous poussent à lui attribuer cette forme).



L'accolement d'un électron à une seule de ses extrémités donnera un agrégat d'une neutralité assez précaire, et l'adjonction d'un électron à chacune de ses extrémités sera beaucoup plus satisfaisant au point de vue de la symétrie et de la neutralisation.

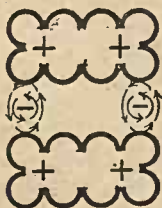
L'atome bivalent positif se transforme ainsi

en un ion bivalent négatif .

L'union de chaque extrémité avec un ion monovalent, l'ion  $H^+$  par exemple donnera une molécule neutre, dans l'espèce la molécule d'eau .

Voyons comment celle-ci peut se produire aux dépens d'une molécule d'oxygène et de deux molécules d'hydrogène.

Au départ, nous avons deux fois et



La rupture des molécules d'hydrogène nous donne deux fragments  $\oplus$  positivement chargés et deux fragments  $\ominus$  portant une charge négative. La rupture de la molécule d'oxygène peut donner ou bien deux fragments

$\ominus$  neutres ou un fragment  $\oplus$  et un fragment  $\ominus$ . Dans le premier cas, l'asymétrie de l'agrégat neutre conditionne l'adjonction d'un ion  $\oplus$  ce qui l'augmente encore et l'on a

$\oplus$  ce qui détermine la fixation de

l'ion négatif  $\ominus$  pour aboutir à la formation de la mo-

lécule neutre  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\oplus$  Dans le

second cas, le fragment  $\ominus$  attire les

deux ions  $\text{H}^+$   $\oplus$  cependant que le fragment  $\oplus$  attire les deux ions  $\text{H}^-$   $\ominus$  et dans les deux cas la même

molécule neutre  $\oplus$  est obtenue.



Prenons maintenant un atome tétravalent de carbone



neutralisé par deux électrons et combinons-le

avec une molécule d'oxygène, c'est-à-dire deux atomes ; nous obtiendrons facilement de la même manière une molécule neutre d'acide carbonique



Ces cas simples montrent avec quelle facilité la représentation des échanges moléculaires se concilie avec l'hypothèse suivant laquelle des électrons interatomiques neutralisent l'excédent d'électricité positive des atomes et les maintiennent unis par l'attraction électrostatique. Nous verrons dans les volumes suivants que l'on peut ainsi concevoir et représenter la formation des molécules les plus compliquées.

*La notion de valence chimique.*

Nous nous trouvons donc en présence de deux propositions.

D'après la première, l'atome est électriquement neutre. Dans ce cas, on ne peut expliquer d'une manière satisfaisante, et sans hypothèse adventice, la formation des molécules. D'autre part, le fait se dérobe à toute vérification directe.

D'après la seconde, l'atome présente un excédent de

*charge positive et la neutralité est rétablie par l'adjonction d'électrons interatomiques qui assurent la stabilité de la molécule.* Cette proposition est en accord parfait avec les constatations de l'expérience, et explique parfaitement et sans autre hypothèse la formation des molécules des corps simples et des corps composés. Mais ce n'est pas tout.

Nous avons parlé jusqu'ici d'ions monovalents, bivalents, trivalents, etc... D'après la théorie de l'atome neutre, il s'agissait d'atomes ayant perdu ou acquis un, deux, trois électrons, dans des conditions sur lesquelles les auteurs et les partisans de cette hypothèse n'insistent pas, et pour cause. De cette indétermination, il résulte un flottement de plus en plus grand dans la notion si importante de la valence, déjà si éloignée de sa netteté primitive.

Avec l'hypothèse de l'atome positivement chargé, la question se pose au contraire plus clairement, mais avec une élasticité moindre. Si un électron est électriquement équivalent à deux unités d'électricité positive et que l'union entre les divers atomes d'une molécule soit effectuée par des électrons interatomiques, *la valence doit évidemment représenter le nombre des unités de matière qui, n'étant pas neutralisées par les électrons interatomiques, nécessitent l'intervention des électrons extérieurs.* C'est donc une *qualité fondamentale et constante* de l'atome.

En faveur de cette proposition, on peut d'abord invoquer l'électro-affinité, notion essentiellement expérimentale. Elle exprime, en effet, sous une autre forme, la loi de Faraday, qui date de 1833.

On sait, en effet, qu'il faut 96 540 coulombs; pour libérer par électrolyse un équivalent électrochimique d'un

atome quelconque, l'équivalent électrochimique étant le poids atomique divisé par la valence.

La valence revêt donc un sens très précis. Elle représente pour l'atome-gramme de chaque corps simple le quotient de la charge totale par 96 540 coulombs. Ce quotient est toujours un nombre entier et ce fait établit la signification de cette notion de valence en liant d'une manière indissoluble les phénomènes chimiques et les phénomènes électriques.

La charge électrique d'un atome bivalent en unités électrostatiques sera donc de  $\frac{2 \times 96,540 \times 3 \cdot 10^9}{N}$ ,  $3 \cdot 10^9$

étant le rapport entre les unités électromagnétiques et les unités électrostatiques, N étant le nombre d'atomes constituant un atome-gramme d'un corps simple quelconque. Nous avons vu plus haut qu'il se rapproche de  $70^{22}$ . Un atome bivalent, celui de zinc, par exemple, aura donc une charge positive sensiblement égale à  $8,24 \cdot 10^{-10}$  U. E. Dans les mêmes conditions, un atome trivalent, celui d'aluminium, par exemple, transporte  $12,36 \cdot 10^{-10}$  U. E. Puisque  $4,12 \cdot 10^{-10}$  U. E. correspond à la charge d'une unité de matière, on peut conclure qu'un atome se rendant à la cathode d'une pile contient une, deux, ou trois unités de matière non neutralisées par des électrons et que, au moins dans des circonstances définies, cette charge est constante.

Cette fixité est peu compatible avec le caractère accidentel de la perte d'électrons constitutifs et semble bien la démonstration directe de la charge positive des atomes métalliques. La charge négative de l'atome métalloïdique

ou du radical qui se rend à l'anode s'explique facilement par différence. Nous aurons du reste à revenir longuement sur ces phénomènes à propos des molécules inorganiques (volume III).

### *La fixité de la valence chimique.*

Cette fixité de la valence, propriété fondamentale de l'atome, est une notion de bon sens, Il est extrêmement difficile de concevoir que la matière posséderait des propriétés capricieuses et qu'un fait objectif, tel que la valence, pourrait se produire ou ne pas se produire autrement que sous l'influence de facteurs déterminables, sinon déterminés. On peut parfaitement admettre que, dans telle ou telle condition (température, pression, etc...) la *valence apparente* peut ne pas être la même que dans des conditions différentes. Mais cela ne prouve nullement que la *valence réelle*, propriété de l'atome, soit modifiée pour cela ; cela signifie simplement que la valence apparente demande à être définie dans des conditions déterminées.

Ensuite, il ne faut pas oublier que toute la chimie organique est fondée sur la fixité de la valence du carbone. L'édifice est assez imposant pour démontrer la solidité de la base. Il semble bien pourtant que, si la notion de valence perdait toute valeur sous l'influence des attaques qui sont dirigées contre elle, toute la chimie organique et la plus grande partie de la chimie minérale s'écrouleraient avec elle, car ce serait la loi des proportions définies et celle des proportions multiples qui seraient ébranlées.

Le malheur vient de ce que nous demandons aux lois naturelles une rigueur immédiate et absolue, alors que

nous ne connaissons pas encore le nombre des facteurs en jeu. On a voulu faire de la valence un dogme étroit et, comme il arrive toujours en pareil cas, il a suffi de quelques exceptions apparentes pour que le concept lui-même, malgré sa fécondité, soit immédiatement battu en brèche. Dès qu'il eut perdu son intangibilité, on l'a traité en ville prise et nombre d'auteurs se permirent aussitôt avec lui des privautés dont beaucoup ne nous semblent nullement justifiées. Enfin les brumes du germanisme moderne l'ensevelirent, avec tant d'autres conquêtes de la science, faites de simplicité et de clarté.

Il est bien certain, en effet, que sous sa forme primitive, la fixité de la valence était incompatible avec les faits expérimentaux.

Frankland, puis Kolbe avaient montré que l'azote, le phosphore, l'arsenic et l'antimoine forment des composés renfermant trois ou cinq équivalents des autres éléments. Dans l'ammoniaque  $AzH^3$ , l'azote est trivalent ; dans le chlorhydrate d'ammoniaque  $AzH^4Cl$ , il est pentavalent. Dans l'oxyde de carbone,  $CO$ , le carbone est divalent ; il est tétravalent dans l'acide carbonique  $CO^2$ . Dans les sels ferreux, le fer se comporte comme un atome divalent ; il est trivalent dans les sels ferriques.

Au cours de la longue discussion, dans laquelle Kékulé défendit avec vigueur la fixité de la valence, la victoire resta longtemps incertaine. Kékulé sembla d'abord triompher. Il admettait, en effet, que deux atomes d'un corps simple peuvent fréquemment se souder l'un à l'autre, utilisant ainsi une ou plusieurs valences.

Les simple, double et triple soudures du carbone, sur



l'existence desquelles reposent toutes nos notions sur les composés forméniques, éthyléniques, acétyléniques, rendent encore maintenant cette hypothèse très vraisemblable. Il suffisait donc de doubler le poids de la molécule et le dogme de la fixité de la valence se trouvait ainsi sauvegardé.

Par exemple, la quadrivalence du fer expliquait très nettement la formation des chlorures ferreux  $\text{FeCl}^2$  et ferrique  $\text{FeCl}^3$ . Il suffisait de doubler la formule et l'on avait  $\text{Cl}^2\text{Fe} = \text{FeCl}^2$  et  $\text{Cl}^3\text{Fe} - \text{FeCl}^3$ .

Cet artifice réduisait à néant les objections de Kolbe tant que l'on ne pourrait pas fixer le poids moléculaire des corps. Aussi la théorie de Kékulé fut elle universellement admise.

Mais la précision dans la détermination des poids moléculaires augmentant, il fallut bien reconnaître que la formule de l'oxyde de carbone était bien  $\text{CO}$  et non  $\text{C}^2\text{O}^2$ , celle de l'ammoniaque  $\text{AzH}^3$  et non  $\text{Az}^2\text{H}^6$ , celle du chlorure ferreux  $\text{FeCl}^2$  et non  $\text{Fe}^2\text{Cl}^4$ . La réaction fut, comme d'habitude, violente et l'on n'en arriva bientôt à ne plus admettre qu'une valence maximum en déterminant celle-ci à l'aide du composé oxygéné au maximum. Ainsi le chlore, habituellement monovalent, pouvait présenter une valence égale à 7; le soufre, le plus souvent divalent, devenait octo et même décavalent. Dans ces conditions, la notion de valence ne présente plus aucun intérêt et ne peut servir de base à une théorie générale.

*Les électrons extra-atomiques et les valences apparentes.*

Dans l'hypothèse de l'atome positif, la notion de

valence reprend sa valeur ; mais, en même temps, l'existence des valences variables s'explique facilement. Si des électrons extérieurs sont nécessaires pour rétablir la neutralité électrique, il n'est pas indispensable que ces électrons établissent l'union entre deux atomes différents.

*L'accolement d'un électron à un atome polyvalent peut bien neutraliser deux unités de matière en excès et modifier ainsi sa valence apparente.* Nous avons vu, en effet, que la capture d'un électron par un atome d'hélium à deux charges, constituant les rayons  $\alpha$ , suffit pour le neutraliser et réduire à 0 sa valence apparente. Mais il est facile de concevoir les cas où cette méthode de neutralisation est incomplète et n'intéresse qu'une partie de la valence totale, la différence étant neutralisée par des électrons interatomiques.

La molécule d'oxyde de carbone peut, en effet, se représenter de la manière suivante (fig. 6).



Fig. 6.

De même, le chlorure ferreux devient  $|\text{Fe} \begin{array}{l} \text{---} \text{Cl} \\ \text{---} \text{Cl} \end{array}$ , etc...

On peut même représenter des cas plus complexes. Nous développerons plus loin les raisons pour lesquelles nous attribuons, avec Friend, la valence 3 à la famille des

halogènes (fluor, chlore, brome, iode). Sur ces trois valences, l'une est toujours en action, les deux autres sont habituellement saturées par la présence d'un électron. Dans certaines conditions, néanmoins, elles peuvent être saturées par deux demi-électrons, dont l'autre extrémité neutralise les charges positives d'un autre atome, ainsi uni au halogène par ses valences secondaires.

Pour donner de cette proposition une représentation objective, anticipons un peu sur les chapitres suivants. Pour des raisons que nous développerons plus loin (chapitre XII), on peut attribuer à l'atome de fluor la forme d'un tronc de pyramide possédant une valence sur sa plus petite base et deux sur sa plus grande. On peut le repré-

senter en projection de la manière suivante



Si deux de ces valences sont saturées par un électron,

nous aurons un ion positif monovalent



Si la troisième valence capte un électron, l'agrégat se

transformera en un ion négatif de fluor



Si l'autre extrémité de cet électron fixe un atome positif monovalent, nous obtiendrons une molécule neutre (de fluorure de sodium, par exemple).

Mais, dans certains cas, les deux valences de la face inférieure peuvent être échangées avec celles d'un autre atome et l'on a ainsi la molécule d'acide fluorhydrique  $F^2H^2$  (fig. 7). On peut de même représenter des cas plus

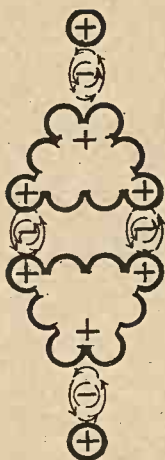
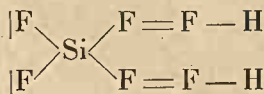


Fig. 7. — Acide fluorhydrique  $F^2H^2$ .

complexes, par exemples la molécule d'acide hydrofluosilicique dont la structure serait la suivante :



La valence apparente seule est donc variable. La valence réelle reste fixe et correspond à la valence maxima.

Il est clair que cette manière de concevoir la variation de la valence impose, pour être acceptée, une condition :

c'est que la valence apparente varie non par unité, mais par quantités paires.

Si l'atome neutre perd des électrons et que la valeur de ces derniers soit égale à celle d'une unité de matière, la valence peut varier par unités, correspondant à la perte d'un, deux, trois, quatre électrons. Il sera toutefois facile de concevoir que ce départ sera d'autant plus difficile à provoquer que l'agrégat s'éloignera davantage de la neutralité. Les valences apparentes minima seraient les plus fréquentes ; les valences maxima les plus rares, ce qui n'est pas d'accord avec l'observation.

Si, au contraire, la charge de l'atome est toujours positive et peut être saturée soit par des électrons extra-atomiques neutralisant deux unités de matière, soit par des électrons inter-atomiques n'en neutralisant qu'une, le nombre de ces derniers seuls exprimera la valence apparente dans un composé. Il en résulte que *la différence entre deux valences apparentes doit toujours correspondre à un multiple de deux.*

Or les faits sont entièrement d'accord avec la seconde hypothèse. La règle générale est que les valences variables des corps sont toujours paires ou impaires. Nous parlons, bien entendu, des cas où l'on est certain des poids moléculaires. Le carbone paraît bi ou tétravalent ; les corps de la famille de l'azote (phosphore, arsenic, antimoine, bismuth), sont tri ou pentavalents. Dans les cas qui semblent faire exception à cette règle, l'expérience montre que la molécule est réellement double ; par exemple, dans tous les composés ferriques, on se trouve en présence d'un noyau  $\text{Fe}^2$ , le chlorure ferrique correspondant à



$\text{Fe}^2\text{Cl}^6$  et non à  $\text{FeCl}^3$ . Le fer échange donc une valence avec lui-même et apparaît comme quadrivalent alors qu'il semble divalent dans les composés ferreux.

Ces faits, qui confirment complètement les prévisions de notre théorie, sont difficilement conciliables avec celle de l'atome neutre. Comment comprendre, en effet, que, par exemple, le phosphore, l'arsenic, etc., ne soient jamais ni monovalents, ni divalents, ni tétravalents mais présentent seulement une valence minima de 3 et une valence maxima de 5?

#### *Le nombre des électrons intra-atomiques.*

Le mode observé des variations de la valence vient donc à l'appui de notre hypothèse qui nous conduit à une formule simple pour la détermination du nombre des électrons *faisant partie intégrante* des différents atomes.

En se basant sur la valeur relative de l'électron et de l'unité de matière, d'une part, sur la nature de la valence, de l'autre, on peut exprimer ce nombre par  $\frac{1}{2} A - \frac{1}{2} V$ ; A représente le poids atomique et V la valence maxima de l'atome.

Un mode de vérification de cette théorie se présente immédiatement à l'esprit. En effet, si elle est vraie, il doit y avoir une corrélation numérique entre les poids atomiques et les valences; et les éléments à valence paire doivent avoir un poids atomique pair et inversement. Cette loi devrait se vérifier au moins pour les premiers corps simples, car si l'on admet, ce qui, comme nous le

verrons, semble probable, que l'unité d'électricité positive n'est pas rigoureusement la moitié de la charge de l'électron mais lui est un peu supérieure, cette règle doit perdre de sa valeur lorsque le poids atomique augmente.

Or, que voyons-nous? Si nous dressons une liste des vingt-quatre premiers corps simples bien connus en indiquant par un trait les cas favorables et une croix les cas défavorables, nous obtenons les résultats suivants :

	POIDS ATOMIQUE	VALENCE	
H	1	1	—
He	4	0-2	—
Li	7	1	—
Gl	9	2	+
B	11	3	—
C	12	4	—
Az	14	3-5	+
O	16	2	—
F	19	1-3	—
Ne	20	0-2	—
Na	23	1	—
Mg	24	2	—
Al	27	3	—
Si	28	4	—
P	31	3-5	—
Cl	35	1-3	—
K	39	1	—
A	40	0-2	—
Ca	40	2	—
Ti	48	4	—
V	51	3-5	—
Cr	52	2-6	—
Mn	55	5-7	—
Fe	56	4	—

Soit, pour 24 corps bien déterminés, 22 cas favorables et 2 défavorables. La probabilité suivant laquelle cette

coïncidence serait due au hasard est d'environ  $10^{-9}$ , soit un millionième. Il ne faut donc pas abandonner cette loi parce qu'il existe deux exceptions à la règle, mais plutôt rechercher les raisons de ces exceptions. Les deux corps en question, le glucinium et l'azote, font en effet exception à d'autres règles numériques aussi probables.

Il est donc logique de se demander si un autre facteur que la charge électrique n'est pas susceptible d'influer sur la valence de telle manière que, dans la plupart des cas, les prévisions de la règle soient confirmées, mais que néanmoins, dans des cas exceptionnels, il en résulte une dérogation apparente à la loi.

Il semble que l'on peut trouver ce facteur dans la forme même de l'atome ; c'est ce que nous allons étudier dans le chapitre VII.

Mais nous pouvons dresser dès maintenant l'inventaire des matériaux devant servir à déterminer cette forme, c'est-à-dire le nombre des unités de matière et des électrons entrant dans la constitution de chaque atome.

Dans le tableau suivant, le premier chiffre représente le nombre ordinal de chaque atome, c'est-à-dire son rang dans la liste des éléments connus, classés par ordre de poids atomiques croissants ; le second chiffre représente le nombre des électrons intra-atomiques ; le troisième le nombre des électrons de valence ; le quatrième le poids atomique, c'est-à-dire le nombre des unités de matière.

ÉLÉMENT	NOMBRE ORDINAL	ÉLECTRONS INTRA-ATOMIQUES	ÉLECTRONS DE VALENCE	UNITÉS DE MATIÈRE	ÉLÉMENT	NOMBRE ORDINAL	ÉLECTRONS INTRA-ATOMIQUES	ÉLECTRONS DE VALENCE	UNITÉS DE MATIÈRE
H	1	0	$\frac{1}{2}$	1	Cr	24	23	3	52
He	2	1	1	4	Mn	25	24	$3\frac{1}{2}$	55
Li	3	3	$\frac{1}{2}$	7	Fe	26	26	2	56
Gl	4	3	1 ou $\frac{1}{2}$	9	Co	27	27	$2\frac{1}{2}$	59
B	5	4	$1\frac{1}{2}$	11	Ni	28	27	$2\frac{1}{2}$	59
C	6	4	2	12	Cu	29	31	1	64
Az	7	5	$1\frac{1}{2}$ à $2\frac{1}{2}$	14	Zn	30	32	1	66
O	8	7	1	16	Ga	31	33	$2\frac{1}{2}$	71
F	9	8	$1\frac{1}{2}$	19	Ge	32	34	2	72
Ne	10	9	1	20	As	33	35	$2\frac{1}{2}$	75
Na	11	11	$\frac{1}{2}$	23	Se	34	39	1	80
Mg	12	11	1	24	Br	35	39	$1\frac{1}{2}$	80
Al	13	12	$1\frac{1}{2}$	27	Kr	36	40	1	82
Si	14	12	2	28	Rb	37	41	$\frac{1}{2}$	84
P	15	13	$2\frac{1}{2}$	31	Sr	38	43	1	88
S	16	15	1	32	Y	39	43	$1\frac{1}{2}$	89
Cl	17	16	$1\frac{1}{2}$	35	Zr	40	44	2	92
K	18	19	$\frac{1}{2}$	39	Nb	41	45	$2\frac{1}{2}$	95
Ar	19	19	1	40	Mo	42	45	3	96
Ca	20	19	1	40	Ru	43	48	$3\frac{1}{2}$	103
Sc	21	20	$1\frac{1}{2}$	43	Rh	44	50	2	104
Ti	22	22	2	48	Pd	45	51	2	106
V	23	23	$2\frac{1}{2}$	51	Ag	46	53	1	108
					Cd	47	55	1	112
					In	48	55	$2\frac{1}{2}$	115

ÉLÉMENT	NOMBRE ORDINAL	ÉLECTRONS INTRA-ATOMIQUES	ÉLECTRONS DE VALENCE	UNITÉS DE MATIÈRE	ÉLÉMENT	NOMBRE ORDINAL	ÉLECTRONS INTRA-ATOMIQUES	ÉLECTRONS DE VALENCE	UNITÉS DE MATIÈRE
Sn	49	57	2	119	Ir	78	94	2	192
Sb	50	58	$2 \frac{1}{2}$	120	Pt	79	96	2	195
I	51	62	$1 \frac{1}{2}$	127	Au	80	91	2	196
Te	52	63	1	128	Hg	81	99	1	200
X	53	64	1	130	Tl	82	100	2	204
Cs	54	65	$\frac{1}{2}$	133	Pb	83	101	2	207
Ba	55	67	1	136	Bi	84	102	$2 \frac{1}{2}$	208
La	56	68	$1 \frac{1}{2}$	139		85			
Ce	57	69	2	140		86			
de 57 à 75 : Terres rares						87			
Ta	75	89	$2 \frac{1}{2}$	183	Nt	88	109	1	220
W	76	89	3	184	Ra	89			
Os	77	91	4	190 ou 191		90	111	1	224
					Th	91			
						92	114	2	232
					Ur	93			
						94	116	3	238



## CHAPITRE VI

### FORMATION DES ATOMES

#### *Les forces d'attraction et de répulsion dans les atomes.*

Il semble bien que les données que nous possédons nous permettent de nous faire une idée objective de la manière dont se sont formés les atomes aux dépens des unités électriques (électrons) et matérielles. Nous savons en effet 1° que les unités électriques (électrons) exercent entre elles une répulsion électrostatique ; 2° que les unités matérielles et électriques sont attirées les unes vers les autres par l'attraction électrostatique ; 3° que les unités matérielles se repoussent les unes et les autres d'une manière analogue à la répulsion électrostatique. Il suffit d'admettre que, en même temps qu'elles se repoussent en tant que porteurs de charges électriques de même sens, ces dernières s'attirent suivant une autre loi en tant qu'unités de matière.

Cette proposition n'a rien de contradictoire ni de choquant. L'existence simultanée d'une force attractive et d'une répulsive entre les constituants positifs de l'atome a, du reste, été admise par Lorentz pour expliquer les phénomènes de gravité, et par J.-J. Thomson (phil. mag — octobre 1913 — pp. 792-796).

Les deux forces, attractives et répulsives, ne se comportent pas forcément de même en ce qui concerne leur propagation et, si nous savons que la répulsion électrostatique s'exerce en raison inverse du carré de la distance, il est parfaitement vraisemblable que l'attraction entre les unités de matière s'exerce en raison inverse du cube ou de la quatrième puissance de cette distance.

Ces prémisses posées, la formation des atomes devient très simple. Si, en effet, sous l'influence d'une action extérieure, les unités matérielles sont amenées à une distance telle que l'attraction l'emporte sur la répulsion, l'agrégat ainsi formé acquiert une solidité exceptionnelle. Cette solidité, au lieu d'être conditionnée — principalement, peut-être même uniquement — comme dans les molécules par l'attraction électrostatique entre charges de signes différents, a en outre comme facteur les forces d'attraction entre les unités matérielles qui, à cette faible distance, excèdent les forces de répulsion entre charges de même sens. Si donc cet équilibre est possible, il est forcément très stable et ne peut être rompu que par une intervention ayant pour effet d'augmenter la distance entre les unités matérielles jusqu'à ce que les forces de répulsion l'emportent.

Un exemple numérique fera mieux comprendre notre pensée. Supposons, en effet, qu'à une distance 3, les forces d'attraction et de répulsion soient égales. Si nous prenons comme unité la valeur de la force d'attraction à la distance 1, et si cette force varie comme le cube de la distance, cette valeur tombe à  $1/27$  à la distance 3 et peut être équilibrée à cette distance par une force variant

comme le carré qui, à la distance 1, aura une valeur trois fois moindre, soit  $1/3$ . A la distance 2, les forces d'attraction seront de  $1/8$ , celles de répulsion de  $1/12$ . Mais à la distance 4, les forces de répulsion seront encore de  $1/48$  alors que les forces d'attraction ne seront plus que de  $1/64$ .

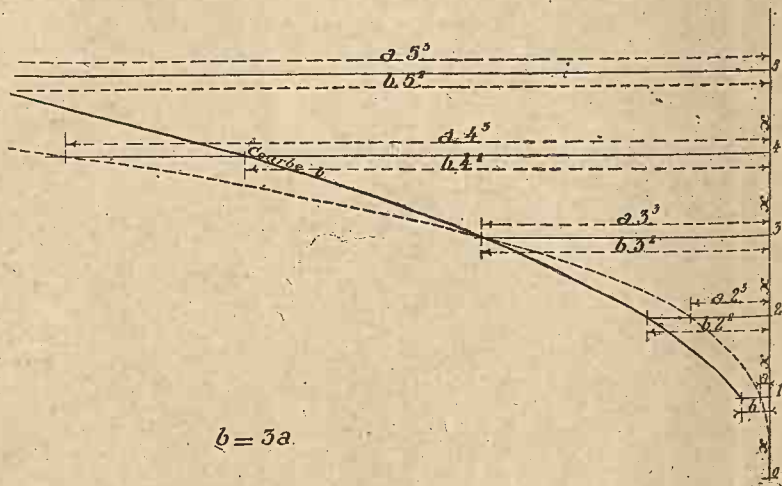


FIG. 8.

A la distance 5, l'écart augmentera rapidement entre les forces d'attraction tombées à  $1/125$  et celles de répulsion

1. Si l'on ne veut pas admettre que les forces attractives varient comme le cube, ce qui s'opposerait à leur identification avec les forces de gravitation qui, elles, varient comme le carré, on peut envisager l'hypothèse suivante : Les forces répulsives peuvent être polarisées et se comporter par exemple comme les lignes de force d'un aimant sphérique tandis que les forces attractives se dégagent uniformément de toute la surface de la sphère. A partir d'une certaine distance, on peut dire que la densité des lignes de force de l'aimant sphérique décroît comme le carré de la distance ; mais il existe pourtant une distance, aussi faible que l'on voudra, où, les lignes de force n'étant plus également réparties autour de la sphère, le rapport entre les forces de répulsion et d'attraction de deux sphères variera suivant leur orientation réciproque.

qui se maintiennent à  $1/75$ . On conçoit donc que, rapidement, si la distance  $1$  est très petite, les forces d'attraction seront pratiquement nulles, alors que celles de répulsion resteront appréciables. Il est, du reste, facile de représenter (fig. 8) dans cette fonction  $1/n$ , la courbe que décrit  $n$  suivant qu'il augmente proportionnellement au carré ou au cube de la distance.

On voit ainsi que, si l'on considère deux forces de direction opposée, la force qui varie comme le cube étant plus grande en valeur absolue que celles qui varie comme le carré, un équilibre entre elles se produit à une distance déterminée; à une distance moindre que celle de cette position d'équilibre, les forces qui varient comme la troisième puissance l'emportent et au contraire, au delà de cette position, ce sont celles qui varient comme le carré qui déterminent la direction du mouvement.

Pour se représenter la formation des atomes et la solidité de l'édifice atomique, *il suffit donc d'attribuer aux unités de matière une force d'attraction entr'elles supérieure à la répulsion électrostatique, et variant suivant une puissance de la distance supérieure au carré.*

*La formation des atomes et les facteurs température et pression.*

Une force extérieure suffisante pourrait, en rapprochant les unités de matière, accumuler ainsi dans l'atome une quantité d'énergie potentielle égale à l'énergie dépensée pour faire franchir aux unités matérielles la position d'équilibre. Examinons quelles sont, dans ce sens, les possibilités.

Parmi les conditions extérieures, les unes, comme la température du milieu, exercent une influence dissociante; les autres, comme la pression, une influence agrégeante. Tout se passe comme si, au-dessous de la température critique c'est-à-dire d'un état déterminé d'agitation thermique des molécules, le fait de rapprocher entre elles les molécules gazeuses avait pour résultat leur agrégation et que, les forces répulsives étant neutralisées par des forces d'attraction, un nouvel équilibre s'établit qui se rompt de nouveau au profit des forces attractives, lorsque la température continue à baisser. Tel est le passage de l'état gazeux à l'état liquide, de l'état liquide à l'état solide.

Mais la température et la pression n'agissent pas seulement sur l'état physique des corps, elles exercent également leur influence sur leur état chimique. L'élévation de la température tend à dissocier une molécule en ses atomes constituants alors que la pression a pour action de limiter cette dissociation et de permettre à des composés chimiques de persister à des températures auxquelles ils auraient été complètement détruits sous des pressions plus faibles.

Briner (*Journal de chimie physique*, décembre 1915) a récemment étudié ces phénomènes avec beaucoup de soin. Il en a tiré des applications extrêmement importantes au point de vue qui nous occupe et qui illustrent admirablement les idées que nous avons déjà émises sur la formation des atomes.

En effet, Briner discute l'hypothèse d'Arrhenius sur les causes du rayonnement solaire, hypothèse qui peut se résumer de la manière suivante : sous l'influence de la



température et de la pression, des composés endothermiques se forment dans la partie centrale du soleil qui viennent ensuite se décomposer à sa surface et dégagent ainsi l'énergie qu'ils ont emmagasinée dans leur formation. A cette hypothèse séduisante, Briner objecte que les quantités d'énergie qui pourraient de ce chef devenir disponibles sont plus de 50 000 fois inférieures à celles qui seraient nécessaires pour alimenter le rayonnement solaire. Il conclut qu'une théorie purement chimique de ce rayonnement suppose obligatoirement que l'atome n'est pas le dernier stade de la dissociation moléculaire. L'on revient, ajoute-t-il, par des considérations cosmogoniques, à l'idée de la désintégration atomique.

Ces réflexions de Briner nous ramènent au beau travail de N. Lockyer dont nous avons déjà parlé plus haut. Rappelons que, pour l'auteur anglais, les atomes subissent une véritable évolution sous l'influence des hautes températures, des chocs, etc. L'aboutissant ultime de toute désintégration atomique serait l'hydrogène, dont la polymérisation forme les autres atomes. Si, d'autre part, nous considérons que le soleil ne fait pas partie du groupe des étoiles les plus chaudes, et que la pression à son centre doit être d'environ 8 250 millions d'atmosphères (calculs de Schuster et d'Arrhenius) nous pouvons synthétiser ces données conformément à notre hypothèse, tout en comprenant que ces faits peuvent résulter de l'observation mais se dérobent à l'expérimentation directe, étant donnée l'insuffisance des moyens que mettent à notre portée les laboratoires.

Sous l'influence de cette pression que son énormité nous

empêche de nous représenter exactement et qui peut même réagir sur l'agitation thermique, on conçoit que les unités de matière soient amenées au contact les unes des autres ou, en tout cas, à une distance si approchée que les forces d'attraction l'emportent sur les forces de répulsion. Il en résultera des agrégats qui pourront être très volumineux mais qui seront forcément instables pour la raison suivante : pendant qu'une unité de matière attire l'unité la plus proche d'elle, elle repousse les unités un peu plus éloignées. Une unité déterminée — ou un petit agrégat d'unités — subit donc l'influence attractive des quelques unités les plus proches ; elle subit en même temps l'influence répulsive d'un beaucoup plus grand nombre d'unités placées à une distance, assez faible pour que les forces répulsives diminuant suivant le carré de la distance soient encore actives, mais assez grande pour que les forces diminuant suivant le cube de la distance deviennent de plus en plus négligeables.

Concrétisons cette idée en la traduisant par des chiffres ; considérons une unité de matière placée à un angle saillant du solide formé par la pression. Supposons pour la simplification des calculs la force d'attraction égale à 1 à la distance 1, et à cette même distance la force de répulsion égale à  $1/2$ . 3 unités placées à cette distance exerceront une force d'attraction égale à 3 et une force de répulsion égale à  $1,5$ . 10 unités placées à la distance 2 ne modifieront pas cette situation puisqu'elles accroîtront les forces répulsives et les forces attractives de  $10/8 = 1,25$ . 100 unités placées à la distance 3 agiront avec une force répulsive de  $100/18$  soit  $5,55$  et une force attractive de

100/27 soit 3,7. L'unité terminale subira donc au total des forces répulsives égales à  $1,50 + 1,25 + 5,55 = 8,30$  que n'équilibreront plus les forces attractives égales à  $3 + 1,25 + 3,7 = 7,95$ . Elle sera donc finalement repoussée avec une force égale à  $8,30 - 7,95 = 0,35$ , force qui augmentera d'abord à mesure que la particule s'éloignera et qui se manifestera jusqu'à ce que les forces de répulsion elles-mêmes n'exercent plus aucune action. Ce projectile sera donc soumis à une accélération variable mais continue qui lui communiquera une grande vitesse et une force vive considérable. La destruction de cet agrégat libérerait donc évidemment des quantités énormes d'énergie, ce qui mettrait d'accord la théorie d'Arrhenius et les données de Briner. *Les combinaisons se produisant au centre des astres seraient ainsi d'ordre atomique et non d'ordre moléculaire.*

#### *La formation des atomes et la métallogénie.*

On comprend que, dans les molécules, il se produise un état d'équilibre entre les forces répulsives des unités de même signe. La distance à laquelle les forces attractives entre les unités positives s'exercent ne peut être atteinte, car les forces que nous mettons en œuvre dans les réactions chimiques ordinaires ne peuvent faire franchir aux agrégats atomiques la zone où la répulsion entre masses positives l'emporte sur l'attraction. Nous abordons, en effet, à peine avec Ramsay et J.-J. Thomson, la chimie atomique expérimentale. Du reste si nous ne pouvons reproduire expérimentalement la plupart des transformations atomiques que l'examen méthodique des faits laisse

pressentir, la nature, dans son laboratoire où des forces autrement puissantes que dans les nôtres sont mises en jeu, semble les avoir réalisées principalement dans les gites filoniens. Si l'on examine par exemple les nombreux minéraux qui constituent les filons stannifères recoupant les granits primitifs, on est forcément frappé de certaines coïncidences que l'on ne peut certainement pas attribuer au hasard.

A côté du quartz,  $\text{SiO}_2$  ( $28 + 32 = 60$ ) se trouve d'une manière constante la pyrite de fer  $\text{FeS}_2$  ( $28 \times 2 + 32 \times 2 = 120$ ) qui possède un poids moléculaire double et est composée de deux atomes dont le poids atomique est

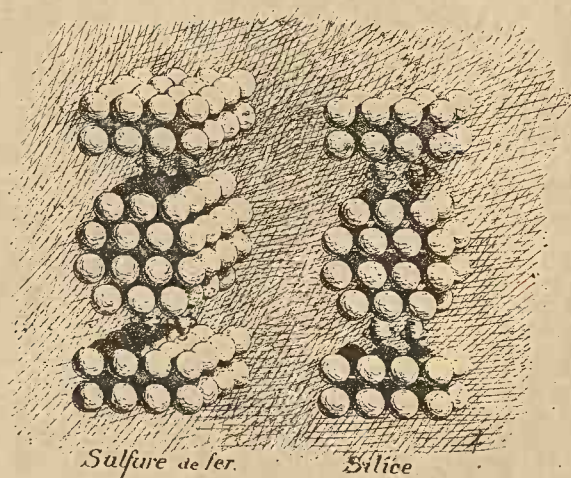


Fig. 9.

double des deux constituants de la silice. L'accolement de deux molécules d'anhydride silicique et leur union atomique donnerait du reste un sulfure de fer de constitution moléculaire identique à celle de la pyrite (*fig. 9*).



Cette coïncidence déjà intéressante est corroborée par une relation semblable d'une part entre l'acide titanique  $\text{TiO}^2$ , fréquent sous forme de rutil dans les filons et les alluvions stannifères, et, d'autre part, la molybdénite ou sulfure de molybdène dont les lamelles sont souvent disséminées dans les épontes des filons de cassitérite. Le rutil  $\text{TiO}^2$  a pour poids moléculaire  $48 + 32 = 80$ . Le sulfure de molybdène  $\text{MOS}^2$  présente un poids moléculaire exactement double  $48 \times 2 + 32 \times 2 = 160$ . Le molybdène peut, du reste, être parfaitement figuré comme nous le verrons par un solide formé par l'accolement des deux atomes de titane.

Ce n'est pas tout. Le wolfram apparaît fréquemment dans ces filons et les granits environnants sont souvent riches en zircon ou silicate de zirconium qui représente le composé naturel du zirconium le plus répandu. La formule de ce corps est  $\text{ZrO}^3 \text{SiO}^2$  et son poids moléculaire  $92 + 32 + 28 + 32 = 184$ , c'est-à-dire exactement le poids atomique du tungstène. La réaction atomique semble, du reste, être là un peu complexe. L'atome de tungstène peut être également réalisé par l'accolement de deux atomes de zirconium :  $92 \times 2 = 184$ . En même temps deux atomes de silicium peuvent s'unir pour former un atome de fer et l'on obtient avec l'oxygène présent le wolfram, tungstate de fer auquel peut se joindre une quantité plus ou moins grande de manganèse, cet atome de fer incomplet.

La série des coïncidences n'est pas encore épuisée.

Dans les régions stannifères, dans ou à proximité des filons stannifères se trouvent des minerais d'uranium.



toujours complexes. Or l'uranium a un poids atomique exactement double (238) de celui de l'étain (119) et peut être le plus commodément représenté par l'accolement de deux atomes d'étain qui donne un solide dont les surfaces de combinaison expliquent parfaitement l'hexavalence de l'uranium.

Il suffit de signaler ces faits et de poser encore une fois la question : s'agit-il de coïncidences fortuites ou de la transformation d'atomes les uns dans les autres sous l'influence des phénomènes mécaniques ou autres auxquels sont dus les filons ? Si l'on applique encore là le calcul des probabilités, on verra que les chances en faveur de la première hypothèse sont minimales *par rapport à celles d'une loi établissant des relations de formation entre ces divers atomes*.

#### *Les phénomènes radioactifs.*

De cette conception de l'atome, découlent plusieurs conclusions.

En premier lieu, nous voyons que, s'il n'existe entre les électrons que des forces répulsives, on ne peut comprendre l'existence d'un atome dans lequel les corpuscules négatifs seraient en excès, car les électrons en surnombre seraient expulsés de l'atome par suite de la répulsion électrostatique. Si, au contraire, l'atome possède un excédent d'unités positives, la cohésion interne en sera augmentée dans une certaine mesure. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, un agrégat positif sera donc très stable et d'autant plus stable qu'il sera plus petit en raison des considérations précédentes. *Le composé matériel le*

*plus solide sera donc constitué, en dehors de toute considération de forme, par le plus petit nombre d'unités de matière et le plus petit nombre d'électrons.* Ces conditions sont très exactement remplies par l'atome d'hélium qui, sous forme de particules  $\alpha$ , s'échappe des atomes radioactifs.

En deuxième lieu, cette hypothèse nous rend compte de la genèse des phénomènes radioactifs. L'équilibre entre les forces répulsives et attractives des unités de matière entr'elles impose évidemment une limite extrême au volume que peut atteindre un atome. Les corps approchant de cette limite ont des atomes nécessairement instables, car, sous des influences minuscules qui nous échappent, certains éléments matériels qui les composent peuvent subir un déplacement infime qui suffit à déterminer la prédominance des forces répulsives. Il en résulte l'élimination de masses positives qui produit un remaniement dans la répartition des électrons intra-atomiques. Dans la recherche d'un nouvel équilibre stable, l'expulsion porte tantôt sur des électrons libres sous forme de rayons  $\beta$ , tantôt sur des agrégats électromatériels sous forme de rayons  $\alpha$  c'est-à-dire d'atomes d'hélium, composés de quatre unités de matière groupées autour d'un électron.

#### *La loi numérique de la formation des atomes.*

Cette formation constante de l'hélium au cours de la désintégration des atomes radioactifs pose immédiatement une question subsidiaire. Les gros agrégats atomiques se sont-ils formés directement au dépens des unités de matière (ions  $H^+$ ) ou y a-t-il eu d'abord produc-

tion de petits agrégats qui se sont fusionnés ultérieurement ?

L'existence, dans les étoiles les plus chaudes, du nebium (x3 de J.-J. Thomson) et de l'hélium qui constituent, d'après Lockyer, la première étape de l'évolution inorganique, est plutôt en faveur de la seconde hypothèse ; l'examen comparatif des poids atomiques la corrobore également.

Il est en effet facile de constater que les nombres exprimant les poids atomiques sont groupés d'une manière assez régulière par paires d'éléments, ne différant entre eux que d'une unité, trois unités séparant ensuite chaque paire de la suivante ; en un mot, les poids atomiques sont des multiples de 4 ou des multiples de 4 augmentés de 3.

$$A = 4n \text{ ou } 4n + 3.$$

Cette loi empirique correspond bien à l'observation dans la partie la mieux connue de la série des corps simples : elle permet en outre de prévoir l'existence de corps simples inconnus, correspondant à des places inoccupées. Elle comporte, du reste, des exceptions et nous devons signaler que les premières et les plus importantes sont celles du glucinium et de l'azote que nous avons déjà vues être en désaccord avec les lois de la valence. Les 28 premiers éléments au-dessous de 60 ne présentent que ces deux exceptions à la règle, plus trois lacunes dont l'une nous semble devoir être comblée par un gaz rare, X36.

Le tableau III montre une coïncidence plus grande que celle du tableau II entre le nombre des électrons intra-atomiques et le nombre ordinal indiquant le rang des éléments dans une échelle par poids atomiques croissants.

Or les recherches de Rydberg, de van den Brock, de Moseley, de Bohr donnent à ce dernier chiffre un intérêt particulier par suite des formules dans lesquels ils l'introduisent. L'incertitude sur les éléments non encore découverts ou pouvant exister ailleurs que sur notre globe rend philosophiquement un peu précaire l'usage de ce nombre. Van den Brock, Moseley, Bohr avaient été amenés à l'adopter de préférence au nombre des électrons résultant de la formule de Geiger et Madsen par suite d'écart qu'ils avaient expérimentalement constatés. Mais en adoptant pour le nombre des électrons intra-atomiques notre formule  $\frac{1}{2}A - \frac{1}{2}V$ , la coïncidence est beaucoup plus satisfaisante et ceci est un argument de plus en faveur de notre conception de l'atome.

TABLEAU DES CORPS SIMPLES AVEC LEUR NOMBRE ORDINAL,  
 LEUR POIDS ATOMIQUE CALCULÉ ET OBSERVÉ ET LE NOMBRE DES ÉLECTRONS INTRAATOMIQUES  
 (Rapprocher le nombre des électrons du nombre ordinal).

	+1	+3	+1	+3	+1	+3	+1	+3	+1	+3	+1	+3
Ordinal.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Indice.	H	X <sup>3</sup>	He	Li	Gl	B	C	Az	O	F	Ne	Na
A calculé.	1	3	4	7	8	11	12	15	16	19	20	23
A observé.	1	3	4	7	9 <sup>-1</sup>	11	12	14 <sup>+1</sup>	16	19	20	23
Électrons.	0	1	1	3	3	4	4	5	7	9	9	11
Ordinal.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Indice.	Mg	Al	Si	P	S	Cl	X <sup>36</sup>	K	Ca		Sc	
A calculé.	24	27	28	31	32	35	36	39	40	43	44	47
A observé.	24	27	28	31	32	35,5	36	39	40		44	
Electrons.	11	11	12	13	15	17	17	19	19		20	
Ordinal.	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Indice.	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni		Cu	Zn		Ga
A calculé.	48	51	52	55	56	59	60	63	64	67	68	71
A observé.	48	51	52	55	56	59	59 <sup>+1</sup>		64	66 <sup>+1</sup>		70 <sup>+1</sup>
Electrons.	22	24	24	24	26	28	28		31	32		34
Ordinal.	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Indice.	Ge	As		Se	Br	Kr		Rb	Sr	Yt	Zr	Cb
A calculé.	72	75	76	79	80	83	84	87	88	91	92	95
A observé.	72	75		80 <sup>-1</sup>	80	81-84			88	88,7 <sup>+2,3</sup>	92	93,5 <sup>+1,5</sup>
Electrons.	34	35		39	40	41		42	43	44	44	45
Ordinal.	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Indice.	Mo			Ru	Rh	Pd	Ag		Cd	In		Sn
A calculé.	96	99	100	103	104	107	108	111	112	115	118	119
A observé.	96			101,7 <sup>+1,3</sup>	102,9 <sup>+1,1</sup>	107	108		112	115		119
Electrons.	46			49	50	51	53		55	55		57



Ordinal. . .	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Indice. . .	Sb			I	Te	X	Cs		Ba	La	Ce	Pr
A calculé. .	120	123	124	127	128	131	132	135	136	139	140	143
A observé. .	120			126 <sup>+1</sup>	128	130 <sup>+1</sup>	133 <sup>+1</sup>		136,5 <sup>+1,5</sup>	139	140	141 <sup>+2</sup>
Electrons. .	58			63	63	64	65		67	68	68	
Ordinal. . .	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Indice. . .	Nd			Sm	Eu		Gd	Tb		Dy	Ho	Er
A calculé. .	144	147	148	151	152	155	156	159	160	163	164	167
A observé. .				150,5	152		157,3 <sup>-1,3</sup>	159		162,5 <sup>-0,5</sup>	163,5 <sup>-0,5</sup>	167,5 <sup>+0,5</sup>
Electrons. .												
Ordinal. . .	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Indice. . .	Tm		Yb	Lu				Ta	W			Os
A calculé. .	168	171	172	175	176	179	180	183 <sup>-1,5</sup>	184	187	188	191
A observé. .	168,5 <sup>+0,5</sup>		173,5 <sup>+1,5</sup>	175				181,5	184			191
Electrons. .								88	89			91
Ordinal. . .	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Indice. . .	Ir	Pt	Au		Hg		Tl	Pb	Bi			
A calculé. .	192	195	196	199	200	203	204	207	208	211	212	215
A observé. .	192	195	197 <sup>+1</sup>		200		204	207	208			
Electrons. .	94	95	96		99		101	101	101			
Ordinal. . .	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Indice. . .			Nt		Ra				Th			
A calculé. .	216	219	220	223	224	227	228	231	232	235	236	239
A observé. .			220		226 <sup>+2</sup>				232			238 <sup>+1</sup>
Electrons. .			109		111				114			116

## CHAPITRE VII

### LA FORME DES ATOMES ET LES FAMILLES DES CORPS SIMPLES

Les notions que nous avons acquises dans le chapitre v nous permettent de définir maintenant avec plus de netteté la notion de valence qui, telle qu'elle nous apparaît dans les réactions chimiques, est le résultat de deux facteurs.

#### *Affinité électro-chimique.*

Le premier, qui correspond à l'affinité de l'atome, est constitué par la différence entre la charge positive, provenant du nombre des unités de matière et la charge négative liée aux électrons intra-atomiques. Cette différence exprime l'affinité globale, c'est-à-dire l'excédent de charge positive qui doit être neutralisée par l'adjonction d'électrons extra ou interatomiques  $V = A - 2E$ . C'est la valence de Werner.

#### *Valence topographique.*

D'autre part, l'intervention de la loi de symétrie détermine les directions suivant lesquelles doivent se grouper les atomes reliés par les électrons interatomiques en vue

de la formation d'une molécule neutre. Dans les corps à valence paire, les directions sont le plus souvent symétriques. Mais on comprend que cette règle soit moins rigoureuse que la précédente. Son intervention ne prend jamais la forme d'une nécessité mathématique. Il en est ainsi comme en biologie, par exemple, où les lois de la symétrie ordonnent de haut toute la morphologie. Cela n'empêche pas le foie d'être à droite, le cœur et l'estomac à gauche. On peut donc considérer la symétrie comme une tendance plutôt que comme une règle rigide.

*Les valences de l'azote, du glucinium et du cobalt.*

Dans la plupart des cas, il n'y a pas d'antinomie entre ces deux facteurs et il est possible de les satisfaire tous deux : mais dans d'autres, l'accord est impossible et, de ce fait, les corps acquièrent des propriétés exceptionnelles.

Prenons comme exemple l'azote, qui fait exception à toutes les lois numériques : 1° celle de  $4n + 3$  qui nécessiterait un poids atomique de 15 au lieu de 14 ; 2° celle de l'écart avec le corps suivant de la même famille, le phosphore dont le poids atomique est plus grand de 17 unités au lieu de 16 ( $31 - 14 = 17$ ), et 3° qui possède un poids atomique pair et une valence impaire. Nous verrons bientôt qu'il est impossible de lui assigner une forme symétrique satisfaisante et, qu'au contraire, sa constitution au moyen d'un demi-atome de carbone et d'un demi-atome d'oxygène aboutit à un solide très rationnel. Mais ce solide présente forcément une asymétrie qui rend impossible l'application de la loi de la symétrie aux

valences, comme on peut s'en rendre compte par la figure 34. La répartition symétrique de la charge positive commande toujours une valence triple ou une valence quintuple. Le corps ne peut donc jamais être complètement neutralisé que par la présence d'électrons moléculaires qui, comme nous le verrons dans le volume V de cet ouvrage, rend compte de la facilité avec laquelle les composés azotés et spécialement les composés ammoniacaux forment des complexes.

Les anomalies du glucinium et du cobalt, qui, eux aussi, constituent des exceptions à la loi qui relie la parité ou l'imparité du poids atomique à la parité ou l'imparité de la valence, peuvent être expliquées de même, et la chimie si difficile des complexes peut devenir rationnelle si l'on fait intervenir : 1° les électrons extra-atomiques formant les valences latentes, 2° les atomes non saturés par suite de l'antinomie entre leur affinité et leur morphologie, 3° le fait de l'inégale répartition des tensions électriques à la surface d'un solide géométrique (Voir volume V, la molécule vivante), 4° les actions magnétiques.

#### *La morphologie atomique.*

Ces exemples montrent l'importance de la morphologie de l'atome dans la détermination de ses propriétés chimiques. Ces dernières représentent, pour ainsi dire, la physiologie atomique, fonction étroite de l'anatomie atomique. Nous ne devons donc rien négliger pour arriver à définir la forme de l'atome à l'aide des éléments précis que nous fournit la chimie. Mais nous ne possédons dans

cette direction que des jalons éloignés les uns des autres et le but semble, au premier abord, difficile à atteindre. Nous allons voir toutefois qu'en procédant méthodiquement, il est permis d'arriver à une approximation suffisante et de se rapprocher avec une grande probabilité de la vérité objective.

Mais une question préalable se pose et, avant de nous préoccuper de la morphologie des agrégats atomiques, nous devons nous demander quelle forme nous devons attribuer aux deux composants primordiaux : l'électron et l'unité de matière.

*La représentation de l'électron.*

Abordons de suite la partie la plus épineuse du problème, celle de la forme de l'électron. Il est bien difficile, en effet,

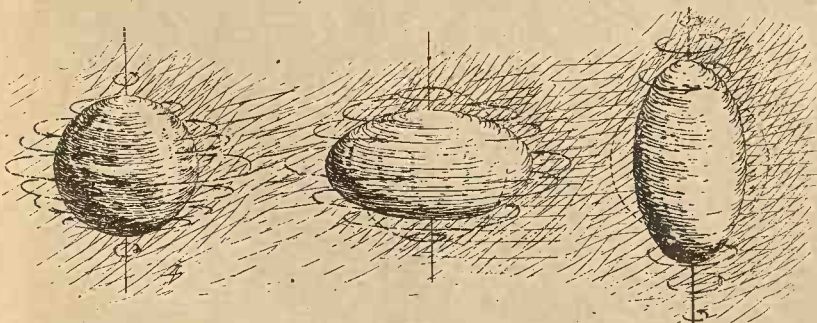


Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

de concevoir la morphologie d'un objet situé sur la limite extrême de la matérialité et nous sommes obligés d'accepter la collaboration, souvent suspecte, de l'imagination. Sous cette réserve nous devons reconnaître que les pro-



priétés de l'électron sont bien représentées par celles d'un petit corps symétrique animé d'un mouvement de rotation sur son axe.

Ce que nous savons du courant électrique de convection et du champ magnétique, qui se produit toutes les fois que l'on déplace des électrons suivant un mouvement régulier, nous permet d'affirmer que l'électron est polarisé, c'est-à-dire que l'on peut le considérer comme un petit aimant possédant un pôle nord et un pôle sud. Par suite du désordre relatif dans l'orientation des électrons au sein de la matière, leurs champs magnétiques se contrarient et s'annulent. Ils ne se manifestent que lorsqu'ils s'ajoutent les uns aux autres, soit que, parallèles déjà dans l'atome, les électrons deviennent parallèles dans un volume déterminé de matière sous les influences passagères ou permanentes, orientant les atomes dans un sens déterminé, soit qu'à l'état de semi liberté entre les atomes, ils s'orientent parallèlement pour cheminer dans les conducteurs. Dans ce dernier cas, ils progressent tous suivant une orientation déterminée, c'est-à-dire que, pour s'exprimer d'une manière plus concrète, on peut considérer à chacun une tête et une queue.

Or, le corps le plus simple que l'on puisse se représenter comme polarisé est un corps symétrique (cylindre, ellipsoïde, sphère) tournant autour de son axe. Si l'on regarde, en effet, une des extrémités du cylindre ou un des pôles de la sphère, on le voit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, alors que si l'on regarde l'extrémité ou le pôle opposé, on constate qu'il tourne en sens inverse. Donc tout en possédant une symétrie de forme,

un corps tournant possède une dissymétrie dans la direction du mouvement de rotation.

Cette manière de se figurer l'électron donne, semble-t-il, une représentation assez objective du magnétisme. Si l'on étudie le champ magnétique d'un courant dans son expression la plus concrète : le spectre magnétique obtenu à l'aide de la limaille de fer, on voit une analogie frappante entre l'orientation des parcelles de limaille et celles des grains de sable ayant subi l'action d'un tourbillon de vent. Il se produit un véritable tourbillon magnétique dont on peut expliquer l'origine de la manière suivante. L'action sur l'éther d'un grand nombre d'électrons tournants donne une somme algébrique nulle lorsque, l'orientation faisant défaut, le sens de la rotation est quelconque, mais, si les électrons sont orientés, leurs actions isolées s'intègrent de manière à créer une force tourbillonnante dont le sens est déterminé par le sens de la rotation des électrons. Imaginons, en effet, un nombre énorme de cylindres tournant autour de leur axe ; si leur orientation est quelconque, l'atmosphère à une faible distance sera dans un état d'équilibre statique. S'ils tournent tous dans le même sens, il y aura formation d'une véritable tornade dont les effets se propageront au loin.

Cette orientation peut, du reste, exister d'une manière permanente dans certains atomes et donner naissance aux magnétons de Pierre Weiss.

De plus, les oscillations de ces petits corps symétriques sont aussi faciles à se représenter que l'évolution d'un électron autour d'un centre.

Dans ces conditions, le mouvement de rotation sur

l'axe serait l'origine des phénomènes permanents tels que l'agitation moléculaire et s'accorderait avec la théorie cinétique de la matière, alors que les vibrations longitudinales et transversales seraient le point de départ des phénomènes transitoires : chaleur, lumière, etc. (voir tome II, chapitre III). Sans vouloir imposer cette image comme une réalité, il est permis de la trouver satisfaisante pour l'esprit, et, ayant pris l'habitude de lui rapporter tout ce qui touche à l'électron, je dois dire qu'elle m'a rendu toujours service et ne m'a jamais embarrassé.

Quant à se demander quelle est la structure même de ce corps, il nous serait loisible de répondre qu'il est constitué par un tourbillon d'éther, mais serons-nous bien certains, dans ce cas, de ne pas nous payer de mots ?

Il en est de même du volume de l'électron. Tout ce que l'on en a dit résulte d'extrapolations faites de la matière — *largo sensu* — à l'électron. Nous ne croyons pas ces extrapolations légitimes. Nous verrons au contraire, au cours de ces études, qu'il semble plus satisfaisant pour l'esprit d'accorder à l'électron une certaine variabilité de volume. Les différences de densité électrique qui en résulteraient pourraient, en effet, correspondre à certaines modifications dans les propriétés de l'électron, considéré à l'état isolé (voir volume V).

#### *La forme de l'unité de matière.*

Il était nécessaire de parler de cette représentation essentiellement dynamique de l'électron avant d'aborder

la morphologie de l'unité de matière. Devons-nous en effet concevoir cette dernière de la même façon ? Certains esprits, épris de symétrie absolue, ont voulu faire de l'électricité positive une analogue symétrique de l'électricité négative, et représenter l'unité d'électricité positive par un électron tournant en sens inverse de l'électron négatif. *Cette conception, d'apparence attrayante, n'a, si on veut la réaliser, aucune signification.* Un corps symétrique tournant n'a en effet un sens de rotation que par rapport à l'observateur et seulement si son axe est fixé. Mais un corps libre ne tourne ni dans le sens, ni dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, puisqu'un déplacement de son axe de  $180^\circ$  suffit à modifier ce sens par rapport à un observateur fixe. Il faut donc chercher autre chose.

Pour nous, qui considérons l'unité de matière non comme une spéculation symétrique, mais comme un objet complémentaire de l'électron, nous pensons qu'il faut lui attribuer les propriétés que nous reconnaissons dans la matière — *largo sensu* — et qui ne peuvent procéder de l'électron lui-même : par exemple la fixité de volume et de forme, l'inertie gravitique, etc... Nous devons donc nous le représenter comme un solide indéformable et impénétrable en donnant à ces mots la signification qu'ils peuvent avoir à cette échelle.

Quelle forme accorder à ce solide primordial ? *Tout plaide en faveur de la forme sphérique qui est la forme idéale vers laquelle tend tout corps soumis de tous côtés à des forces égales.* Quelque idée que l'on puisse se faire sur la genèse de l'unité de matière, on ne peut concevoir

quelle est l'influence qui aurait pu déterminer une dissymétrie quelconque. Or le solide le plus complètement symétrique est la sphère : c'est donc la forme que nous devons attribuer à l'unité de matière, c'est-à-dire à l'atome d'hydrogène.

D'autre part, on sait que, lorsqu'un fluide est en suspension dans un autre fluide, il tend, sous l'influence de la tension superficielle, à prendre une forme sphérique, c'est-à-dire la forme sous laquelle la surface est dans un rapport minimum avec le volume. C'est la loi d'énergie superficielle minimum.

L'unité de matière n'ayant pu se former que dans un espace entièrement libre a dû se conformer à cette loi qui a déterminé la forme sphérique.

*L'atome chimique, agrégat de sphères, ne saurait avoir lui-même la forme sphérique. En première approximation, l'atome chimique nous apparaît donc comme un agrégat de petites sphères indéformables et impénétrables reliées entre elles par un ciment élastique que constituent les électrons.*

Quelle forme assigner à cet agrégat? Quelle que soit en effet l'exiguité de l'espace occupé par un atome, il est un point sur lequel on ne peut pas ne pas être d'accord, c'est qu'on ne peut le représenter objectivement que par un corps à trois dimensions. C'est pourquoi toutes les figures planes peuvent présenter un intérêt pédagogique, mais ne sauraient avoir la prétention d'exprimer, même de loin, la réalité.

Pour se figurer vraiment la constitution d'un atome ou d'une molécule, il faut réussir à les voir dans l'espace et à leur donner la forme d'un solide géométrique.



Certains auteurs, tels que Stoney, Barlowe et Pope, Kleemann, ont attribué aux atomes la forme de sphères de diamètre inégal, ce dernier variant suivant le poids atomique. Il ne semble pas que l'on puisse se ranger à cette opinion simpliste et nombreuses sont les objections qui peuvent lui être opposées.

1° En premier lieu, la forme sphérique des atomes semble peu en rapport avec les formes géométriques des cristaux. Bien que l'on ne soit pas bien fixé sur les causes prochaines qui déterminent ces formes, on sait en tout cas que cette genèse est dominée par la loi de Curie, suivant laquelle un corps tend à prendre la forme qui présente une énergie superficielle minima, compatible avec les forces orientantes. Il semble assez raisonnable d'admettre que, parmi ces dernières, une des plus importantes est celle qui résulte de la forme des molécules, fonction elle-même de celle des atomes.

Dans des travaux récents, Barlowe et Pope ont bien cherché à établir que la structure des cristaux pouvait être comprise en les considérant comme un agrégat de sphères de volumes différents. Bien que cette théorie nous semble peu soutenable en ce qui concerne la cristallisation des corps composés, il semble qu'elle est inapplicable en ce qui concerne la cristallisation des corps simples. On sait, en effet, que presque tous les métaux cristallisent dans le système cubique : il est difficile de concevoir comment cette forme pourrait être commandée par l'agrégation de sphères de même grosseur.

L'explication la plus simple des formes géométriques que présente la matière cristalline est qu'elles résultent de

la forme des molécules et que cette dernière est elle-même ordonnée par la forme des atomes. Toutefois il n'en résulte nullement que les cristaux reflètent exactement la forme des molécules. Pour satisfaire à la loi de Curie, il suffit que la forme du cristal permette de renfermer les molécules d'une forme déterminée avec le minimum de perte d'espace et le maximum de solidité.

Prenons un exemple concret. Si quelqu'un avait à expédier un certain nombre de tétraèdres réguliers, il ne lui viendrait nullement à l'idée de faire une caisse revêtant elle-même la forme d'une pyramide triangulaire. Il s'apercevrait bientôt que, si ses tétraèdres sont réguliers et égaux, l'emballage qui lui donnera le maximum de sécurité avec le minimum de perte d'espace sera une caisse de forme cubique ou prismatique rectangulaire. C'est dans cet esprit que nous pouvons très bien admettre que des corps, composés d'atomes ayant la forme de tétraèdres, cristallisent dans le système cubique.

En poursuivant notre comparaison, on conçoit également bien comment les molécules d'eau de cristallisation peuvent, à la manière de la substance destinée à caler dans un emballage, remplir les interstices laissés entre elles par les molécules, lorsque celles-ci sont composées d'atomes volumineux et de formes peu concordantes.

2° En dehors des caractères morphologiques, les cristaux et les molécules possèdent des propriétés optiques (réfraction, polarisation) dans lesquelles les électrons jouent un rôle capital, difficile à concevoir si on considère ces derniers comme régulièrement répartis à l'intérieur d'une sphère.

L'interprétation est, au contraire, grandement facilitée si on se les représente comme orientés dans un polyèdre.

3° Deux corps peuvent avoir le même poids atomique ou du moins deux poids atomiques extrêmement voisins (argon et calcium, sélénium et brome, nickel et cobalt). On ne peut concevoir les différences chimiques de ces corps simples comme conditionnées par une différence des diamètres des sphères qui les représenteraient respectivement. On est donc porté à admettre qu'ils sont composés d'un nombre égal d'unités de matière, disposées de manière à réaliser des agrégats de configurations différentes, ce qui exclut évidemment la forme sphérique de l'atome.

4° Comme nous le verrons plus loin, les familles des corps simples peuvent facilement s'interpréter par une similitude morphologique des atomes, ce qui est impossible si l'on attribue à tous les atomes une forme sphérique.

5° Lorsqu'un élément radioactif se brise en deux atomes nouveaux, on ne voit pas bien comment chaque fragment reprendrait immédiatement la forme sphérique. D'autre part, un des fragments est très petit par rapport à l'autre. Lorsqu'un atome de radium se transforme en un atome d'hélium et un atome de niton, il subit une réduction de sa substance égale à  $\frac{1}{56}$  environ, ce qui entraînerait une bien faible réduction de son diamètre atomique. Comment expliquer alors la transformation complète des propriétés chimiques que l'on observe dans toute l'évolu-

tion des corps radioactifs. On la comprend beaucoup mieux au contraire si l'on admet que la recherche d'un nouvel équilibre a pour effet une modification complète de la forme géométrique.

6° Si l'on attribue une forme sphérique à l'atome d'hydrogène, unité de matière, il devient impossible d'attribuer une même forme aux atomes de faible poids atomique, formés par la coalescence d'un petit nombre d'unités. Il est, en effet, impossible d'obtenir une sphère par la réunion de quatre sphères et la seule forme géométrique stable que l'on peut réaliser ainsi est un tétraèdre régulier. Nous verrons que telle est la forme la plus vraisemblable de l'atome d'hélium, protagoniste de la famille des gaz rares.

7° Vient ensuite l'objection la plus typique pour tous les chimistes qui veulent voir dans la valence une propriété topographique de l'atome. Si l'on considère que la valence est une force dirigée, on est obligé d'admettre en même temps comme probable que les directions sont imposées par la forme de l'atome et que, par conséquent, celui-ci n'est pas sphérique.

#### *La stéréochimie du carbone et de l'azote.*

C'est suivant cette donnée que Le Bel et Vant' Hoff se sont orientés vers l'hypothèse du carbone tétraédrique, suivant en cela la voie déjà ouverte par Pasteur, Paterno, Rosensthiel; ces deux auteurs, simultanément, attribuèrent à l'atome de carbone — ou à sa région d'influence, ce qui est pratiquement la même chose — la forme d'un tétraèdre régulier, la direction des quatre

valences correspondant aux quatre sommets. Nous aurons à revenir longuement sur le carbone tétraédrique dans le volume IV de cet ouvrage (*La molécule organique*). Nous devons dire toutefois, dès maintenant, que la nouvelle notion, substituant la représentation des molécules dans l'espace à leur figuration dans un plan, peut être considérée, au point de vue de la pédagogie chimique, comme un progrès décisif.

Les succès obtenus par la stéréochimie du carbone ont engagé à déterminer la forme atomique d'autres corps simples ; les résultats furent moins heureux.

La stéréochimie de l'azote, qui a provoqué le plus grand nombre de travaux, présente des difficultés particulières. En effet, l'azote est tantôt trivalent tantôt pentavalent. Il est donc difficile de lui appliquer les règles qui sont la base de la stéréochimie du carbone. En effet, les valences ne sont pas fixes, ne sont pas égales ou ne peuvent être regardées comme telles que si l'on admet que la structure interne de l'atome est instable. Malgré cela, on a voulu représenter l'atome d'azote ou plutôt sa région d'influence sous la forme d'une double pyramide triangulaire. Les valences ordinaires seraient orientées suivant les angles de base des pyramides ; les deux valences secondaires suivant leur sommet. Cette figuration est toutefois loin d'avoir rendu des services comparables à la représentation tétraédrique de l'atome de carbone.

De même, Werner a cherché à construire une théorie stéréochimique des composés amino-cobaltiques sur une structure octaédrique de l'atome de cobalt.

Les progrès dus à ces diverses figures des atomes chi-



miques sont la preuve évidente de la supériorité de la méthode qui consiste à se représenter les corps chimiques dans l'espace, même si la forme qu'on leur attribue est erronée.

Je ne crois pas, en effet, qu'il soit soutenable de prétendre que, malgré sa grande valeur pédagogique, la représentation tétraédrique de l'atome de carbone correspond à la réalité. Certes, la notion a été très estompée, et l'on tend à attribuer cette forme tétraédrique moins à l'atome lui-même qu'au solide déterminé par la direction des forces de ses valences. On a cherché ainsi à transporter dans l'abstraction une notion qui devait sa principale valeur à la figuration concrète des phénomènes. C'est en restant sur ce dernier terrain que nous ferons deux objections à la forme tétraédrique de l'atome de carbone.

La première explique jusqu'à un certain point les difficultés qu'a rencontrées la stéréochimie lorsqu'on a voulu l'appliquer à d'autres éléments que le carbone. Ce dernier est, *en effet, un des corps simples dont la valence fixe est la plus élevée.* Or si la direction des forces des valences est orientée suivant les sommets d'un solide géométrique, on ne peut pas ne pas constater que *le tétraèdre est précisément le solide géométrique qui possède le moins de sommets.* Ce fait rend, par définition, impossible la représentation stéréochimique des atomes monovalents, bivalents, trivalents qui jouent pourtant un rôle important en chimie. Tous les efforts pour créer une stéréochimie de l'azote trivalent devaient échouer devant l'impossibilité de réaliser un polyèdre à trois sommets.

La stéréochimie des métaux alcalins, de l'oxygène, des métaux alcalino-terreux devenait encore plus inabordable; car on ne peut, à plus forte raison, admettre qu'un solide géométrique peut ne posséder qu'un ou deux sommets.

Si donc la conception de Le Bel et de Vant'Hoff était extrêmement féconde dans son principe, l'application qu'ils en avaient faite était défectueuse et s'opposait au développement même de la méthode qu'ils avaient créée.

*Les atomes s'unissent non par leurs sommets, mais par leurs faces.*

En second lieu, l'union des atomes par leurs sommets ne satisfait nullement l'esprit. Certainement, un ouvrier ayant à construire un édifice à l'aide de matériaux tétraédriques n'aurait jamais l'idée de les assembler par leurs sommets. Une construction, ainsi obtenue, battrait tous les records de la fragilité et ce que nous savons des radicaux organiques et de leur résistance aux différentes actions chimiques et physiques est incompatible avec cette hypothèse. Nous aurons à y revenir, du reste, plus longuement, à propos des carbures cycliques et des représentations du noyau benzénique.

Il me sera répondu que, d'après la théorie de Le Bel et Vant'Hoff, le point de jonction des deux atomes ne coïncide pas exactement avec les sommets du tétraèdre, mais qu'il y a une véritable pénétration des atomes les uns par les autres et que l'union par les sommets ou les arêtes ne doit être considérée que comme une simplification de la figure.

D'accord, mais il est permis de ne pas aimer les repré-

sentations inexactes ; d'autre part, il y a des objections graves à formuler contre cette pénétration des atomes ou de leurs zones d'influence ; car elle fait disparaître, pour ainsi dire, la notion concrète de l'atome.

De même, si l'on veut réaliser dans cet esprit la jonction de deux atomes de carbone à l'aide de une, deux, trois valences, il résulte que l'on aura dans l'éthane  $C^2H^6$  pénétration d'un sommet par un autre ; dans l'éthylène  $C^2H^4$ , pénétration de deux arêtes, et dans l'acétylène  $C^2H^2$ , pénétration de deux faces. Cela est déjà très difficile à admettre, mais passons outre.

Si nous nous abandonnons aux suggestions de ces images, il est bien évident que l'éthane, coalescence de points, nous apparaîtra comme beaucoup moins solide que l'éthylène, concours de lignes, qui lui-même le cèdera de beaucoup à l'acétylène dans laquelle les deux atomes de carbone seront solidement réunis par trois valences limitant une surface et produisant une pénétration considérable des deux atomes. Or, en réalité, l'acétylène est le moins stable des trois corps et cette constatation doit nous laisser sceptique sur la valeur des figures qui avaient certainement éveillé en nous l'idée inverse. *La jonction par les sommets, avec ou sans pénétration, ne nous semble donc pas représenter d'une manière satisfaisante le mode d'union des atomes d'une molécule.*

#### *Les surfaces de combinaison.*

Il est de beaucoup préférable, à tous points de vue, d'admettre que, si les atomes revêtent la forme de solides géométriques, leur réunion en molécules s'effectue par la

*conjonction de leurs faces.* Par suite de l'inégale répartition de l'électricité à la surface d'un solide géométrique, l'attraction pour l'électron sera prédominante sur une ou plusieurs faces du polyèdre, ce qui déterminera un électron parmi elles. Nous donnerons le nom de *surfaces de combinaison* aux faces par lesquelles s'effectue la conjugaison interatomique. L'étendue et la configuration de ces faces jouent dans les phénomènes chimiques un rôle primordial.

On trouve, en effet, dans cette notion de surfaces de combinaison une interprétation satisfaisante de la puissance d'affinité correspondant à telle ou telle valence. On comprend facilement que *plus la surface sera petite par rapport à la charge électrique, plus la densité électrique sur cette face sera grande.* Les corps à grande surface de combinaison comme le cuivre, l'argent, l'or, le platine, etc., auront donc des affinités moins impérieuses et pourront exister dans la nature à l'état natif. D'autre part, les grandes surfaces, au contact les unes des autres, mettent davantage en œuvre les forces répulsives entre masses positives. Nous étudierons avec plus de détails ces éventualités à propos des conditions de rupture des molécules et des causes déterminantes de la formation des ions (voir volume II, *la molécule chimique*).

### *Les surfaces de combinaison et les familles naturelles d'atomes.*

Si l'on étudie les propriétés chimiques d'un corps, on peut diviser en deux ordres les caractères qui en permettent la classification : en premier lieu, des propriétés géné-

rales qui permettent de le rapprocher d'autres corps et de former ainsi des familles naturelles ; d'autre part, des propriétés particulières à l'aide desquels on peut différencier l'espèce.

Si nous cherchons à objectiver cette notion et à la rapporter à cette union de solides géométriques entre eux à laquelle, en dernière analyse, on peut ramener tous les phénomènes chimiques, on voit que le facteur le plus important est l'étendue et la forme des surfaces de combinaison. Il est certain, en effet, qu'un maçon, en présence de matériaux irréguliers, triera d'abord ceux qui présentent une surface concave d'avec ceux qui offrent une surface convexe, car c'est la considération de la surface devant unir les matériaux qui l'intéressera le plus au point de vue de la solidité de son œuvre.

Il en est de même pour les atomes. Du moment que nous leur accordons une forme géométrique, c'est la ou les surfaces par lesquelles ils entrent en contact les uns avec les autres, celles sur lesquelles les électrons interatomiques insèrent, pour ainsi dire, leur liaison élastique, qui communiquent aux corps possédant des surfaces analogues un air de famille, dominant l'ensemble de leurs caractères chimiques. *Le volume, la forme générale du reste de l'atome, suffisent à déterminer l'espèce atomique ; mais la similitude des surfaces de combinaison permet la formation de genres et de familles d'atomes.*

Il est intéressant de noter que cette conception a déjà été entrevue sous un autre aspect par des chimistes que ne guidait aucune théorie morphologique. Delaunay et Garnier ont, en effet, signalé que, dans le poids ato-



mique des corps simples, on pouvait distinguer un poids atomique vif, correspondant à la partie chimiquement active de l'atome, et un poids atomique mort, qui, d'après ces auteurs, ne prend point part aux réactions chimiques. Dans notre hypothèse *les unités de matière, déterminant les surfaces de combinaison, forment le poids vif, le reste de l'atome le poids mort.*

*Les classifications naturelles des atomes. — La loi d'écart et la loi périodique.*

Les essais de classification naturelle des corps simples ont préoccupé tous les chimistes soucieux de synthèse et ont abouti à des résultats de plus en plus satisfaisants, bien que l'étude directe de la morphologie qui commande toutes les classifications des sciences naturelles, ait été, par la force des choses, rejetée jusqu'ici au second plan. Mais ces classifications ont reçu depuis une cinquantaine d'années le secours d'un facteur plus rigoureux qui manque encore aux classifications biologiques. Je veux parler des rapports numériques existant entre les corps d'une même famille, en même temps que l'alternance régulière des éléments si on les dispose suivant les poids atomiques croissants.

Deux lois principales semblent, en effet, régir les rapports des corps simples entre eux.

En premier lieu, dans chaque famille naturelle, les corps sont séparés les uns des autres par des écarts qui correspondent à la différence de leurs poids atomiques. *Ces écarts sont sensiblement les mêmes dans les différentes familles et cette coïncidence ne peut être l'effet du hasard.*

C'est la loi des écarts dont voici quelques exemples :

$$\begin{aligned} \text{Oxygène } 16 + 16 &= 32 \text{ soufre} + 48 \\ &= 80 \text{ selenium} + 48 = 128 \text{ tellure.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Glucinium } 9 + 15 &= 24 \text{ magnésium} + 16 \\ &= 40 \text{ calcium} + 48 = 88 \text{ strontium} + 48 \\ &= 136 \text{ baryum} + 88 = 224 \text{ radium.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Carbone } 12 + 16 &= 28 \text{ silicium} + 44 \\ &= 72 \text{ germanium} + 47 = 119 \text{ étain} + 88 = 207 \text{ plomb.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azote } 14 + 17 &= 31 \text{ phosphore} + 44 \\ &= 75 \text{ arsenic} + 45 = 120 \text{ antimoine} + 88 = 208 \text{ bismuth.} \end{aligned}$$

$$\text{Chrome } 52 + 44 = 96 \text{ molybdène} + 88 = 184 \text{ tungstène, etc., etc.}$$

Nous verrons que cette loi est très utile pour la classification des derniers termes des familles. On peut considérer que les premiers écarts sont de 16 unités, avec une approximation d'une unité en plus ou en moins, les seconds écarts de 44 à 48, mais principalement de l'un de ces deux chiffres ; les derniers sont à peu près de 88 exactement. Cette loi est encore empirique ; mais elle peut être représentée par l'adjonction d'un solide défini composé de 16, 44, 48 ou 88 ( $44 \times 2$ ) unités au poids du corps qui précède immédiatement dans la famille naturelle l'élément dont on veut déterminer la forme. Elle nous sera donc d'un grand secours lorsque nous voudrons dans les chapitres suivants préciser la forme de l'atome de chaque élément.

La deuxième loi est la loi périodique. On a constaté (Béguyer de Chancourtois, Newlands, Mendéléeff) que les

*corps des différentes familles ne sont pas distribuées au hasard dans la série des poids atomiques croissants.* Ils sont, au contraire, répartis de telle manière que les familles apparaissent dans un ordre régulier si on dispose les corps simples par séries horizontales. Cette loi empirique a à son actif d'intéressantes vérifications telles que la découverte de corps simples (scandium, gallium, germanium) encore inconnus au moment où elle a été formulée et dont elle a permis de prévoir les propriétés principales et les affinités chimiques.

La distinction entre ces deux lois est extrêmement importante : mais, alternativement, les chimistes ont attribué à l'une ou à l'autre un rôle prépondérant sans chercher à les concilier. Elles ne s'excluent pourtant à aucun degré l'une l'autre.

*Méthode graphique permettant la classification des corps simples suivant ces deux lois.*

La méthode suivante nous semble offrir l'avantage de mettre nettement en lumière, d'une manière objective, les deux lois : la loi périodique et la loi d'écart. Elle consiste à disposer les poids atomiques de la manière suivante :

Si nous partons d'une famille naturelle bien déterminée par l'analogie chimique des corps qui la composent, nous pouvons les aligner sur une ligne droite de manière à ce que la distance à l'origine soit exactement proportionnelle au poids atomique. Puis nous pouvons inscrire les autres corps simples en des points tels que les abscisses correspondent au poids atomique et les ordonnées à la différence entre le poids atomique du corps considéré et le poids ato-

mique du corps appartenant à la famille que nous avons choisie comme axe de la figure.

Nous obtenons ainsi un ensemble de lignes formant une table à double entrée qui nous permet de grouper les éléments d'une manière un peu analogue à celle de Mendéléeff, avec cet avantage que la courbe présente une continuité absolue. Les corps simples se trouvent groupés en familles naturelles et les lignes qui relient entre eux les corps ayant des analogies chimiques ne se coupent pas, sauf au niveau de l'iode et du tellure (nous verrons plus loin notre interprétation de l'exception que présente l'argon). Cette table satisfait donc à la loi périodique.

En second lieu, elle permet d'apprécier d'un seul coup d'œil : d'une part l'écart entre les poids atomiques des éléments d'une même famille ; d'autre part l'écart qui existe entre les poids atomiques moyens des différentes familles.

En effet, si l'écart entre la famille formant axe et ceux de la famille considérée est constant, la ligne qui joint les poids atomiques des divers membres de cette famille est évidemment parallèle à l'axe. D'autre part les familles dans lesquelles l'écart entre les poids atomiques des différents corps qui la composent est constante se présentent sous forme de lignes brisées dont les segments sont parallèles entre eux.

Il va sans dire que l'on peut faire varier la famille qui forme l'axe de la figure : les résultats sont toujours comparables. Nous donnons ci-contre une courbe générale en prenant pour axe la famille du carbone.

En faisant varier les axes, on s'aperçoit bientôt que les



# TABLEAU DES CORPS SIMPLES

## DÉMONSTRATION DES LOIS D'ÉCART, DE PÉRIODICITÉ ET DE $N+3$ ET $N+4$ .

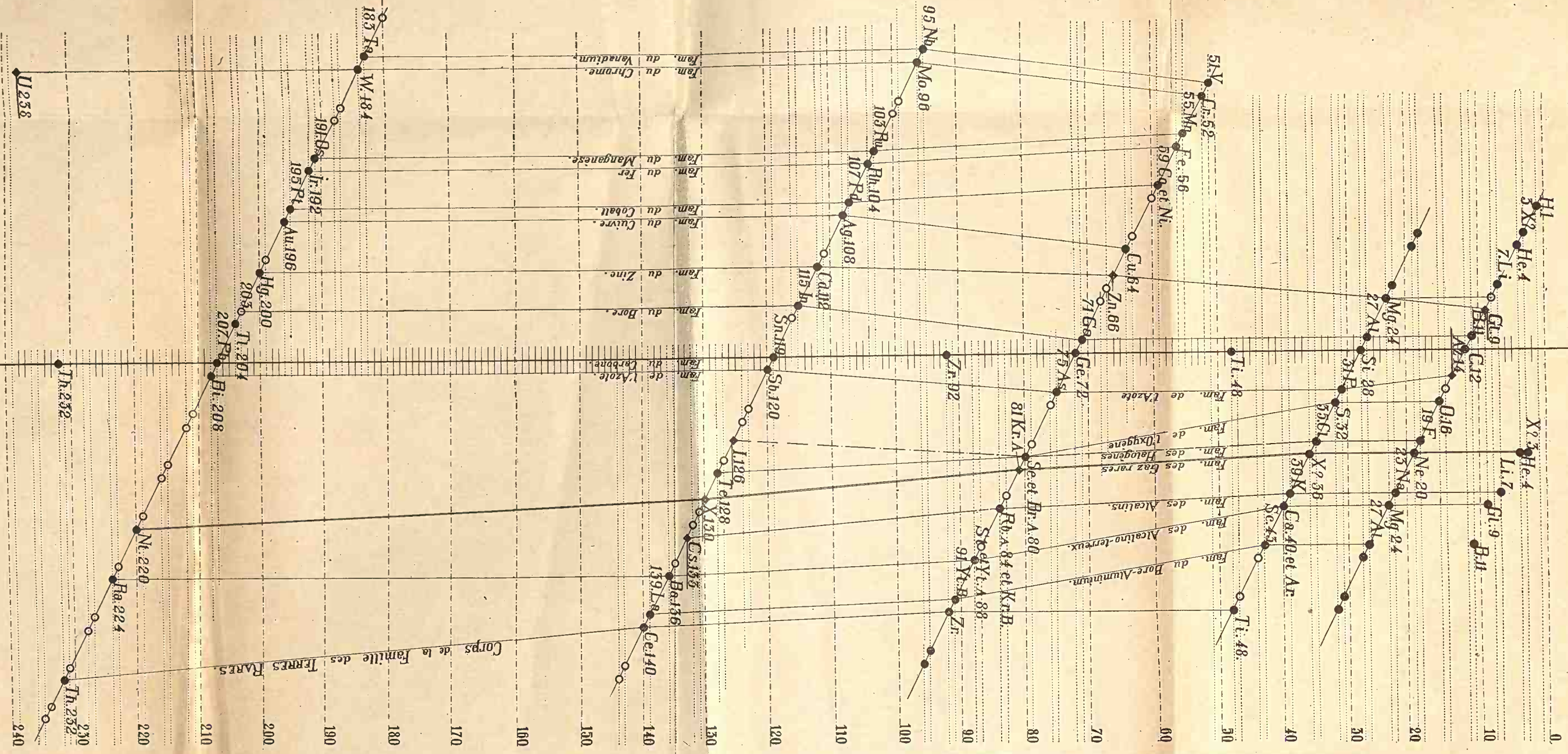


PLANCHE I.

Les cercles noirs représentent les corps connus et satisfaisant aux trois lois.  
 Les losanges indiquent les corps qui font exception à ces lois.  
 Les cercles blancs marquent les places assignées par l'hypothèse à des corps qui ne sont pas encore connus.



TABLEAU INDICANT LES PARENTÉS DES FAMILLES DE CORPS SIMPLES.

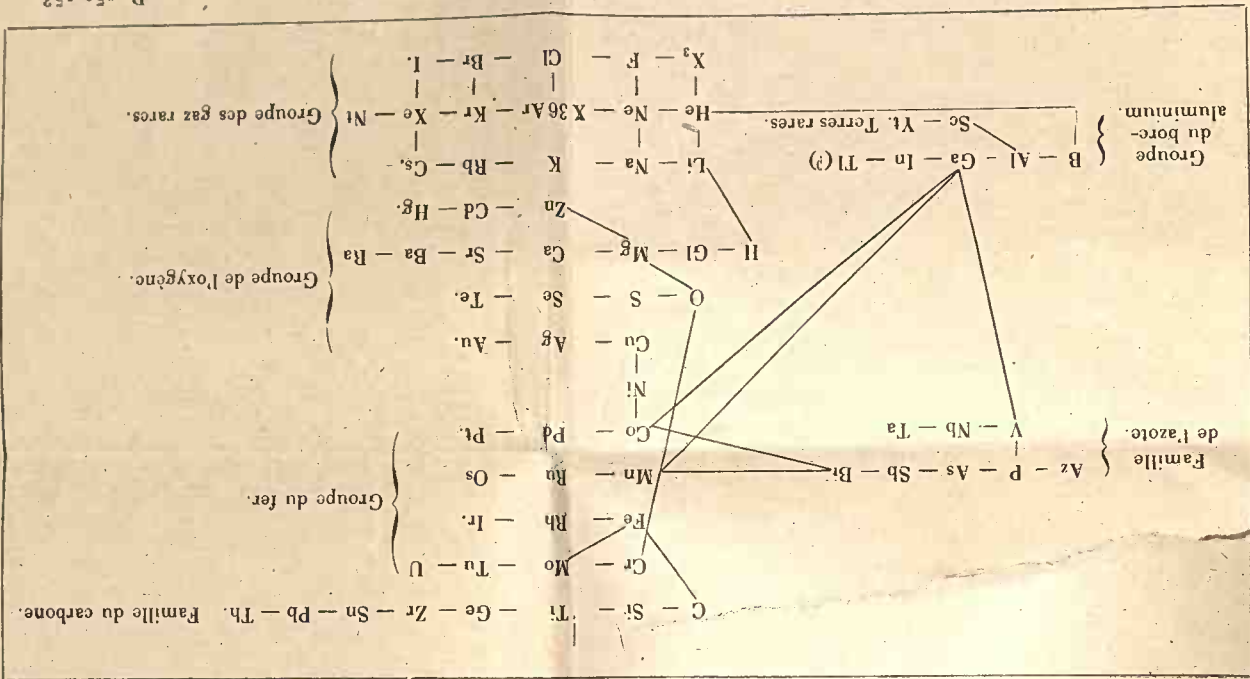


TABLEAU INDICANT LES RAPPORTS NUMÉRIQUES DES CORPS SIMPLES.

Carbone.	$C_{12} + 16 = Si_{28}$	$+ 20 = Ti_{48} + 44 = Zr_{92} + 48 = 140 Ce + 88 = 228$ Corps Radioactif.	$+ 44 = Ge_{72} + 47 = 119 Sn + 88 = 207 Pb + 25 = Th_{232}$ .
Oxygène.	$H_{11} + 8 = 9 Cl + 15 = 24 Mg + 16 = 40 Ca + 48 = 88 Sr + 48 = 136 Ba + 88 = 224 Ra$	$+ 48 = 64 Cu + 44 = 108 Ag + 88 = 196 Au$ $Zn_{66} + 46 = 112 Cd + 88 = 200 Hg$	
Azote.	$+ 20 = 51 V + 44 = 95 Nb + 88 = 183 Ta$ $Az_{14} + 17 = 31 P + 44 = 75 As + 45 = 120 Sb + 88 = 208 Bi$	$55 Mn + 48 = 103 Ru + 88 = 191 Os$ $C_{12} + 44 = Fe_{56}$ $+ 48 = 104 Rh + 88 = 192 Ir$ $59 Ni + Co + 48 = 107 Pd + 88 = 195 Pt$	
Fer.			
Gaz rares.	$3 X_3 + 16 = 19 F + 16 = 35 Cl + 45 = 80 Br + 46 = 126 I$ $4 Hc + 16 = 20 Ne + 16 = X_{36} + 45-48 = 81-84 Kr + 49-46 = 130 Xe + 90 = 220 Nt$ $+ 3 = 23 Na + 16 = K_{39} + 45-48 = Rb_{84-87} + 49-46 = Cs_{133}$ $+ 4 = 27 Al + 16 = 43 Sc + 45-48 = 88-91 Yt + 49-46 = 137$ et suiv. Terres rares.	$+ 44 = 71 Ga + 44 = 115 In + 88 = 203 Tl (?)$	

*habituelle, on constate que la plupart d'entre eux se groupent en familles dont tous les membres seraient inconnus.*

Un argument en faveur de cette manière de voir peut être trouvé dans le fait suivant : toutes les familles des corps simples ainsi définies présentent des analogies chimiques telles qu'on peut les considérer comme de véritables familles naturelles dont la constitution est simplement corroborée par l'application de la loi d'écart et de la loi périodique. On ne note qu'une seule exception. Il est vraiment difficile de placer, comme le font beaucoup d'auteurs, le thallium dans la même famille que le gallium et l'indium ; on est réellement obligé de forcer l'analogie. Cette anomalie disparaît si l'on admet au contraire que le thallium est le dernier corps d'une famille

$$204 - 88 = 116 - 48 = 68$$

les corps 68 et 116, indiqués par la formule  $4n + 3$ , restant encore inconnus, et qu'inversement le dernier terme,  $115 + 88 = 203$ , de la famille du gallium et de l'indium est encore inconnu.

*Nous voilà donc en possession d'un certain nombre de notions suffisamment précises :*

*Nombre et forme des électrons, nombre et forme des unités de matière, groupement des corps simples en familles caractérisées par l'identité ou par l'analogie des surfaces de combinaison limitant le solide géométrique qui représente les atomes.* Nous pouvons maintenant aborder le problème que suscite chaque cas particulier et déterminer la forme qui, pour chaque atome, satisfait le plus complètement à tous les desiderata.

---

## CHAPITRE VIII

### LA FAMILLE DU CARBONE

La famille du carbone, formée par la réunion des deux sous-familles du titane et du germanium comprend le carbone, C — 12 ; le silicium, Si — 28 ; le titane, Ti — 48 ; le germanium, Ge — 72 ; le zirconium, Zr — 92 ; l'étain, Sn — 119 ; le plomb, Pb — 207 et le thorium Th — 232.

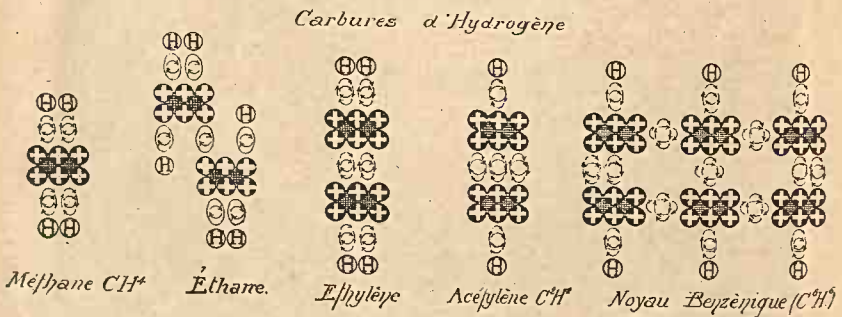
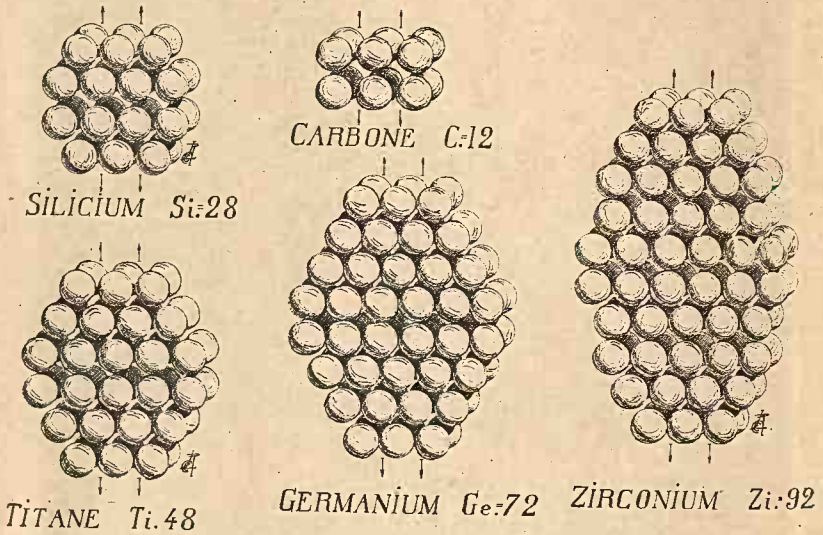
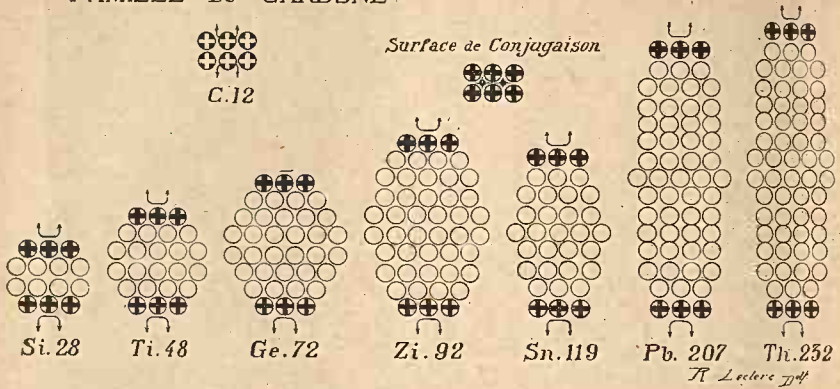
Elle forme une série très complète de corps simples reliés entre eux par des analogies physiques et chimiques.

Au point de vue physique, ce sont des corps solides à éclat métallique ou semi-métallique, de densité sensiblement croissante avec le poids atomique : C = 2 ; Si = 2,6 ; Ti = 4,87 ; Ge = 5,4 ; Zr = 4,14 ; Sn = 7,29 ; Pb = 11,34 ; Th = 11.

Au point de vue chimique, les analogies consistent surtout dans la tétravalence, la tendance à s'unir à l'hydrogène pour donner des hydrures (sauf Sn et Pb) et à l'oxygène pour former des oxydes incolores, insolubles dans l'eau, dont quelques-uns sont isomorphes (quartz, rutile, zircon) et donnent par hydratation des acides nombreux ; l'isomorphisme de leurs composés fluorés (Marignac), etc.

Le plomb est le corps qui s'éloigne le plus des autres termes de la série. Dans bien des cas, sa valence apparente

FAMILLE DU CARBONE





est de deux. Néanmoins, on connaît  $\text{PbO}^2$ ;  $\text{PbCl}^4$ , ce qui rend incontestable une tétravalence, latente dans la plupart des cas. Le minium et l'oxyde puce sont colorés, mais l'hydrate de protoxyde de plomb est blanc. Toutefois, le plomb se rapproche beaucoup de l'étain auquel il s'allie en toutes proportions. Les deux corps ne forment pas d'hydrures et se comportent tantôt comme bivalents, tantôt comme tétravalents, la valence deux étant plus fréquente pour le plomb, la valence quatre plus habituelle pour l'étain qui forme ainsi une transition entre le plomb et les autres corps de la famille. Enfin le plomb se trouve à côté de l'étain si l'on applique tant la loi périodique que celle des écarts, ce qui achève de légitimer la place du plomb dans la famille du carbone.

*Carbone* — 12 U. M. + 4 E.

Le carbone (*fig. 14* et planche II) est le type de la famille

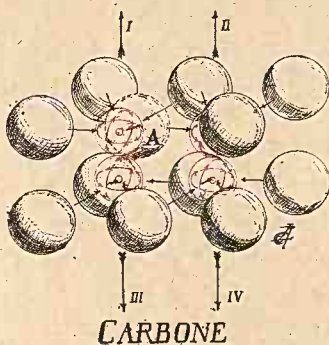


Fig. 14.

chez lequel nous pouvons étudier avec le plus de simplicité la configuration des surfaces de combinaison. Sa tétra-



valence constante est certainement un des faits les mieux établis de la chimie rationnelle. Les démolisseurs de lois scientifiques ont vainement cherché de tous côtés des faits permettant d'attribuer au carbone une valence moindre ou supérieure ; ils n'ont pu atteindre cette règle sur laquelle repose, comme nous le verrons, toute la chimie organique. Seule la constitution de l'oxyde de carbone CO restait troublante et l'on cherchait à l'expliquer par une tétravalence de l'oxygène.

L'hypothèse des électrons extra-atomiques et inter-atomiques rend bien compte des faits de cet ordre. Deux valences sur une même face peuvent très bien être neutralisées par un électron accolé à cette face et devenir latentes pour entrer en action dès que l'affinité d'un autre corps les sollicite. On a ainsi, comme nous l'avons vu plus haut :  $|C=O$  et  $O=C=O$  (page 103).

Le poids atomique 12 et la valence 4 du carbone étant pairs, on est fondé à attribuer à l'atome de carbone une structure présentant des plans de symétrie. Or les solides symétriques pouvant être obtenus par l'assemblage de 12 sphères sont peu nombreux. Ce sont : une plaquette composée de quatre rangs de trois sphères, un prisme composé de quatre rangs de trois, de trois rangs de quatre ou de deux rangs de six.

Éliminons la première figure comme trop peu solide et la deuxième qui ne pourrait, à cause de l'exiguité des surfaces, nous donner une valence égale à quatre. La troisième reste vraisemblable et se confond, du reste, avec la quatrième si l'on attribue à la surface six la forme d'un rectangle composé de six sphères. Le cas où la sur-

face six revêtirait la forme d'un triangle doit être repoussé, car il ne se prête pas à la construction des autres corps de la famille et est peu satisfaisant au point de vue de la symétrie et de la valence.

Le prisme obtenu par la jonction de deux plaquettes rectangulaires de six sphères ou de trois plaquettes de quatre sphères constitue une représentation très satisfaisante de toutes les propriétés du carbone, ainsi que nous avons pu nous en assurer en établissant, d'après cette



Fig. 15.  
 $\text{CO}^3\text{H}^2$   
Acide carbonique.



Fig. 16.  
 $\text{CS}^2$   
Sulfure et carbone.

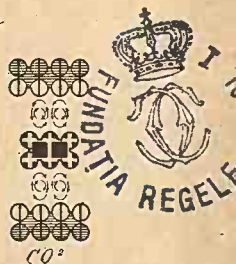


Fig. 17.  
 $\text{CO}^2$   
Anhydride carbonique.

forme, tout un atlas de chimie organique qui illustrera le quatrième volume de cet ouvrage.

Habituellement, les valences sont groupées symétriquement sur deux des grandes faces opposées (méthane, éthylène (planche II), acide carbonique (*fig.* 15), anhydride carbonique (*fig.* 17), sulfure de carbone (*fig.* 16). Exceptionnellement, elles peuvent être réparties à raison de une sur l'une des grandes faces et trois sur la face opposée comme dans l'acétylène (planche II). Enfin, dans certains groupements moléculaires, les électrons inter-

atomiques peuvent s'insérer sur les petites facettes de quatre sphères. On peut ainsi obtenir pour le noyau benzénique une figuration absolument satisfaisante qui permet de représenter les faits mieux que toutes les figures obtenues à l'aide de la forme tétraédrique du carbone (planche II).

En effet, si, comme l'avaient indiqué théoriquement Le Bel et Vant' Hoff, et comme l'avaient développé leurs disciples, on attribue au carbone une forme tétraédrique, impossible du reste à réaliser par l'assemblage de douze sphères, on ne peut construire avec une apparence de vraisemblance la molécule benzénique. Le noyau en est, en effet, assez solide pour se conserver intact au milieu des réactions chimiques amenant la dislocation de la molécule. Or, avec six tétraèdres réguliers, on ne peut obtenir que des solides éminemment instables, comme on peut s'en convaincre d'après les figures du volume de Stewart dans lequel sont réalisées toutes les combinaisons possibles. Nous aurons à revenir du reste sur cette importante question dans le volume IV.

Si, au contraire, on leur compare notre figuration du noyau benzénique, on voit avec quelle facilité elle procède de celle de l'acétylène par un léger déplacement de quelques électrons inter-atomiques, tendant à revenir à leur position symétrique.

*Silicium* — 28 U. M. + 12 E.

Le silicium dérive du carbone auquel viennent s'ajouter seize unités de matière. Les surfaces de combinaison restant les mêmes, il suffit d'intercaler entre les deux pla-

quettes de six sphères du carbone un prisme rectangulaire de seize unités qui, comme nous le verrons bientôt, correspond à l'oxygène. Nous obtenons ainsi un prisme hexagonal, composé de deux plaquettes de quatorze sphères et donnant une représentation excellente des propriétés du silicium (planche II).

Ajoutons que le silicium s'apparente au soufre dont deux des angles seraient brisés (voir chap. IX) et qu'en doublant l'atome de silicium, on obtient l'atome de fer :  $28 \times 2 = 56$ .

*Titane* — 48 U. M. + 22 E.

Si nous coupons l'atome de silicium par un plan médian perpendiculaire à la base du prisme et que nous intercalions entre les deux plaquettes de huit un prisme composé de vingt unités en deux plaquettes de dix, nous obtenons un solide prismatique octogonal dont la forme rappelle tout à fait l'atome de silicium, ce qui explique la grande similitude qui existe entre ces deux corps simples au point de vue de leur gisement et de leurs propriétés chimiques.

En doublant le titane, nous obtenons, comme nous le verrons plus loin, le molybdène :  $48 \times 2 = 96$ .

*Germanium* — 72 U. M. + 34 E.

Si, tout en conservant la forme octogonale de la surface, nous agrandissons encore cette dernière par l'adjonction dans le plan médian d'un prisme de vingt-quatre unités, nous obtiendrons un prisme octogonal, composé de deux plaquettes de trente-six et qui permet de figurer avec succès les propriétés du germanium.



L'écart avec le poids atomique admis par la Commission internationale n'est, en effet, que de 0,5, ce qui n'est pas énorme pour un élément rare et difficile à obtenir à l'état de pureté. Par la loi des écarts, en partant du silicium, on obtient également 72 (28 + 44).

C'est au chiffre de 72 qu'était pareillement arrivé Mendéléeff, lorsqu'il avait, avant sa découverte en 1885, prévu l'existence du germanium, auquel il avait donné le nom d'Ekasilicium.

*Zirconium — Zr — 92 U. M. + 44 E.*

Sa tétravalence, l'isomorphisme de ses composés (oxydes, composés fluorés) avec ceux du silicium et du titane placent évidemment le zirconium dans la même famille que les corps précédents. Le poids atomique admis doit être un peu trop faible, ce qui s'explique facilement par la difficulté avec laquelle on le sépare du silicium et du titane qui l'accompagnent dans ses gisements. Le chiffre de 92 est vraisemblable, car on trouverait alors le même écart entre ce corps et le titane qu'entre le silicium et le germanium; il est également d'accord avec les règles de la valence paire et de  $4n$  et  $4n + 3$ .

Ajoutons, pour achever l'analogie avec les corps précédents et donner un argument de plus en faveur du poids atomique 92, qu'en doublant le zirconium, on obtient le tungstène, corps que ses propriétés rapprochent beaucoup du molybdène, obtenu en doublant le titane.

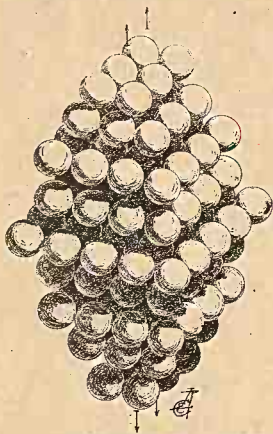
Cela nous rend relativement facile la construction d'un solide représentant l'atome de zirconium. De même que nous avons obtenu le titane en ajoutant un prisme de



vingt au silicium, nous pouvons obtenir le zirconium en opérant de même vis-à-vis du germanium. Nous avons alors une figure qui rend très bien compte de l'isomorphisme avec les corps précédents (planche II).

*Étain — Sn — 119 U. M. + 57 E.*

Avec l'étain, nous assistons à un changement de forme nécessité par la fragilité excessive qui résulterait de l'extension progressive de deux dimensions du solide par



ÉTAÏN Sn.119

Fig. 18.

rapport à la troisième. A ce changement, se relie naturellement la modification des propriétés chimiques qui rapproche l'étain, le plomb et le thorium du groupe des métaux alors que les premiers membres de la famille présentent plutôt les caractères des métalloïdes.

Les surfaces de combinaison restant les mêmes, nous devons chercher la forme la plus satisfaisante pour un agrégat de  $119 - 12 = 107$  unités sphériques. Une com-

binaison qui semble à la fois très solide et très rationnelle en ce qu'elle met principalement en action des plaquettes carrées, est donnée par une plaquette équatoriale de 25 ( $5 \times 5$ ) portant sur chacune de ses faces un agrégat de deux plaquettes de 16 ( $4 \times 4$ ) et une de 9



PLOMB. Pb. 207

Fig. 19.



THORIUM. Th. 232

Fig. 20.

( $3 \times 3$ ). La surface de combinaison de six sphères repose très solidement sur cette dernière (fig. 18).

En doublant l'atome d'étain, nous obtenons l'uranium (238) corps de la famille du molybdène et du tungstène qui reçoit ainsi une forme très rationnelle.

*Plomb — Pb — 207 U. M. + 101 E.*

La parenté qui existe entre le plomb et l'étain permet de faire dériver l'atome de plomb de l'atome d'étain. Les deux poids atomiques diffèrent entre eux du nombre fatidique 88 qui sépare régulièrement les poids atomiques d'une même famille. Or, 88 c'est deux fois 44 ou  $2 \times (16 + 12 + 16)$ . En intercalant dans les deux moitiés symétriques, au-dessus et au-dessous de la plaquette équatoriale de l'étain, le solide 44, nous obtenons pour le plomb une forme absolument satisfaisante (*fig. 19*).

*Thorium — Th — 232 U. M. + 114 E.*

Le thorium peut être avec vraisemblance rattaché à cette famille. L'analogie de la tharine et de la silice, la quadri-valence du thorium bien établie par l'existence d'un hydrure  $\text{Th H}^4$  légitiment ce rapprochement.

Le poids atomique du thorium diffère de celui du plomb de 25 unités. En doublant la plaquette équatoriale du plomb, on obtient un solide exprimant bien les propriétés et les analogies chimiques du thorium (*fig. 20*).

---

binaison qui semble à la fois très solide et très rationnelle en ce qu'elle met principalement en action des plaquettes carrées, est donnée par une plaquette équatoriale de 25 ( $5 \times 5$ ) portant sur chacune de ses faces un agrégat de deux plaquettes de 16 ( $4 \times 4$ ) et une de 9



PLOMB. Pb. 207

Fig. 19.



THORIUM. Th. 232

Fig. 20.

( $3 \times 3$ ). La surface de combinaison de six sphères repose très solidement sur cette dernière (fig. 18).

En doublant l'atome d'étain, nous obtenons l'uranium (238) corps de la famille du molybdène et du tungstène qui reçoit ainsi une forme très rationnelle.



*Plomb — Pb — 207 U. M. + 101 E.*

La parenté qui existe entre le plomb et l'étain permet de faire dériver l'atome de plomb de l'atome d'étain. Les deux poids atomiques diffèrent entre eux du nombre fatidique 88 qui sépare régulièrement les poids atomiques d'une même famille. Or, 88 c'est deux fois 44 ou  $2 \times (16 + 12 + 16)$ . En intercalant dans les deux moitiés symétriques, au-dessus et au-dessous de la plaquette équatoriale de l'étain, le solide 44, nous obtenons pour le plomb une forme absolument satisfaisante (*fig. 19*).

*Thorium — Th — 232 U. M. + 114 E.*

Le thorium peut être avec vraisemblance rattaché à cette famille. L'analogie de la thorine et de la silice, la quadrivalence du thorium bien établie par l'existence d'un hydrure  $\text{Th H}^4$  légitiment ce rapprochement.

Le poids atomique du thorium diffère de celui du plomb de 25 unités. En doublant la plaquette équatoriale du plomb, on obtient un solide exprimant bien les propriétés et les analogies chimiques du thorium (*fig. 20*).

---



## CHAPITRE IX

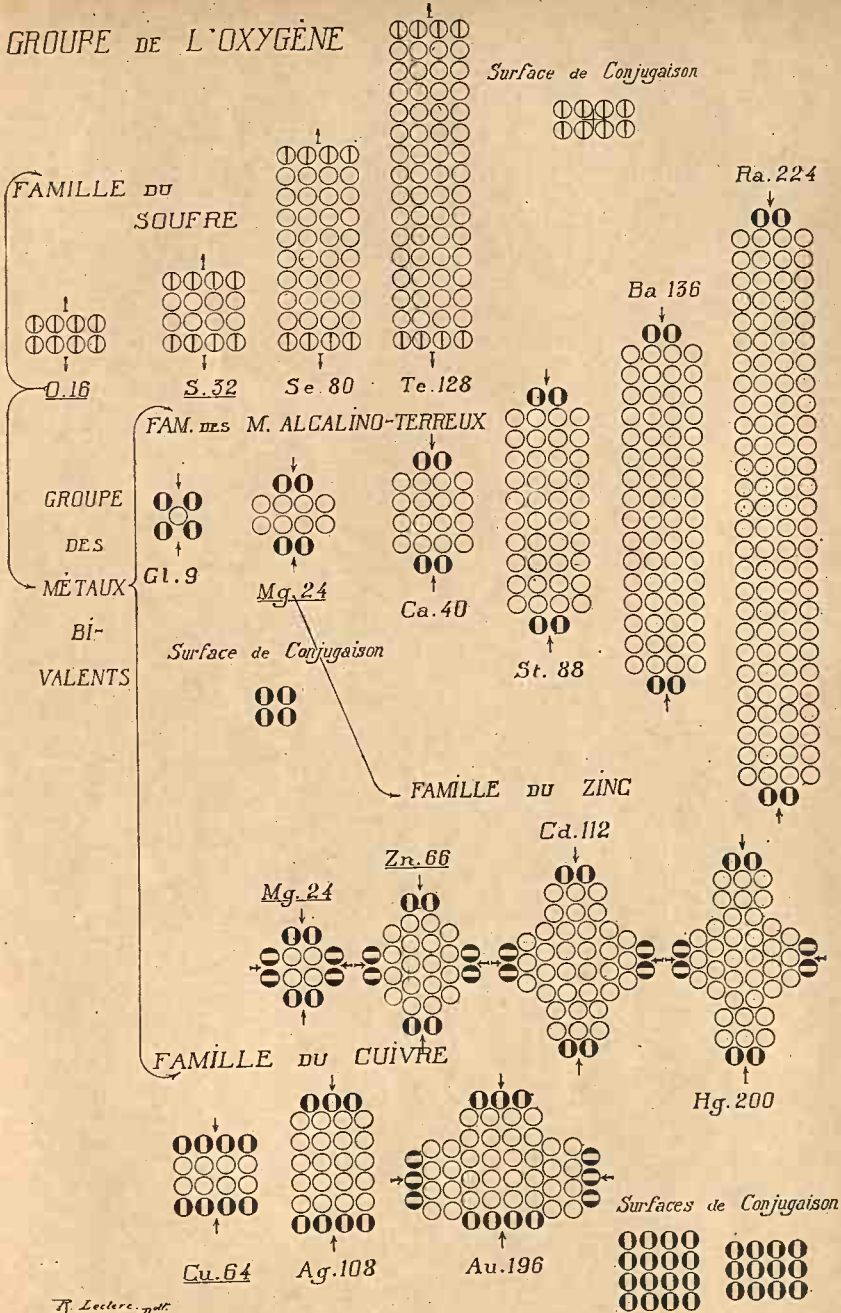
### LE GROUPE DE L'OXYGÈNE

Le groupe de l'oxygène (planche III) comprend d'une part la famille de l'oxygène proprement dite, composée de ce gaz et de ses homologues chimiques : le soufre, le sélénium et le tellure, et d'autre part les métaux bivalents qui se divisent eux-mêmes en trois familles, celle des métaux alcalino-terreux : magnésium, calcium, strontium, baryum, radium ; celle du zinc qui avec le cadmium et le mercure représente une bifurcation de la précédente au niveau du magnésium et enfin celle plus irrégulière du cuivre, comprenant également l'argent et l'or.

#### *FAMILLE DE L'OXYGÈNE.*

L'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure (*fig. 21*) forment une famille très naturelle de métalloïdes, caractérisée principalement par la bivalence des éléments qui la composent. Peuvent-ils dans certains cas présenter une valence plus élevée ? La réponse est douteuse. Nous verrons en effet à propos des oxydes et des sulfures qu'aucun phénomène de la chimie minérale n'est incompatible avec la bivalence de l'oxygène et du soufre. Sur cette base, les molécules  $O^3$  (*fig. 22*),  $H^2O^2$  (*fig. 23*)

# GROUPE DE L'OXYGÈNE



A. Leclerc. 278

CO (*fig. 24*), SO<sup>2</sup> (*fig. 29*), SO<sup>4</sup>H<sup>2</sup> (*fig. 25*), etc., reçoivent des formes très rationnelles.

Il ne resterait que quelques composés organiques, les sulfines, dont la constitution admise semble exiger la

**GROUPE DE L'OXYGÈNE**



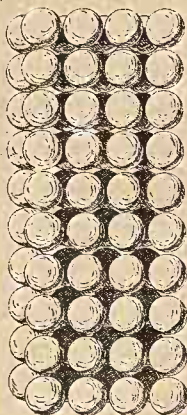
**OXYGÈNE**

O. 16



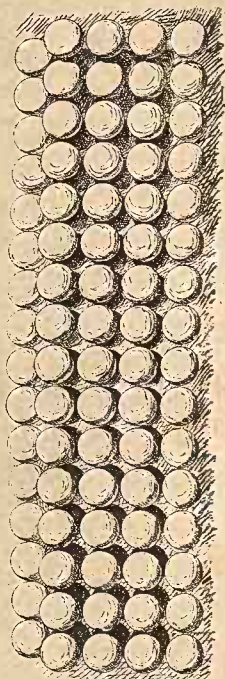
**SOUFRE**

S. 32



**SÉLÉNIUM**

Se. 80



**TELLURE**

Te. 128

Fig. 21.

tétravalence du soufre. On pourrait donc admettre que les corps de cette famille possèdent un électron extra-atomique très vigoureusement lié à l'atome, mais n'en faisant pas partie intégrante. Ainsi pourraient s'expliquer

certaines phénomènes de polymérisation, certains hydrates complexes. Mais tous les faits sur lesquels repose cette hypothèse méritent d'être examinés à nouveau de fort près, car la majorité des phénomènes chimiques ordinaires sont en faveur de la bivalence constante et nous verrons à propos des complexes que des considérations topographiques peuvent créer des exceptions apparentes aux lois de la valence.

La parenté entre l'oxygène, le soufre et le tellure se retrouve nettement dans leurs caractères

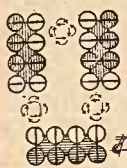


Fig. 22.  
 $O^3$   
Ozone.

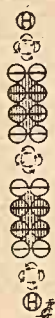


Fig. 23.  
 $H^2O^2$   
Eau oxygénée.



Fig. 24.  
CO  
Oxyde  
de carbone.



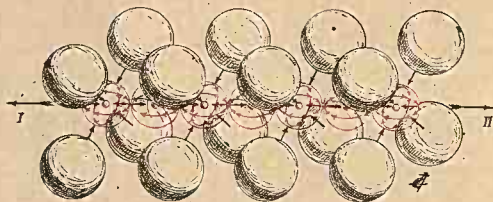
Fig. 25.  
 $SO^2H^2$   
Acide  
sulfurique.

franchement métalloïdiques et leur faible conductibilité. Avec l'hydrogène, ils donnent des hydrures faiblement acides et de multiples acides forts avec l'oxygène. Beaucoup de sulfures sont isomorphes avec les sélénures et les tellures. En dehors de l'oxygène qui est gazeux, leur densité croît régulièrement avec le poids atomique :  $S = 2$ ;  $Se = 4,5$ ;  $Te = 6,25$ .



*Oxygène 16 U. M. 75 E.*

Pour déterminer le solide géométrique dont la forme doit correspondre à celle de l'atome d'oxygène (*fig. 26*) nous examinerons les groupements que l'on peut effectuer à l'aide de 16 sphères. On peut obtenir ainsi soit une



## OXYGÈNE O-16

Fig. 26.

surface carrée de 4 sphères de côté, soit un tronc de pyramide, formé d'une couche de 10 et d'une couche de 6, soit un prisme constitué par la superposition de 2 surfaces de 8 ou de 4 surfaces de 4. La première forme doit

Fig. 27.  
Eau.

être éliminée comme trop fragile : nous verrons néanmoins qu'elle joue un rôle important dans la constitution des corps à poids atomique élevé. Le tronc de pyramide ne saurait évoquer l'atome d'oxygène dont les deux valences égales réclament une symétrie plus marquée. Reste donc la dernière forme : celle du prisme qui correspond d'une manière complète aux propriétés de l'oxygène. La surface 4 offrant une insertion facile à un électron interatomique, l'oxygène pourra dans la majorité des cas se combiner par ses deux extrémités. Néanmoins





tion des électrons intra-atomiques pour les sphères positives. Nous avons vu plus haut comment ces hypothèses se trouvaient confirmées par les observations sur la composition des filons métalliques.

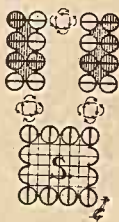


Fig. 30.



Anhydride sulfureux.

De même, il est peu vraisemblable que, dans l'acide sulfurique, SO<sup>4</sup>H<sup>2</sup> (fig. 25), les atomes d'oxygène soient groupés autour du seul atome de soufre.

En somme, l'atome de soufre possède deux valences qui sont le plus souvent réparties sur deux faces symétriques de 8, fonctionnant comme monovalentes. Plus rarement et comme mode de répartition secondaire, elles peuvent se grouper sur une des surfaces, fonctionnant comme bivalente (conf. CS<sup>2</sup>, SO<sup>2</sup>, fig. 30). Néanmoins, les corps ainsi constitués sont moins stables et accusent une tendance à se transformer en d'autres corps dans lesquels les valences seraient distribuées symétriquement (anhydride sulfurique, fig. 31).



Fig. 31.



Anhydride sulfurique.

### Sélénium 80 U. M. 39 E.

Le sélénium doit avoir un poids atomique égal à 80 au lieu de 79,2, 80 est en effet la moyenne proportionnelle

entre le poids du soufre et celui du tellure. Il présente avec lui l'écart de 48 normal dans le groupe de l'oxygène. L'atome de sélénium aurait donc le même poids atomique que l'atome de brome, il n'en différerait que par la forme. Dans ces conditions, le sélénium nous apparaît comme un polymère de l'oxygène  $16 \times 5$  et sa forme dérive tout naturellement de cette constatation. Elle peut être représentée par un prisme formé par la superposition de dix plaquettes de 8. Il est donc terminé par deux surfaces de 8, semblables à celles du soufre et fonctionnant le plus souvent comme monovalentes. La dissymétrie qui résulterait de la concentration des deux valences sur une seule face serait en effet trop grande, ce qui explique l'état solide de  $\text{SeO}^2$  et l'instabilité de  $\text{CSe}^2$  (*fig. 21*).

*Tellure 128 E. M. 63 E.*

Le tellure est également un polymère de l'oxygène  $16 \times 8 = 128$ ; un prisme composé de 16 surfaces de 8 exprime bien à la fois son poids atomique et ses propriétés chimiques. Tout ce que nous avons dit à propos du sélénium et du soufre est susceptible de s'appliquer au tellure dont les composés sont souvent isomorphes avec ceux des corps précédents. Mais l'asymétrie résultant de la répartition des deux valences sur une seule face semble encore plus difficile à obtenir que pour le sélénium (*fig. 21*).

*Famille des métaux alcalino-terreux (Planche IV).*

La famille des métaux alcalino-terreux forme une famille très naturelle, comprenant le magnésium, le cal-



FAMILLE DES ALCALINO-  
TERREUX



Ra. 224  
2<sup>e</sup> Hypothèse



GLUCINIUM Gl. 9



Mg. — Ca:  
— Zn.



CALCIUM  
Ca. 40



STRONTIUM  
St. 88



BARYUM  
Ba. 136

RADIUM  
Ra 224.

cium, le strontium et le baryum. On peut y rattacher le glucinium et le radium.

Le calcium, le strontium et le baryum accusent notamment une telle parenté que cette famille est certainement une des plus homogènes parmi celles que l'on peut constituer entre les corps simples. Ils forment avec l'oxygène des oxydes fortement basiques ; la plupart de leurs composés binaires et même ternaires présentent d'étroites analogies de composition et de propriétés : beaucoup sont isomorphes.

D'après le tableau, page 152, il est facile de se rendre compte que cette famille est intimement liée à celle de l'oxygène puisque l'on peut admettre que le poids atomique de tous les corps simples qui la composent peut être obtenu en ajoutant huit unités au poids atomique des corps simples qui leur correspondent dans la famille de l'oxygène.

D'autre part, tous les métaux de cette famille sont bivalents. Cette bivalence, toutefois, diffère de celle de la famille précédente en ce qu'elle s'exerce toujours dans deux directions symétriques et que jamais les deux valences ne se trouvent réunies sur la même face, ce qui éveille l'idée d'une surface de combinaison exigüe.

La forme qui conviendra le mieux à ces indications et à la relation qui existe entre cette famille et celle de l'oxygène sera un solide composé du prisme rectangulaire que nous avons vu représenter les corps O, S, Se, Te, et de deux surfaces de 4 sphères accolées aux deux surfaces de combinaison opposées du prisme.



*Magnésium Mg 24 U. M. 11 E.*

Le magnésium correspond, sauf les décimales que l'on a récemment ajoutées à son poids atomique, à l'oxygène augmenté de 8 unités. La forme que l'on obtient ainsi est celle d'une croix à branches égales. On peut donc concevoir que les quatre surfaces de quatre unités qui le limitent peuvent se suppléer les unes les autres à condition de fonctionner symétriquement. Ce caractère remarquable paraît correspondre à la propriété du magnésium de former facilement des composés organo-magnésiens.

*Calcium Ca 40 U. M. 19 E.*

Le calcium correspond aussi exactement que possible au soufre, augmenté de 8 unités  $32 + 8 = 40$ . La forme ainsi obtenue est très rationnelle.

*Strontium Sr 88 U. M. 43 E.*

Il en est de même du strontium qui correspond très exactement au sélénium.

*Baryum Ba 136 U. M. 77 E.*

Le baryum présente les mêmes rapports avec le tellure. Le solide que représente le baryum semble atteindre le maximum auquel peut parvenir un atome par l'accroissement d'une seule de ses dimensions, ce qui explique jusqu'à un certain point son mélange naturel avec les corps radio-actifs.

*Radium Ra 224 U. M. 111 E.*

Le radium se rattache à la famille des métaux alcalino-terreux par ses propriétés chimiques; d'autre part, l'écart

fatidique de 88 se retrouve entre le poids atomique du baryum et celui que nous attribuons au radium. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le poids atomique de la commission internationale est déterminé par rapport à l'oxygène. Plus les poids atomiques augmentent, plus la différence de 0,008 qui existe entre l'hydrogène, considéré comme unité, et l'hydrogène, comparé à l'oxygène, devient sensible: Elle est de 1,792 pour un corps composé de 224 unités de matière. On aurait donc, en reportant le poids atomique à l'oxygène, le chiffre de 225,79 qui, pour un corps aussi rare, peut être considéré comme se confondant avec celui de la commission internationale.

Il semble impossible d'attribuer à ce corps la forme d'un solide uniquement composé de prismes d'oxygène placés bout à bout comme aux corps des deux familles précédentes. On aboutirait à un édifice vraiment trop fragile. Or, bien que l'atome de radium soit radio-actif, c'est-à-dire se brise spontanément, la longueur de sa vie montre néanmoins qu'il possède une solidité relative.

Une représentation satisfaisante des propriétés du radium est au contraire obtenue en substituant des plaquettes carrées de 16 aux plaquettes rectangulaires de 8 et en terminant le parallépipède ainsi obtenu par deux surfaces de 12 unités sur lesquelles reposent les plaquettes terminales de quatre.

On a ainsi :  $4 \times 2 + 12 \times 2 + 16 \times 12$ .

*Glucinium ou beryllium. Gl ou Be. 9 U. M. 3 E.*

Le glucinium, que ses propriétés chimiques rattachent évidemment à la famille des métaux alcalino-terreux et

surtout au magnésium, présente quelques particularités intéressantes. Son poids atomique 9 lui assigne, comme la forme plus rationnelle, le groupement des deux surfaces de quatre, caractéristiques de la famille, autour d'un atome d'hydrogène, de même que nous avons vu les autres métaux alcalino-terreux résulter de l'accolement de ces deux plaquettes de quatre unités à un atome de la famille de l'oxygène.

Cela expliquerait pourquoi le poids atomique du glucinium est de 9 au lieu de 8 comme le réclamerait la règle  $4n$  et  $4n + 3$ . L'écart qui le sépare du magnésium se trouve donc réduit à 15 au lieu de 16.

Le glucinium est en même temps un excellent exemple du conflit qui peut exister entre l'affinité, correspondant à la charge positive de l'atome, et la valence topographique, force dirigée qui résulte de la forme de l'atome.

En effet, avec 9 unités sphériques, il est impossible de construire une figure asymétrique correspondant à une valence 3. Les figures possibles sont une plaquette de 9, un prisme composé de 3 surfaces de 3 ou le solide indiqué  $4 + 1 + 4$ . Toutes ces figures correspondent à des valences topographiques paires. Dans ses combinaisons, le glucinium se comporte donc comme bivalent. Il est probable que l'unité non saturée se neutralise par des électrons intermoléculaires et, de fait, l'ion glucinium est un coagulant extrêmement puissant. De tous les sels neutres que Cordier a expérimentés dans mon laboratoire, les sels de glucinium sont les seuls qui coagulent directement le lait sans addition de présure.

De plus, et c'est ici le cas de dire que l'exception con-

firme la règle, le glucinium, dans certains cas, se comporte comme un métal trivalent. On connaît ses analogies avec l'aluminium qui avaient poussé Berzélius à attribuer à son oxyde la formule  $Gl^2O^3$ . Lebeau a montré que le carbure de glucinium se rapproche beaucoup plus du carbure d'aluminium que des carbures des autres métaux alcalino-terreux. Wyruboff a invoqué l'isomorphisme des silicotungstates de glucinium et d'aluminium. Enfin, à la température ordinaire, le glucinium ne suit pas la loi de Dulong et Petit et la valeur de sa chaleur spécifique : 0,408 (Nilson et Patterson) correspondrait plutôt à un métal trivalent de poids atomique 13,8. Il est vrai qu'au-dessus de  $400^\circ$ , la valeur de ce coefficient devient 0,62, c'est-à-dire s'accorde avec le fait d'un métal bivalent de poids atomique 9.

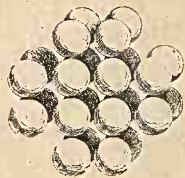
On le voit ; le glucinium présente un intérêt tout particulier au point de notre théorie de la valence. Il est électriquement trivalent et topographiquement bivalent, ce qui explique toutes les controverses qui se sont élevées à son sujet. Notre hypothèse fournit une interprétation satisfaisante de ces phénomènes en apparence contradictoires.

#### *Famille du zinc (Planche V).*

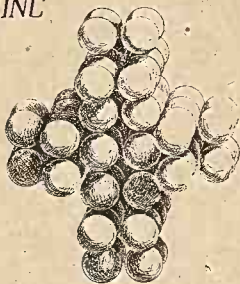
Nous avons vu que le magnésium diffère un peu des autres métaux alcalino-terreux. Ce corps semble être, en effet, le point de départ d'une bifurcation dans le groupe des métaux bivalents, se rattachant à la famille de l'oxygène. Il se rapproche du zinc, étroitement uni lui-même au cadmium formant ainsi une famille à laquelle on peut



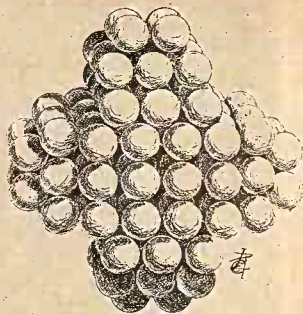
FAMILLE DU ZINC



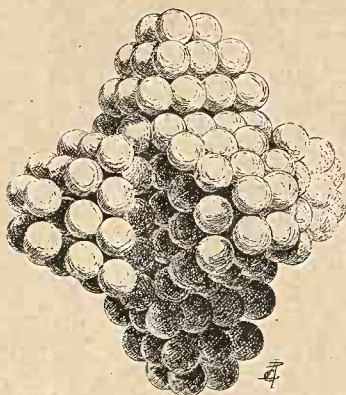
MAGNÉSIUM  
Mg. 24



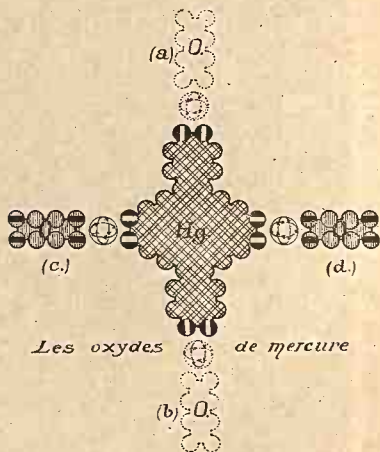
ZINC - Zn. 66



CADMIUM - Cd. 112

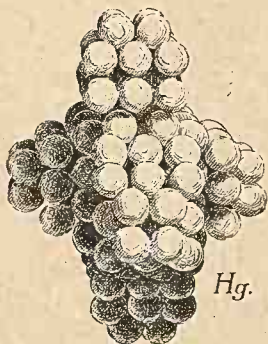


MERCURE Hg. 200



Les oxydes de mercure

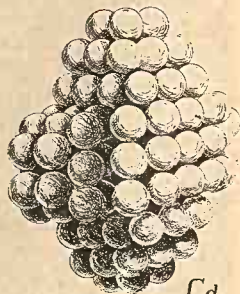
*Vues obliques.*



Hg.



Zn.



Cd.



ajouter le mercure, séparé du cadmium par l'écart typique de 88.

Ces trois métaux Zn, Cd, Hg présentent comme caractère commun la singularité de leur poids moléculaire, lorsqu'ils sont à l'état de vapeur. La densité de cette dernière établit sans conteste que les molécules qui la composent sont mono-atomiques, c'est-à-dire composées d'un seul atome.

D'autre part, ces métaux sont nettement bivalents. La monovalence du mercure dans le calomel et les sels mercurieux n'est en effet qu'apparente. Williamson a établi que la formule moléculaire du calomel est  $\text{Hg}^2\text{Cl}^2$ , ce qui confirme la bivalence du mercure.

*Zinc. Zn. 66 U. M. 32 E.*

L'analogie très grande que l'on peut constater entre les propriétés chimiques du magnésium et celles du zinc semble indiquer une ressemblance morphologique des deux atomes. Or la caractéristique du magnésium est de présenter une double symétrie en forme de croix à quatre branches égales, terminées chacune par une surface monovalente de quatre unités. Deux valences symétriques fonctionnent seules dans les combinaisons chimiques, et cet excès de symétrie permet d'interpréter la mono-atomicité des vapeurs de ces métaux de la même manière que la mono-atomicité de la molécule des gaz rares dont nous aurons à nous occuper bientôt.

L'atome de zinc est bien représenté par un noyau de 18 unités ( $9 \times 2$ ), autour duquel viennent se grouper quatre demi-atomes de magnésium  $8 + 4$ .

*Cadmium. Cd. 112 U. M. 55 E.*

L'atome de cadmium a forcément une forme générale très comparable à celle de l'atome de zinc, en raison des affinités très proches de ces deux métaux. Il est très bien représenté par un noyau de 24 unités ( $12 + 12$ ) formant le centre de quatre groupements semblables  $12 + 9 + 4$ .

*Mercure Hg 200 UM 99 E.*

Enfin l'atome de mercure présente une symétrie encore plus grande. L'état liquide de ce métal à la température ordinaire évoque l'idée d'un atome très symétrique, tendant vers la forme sphérique. On peut fidèlement représenter ses propriétés par le groupement autour d'un noyau formé de deux plaquettes de 25, de six éléments composés de plaquettes de 12, 9 et 4. On a ainsi :  $25 \times 2 + (12 + 9 + 4) \times 6 = 200$ . On se rend compte que, suivant que rentrent en action les valences du plan perpendiculaire ou celles du plan parallèle au noyau central, on peut obtenir des corps isomères présentant quelques différences dans leurs propriétés physiques et chimiques, tels que les deux oxydes HgO (planche V) et les deux iodures HgI<sub>2</sub>.

*FAMILLE DU CUIVRE (Planche VI).*

La famille du cuivre comprend, outre ce métal, l'argent et l'or. Les métaux qui la composent présentent l'état métallique aussi complet que possible. La nature diffuse de leur molécule se manifeste tant par les pro-

# FAMILLE DU CUIVRE

La  
Molécule de

Cu.



CUIVRE Cu. 64

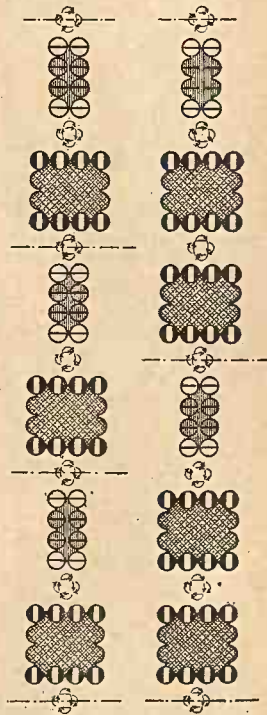
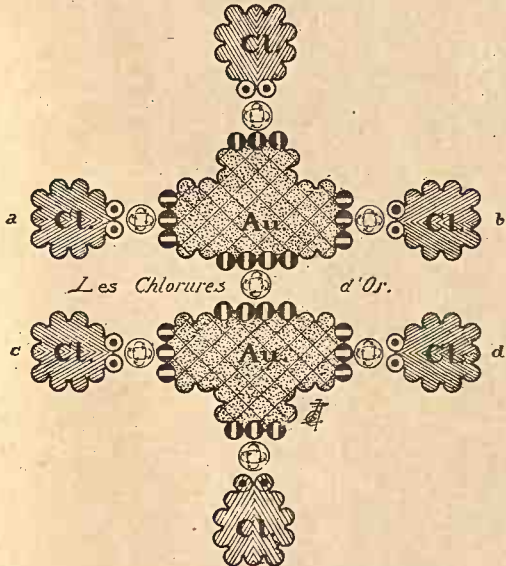


ARGENT Ag. 108



OR Au. 196

J. Loche D<sup>re</sup>



Ox. cuivrique  
Cu<sub>2</sub>O.

Ox. cuivreux  
Cu<sup>o</sup>O.

priétés optiques que par la conductibilité électrique et calorifique.

La détermination de la valence de ces corps présente quelques difficultés. Le cuivre se comporte tantôt comme monovalent :  $\text{Cu}^2\text{O}$ , tantôt comme bivalent :  $\text{CuO}$  ; l'argent semble presque toujours monovalent ; l'or est tantôt monovalent, tantôt trivalent. On se trouve donc en présence de valences tantôt paires tantôt impaires qui rendent l'interprétation plus délicate.

Voici comment, semble-t-il, on peut concilier ces faits avec la fixité de la valence.

Pour le cuivre, la chose est facile ; tantôt il existe dans les combinaisons à l'état d'atome isolé et alors il est diatomique, comme dans la série cuivrique ( $\text{CuO}$ ,  $\text{CuCl}^2$ ,  $\text{CuBr}^2$ ), tantôt il s'unit à un autre atome de cuivre à l'aide d'un électron interatomique et forme ainsi un groupe bivalent de deux atomes  $\text{Cu}^2$ . On obtient ainsi la série cuivreuse ( $\text{Cu}^2\text{O}$ ,  $\text{Cu}^2\text{Cl}^2$ ,  $\text{Cu}^2\text{Br}^2$ ). Le cuivre est donc toujours divalent (Planche VI).

L'argent se combinerait toujours sous cette forme  $\text{Ag}^2$  ; l'existence des sels doubles (chlorures, bromures, iodures, nitrates), ainsi que les résultats de la cryoscopie des sels d'argent dans les dissolvants organiques et l'isomorphisme des sels d'argent et des sels cuivreux, sont en faveur de cette hypothèse. L'argent serait donc toujours bivalent et échangerait une de ses valences avec un autre atome d'argent (*fig. 32*).

Enfin, l'or se combinerait aussi à lui-même pour former la molécule bivalente  $\text{Au}^2$ , ce qui expliquerait sa monovalence apparente. Mais en outre, l'atome d'or aurait en



plus deux valences secondaires, dues à la présence d'un électron extra-atomique, valences qui entreraient en action dans l'or triatomique (Voir les chlorures d'or  $\text{Au}^3\text{Cl}^2$  et  $\text{Au}^2\text{Cl}^6$  sur la planche VI).

Ceci dit, la forme des divers atomes de cette famille devient assez facile à obtenir.

*Cuivre. Cu. 64 U. M. 31 E.*

Le chiffre de 64 que nous admettons pour le cuivre correspond à  $16 \times 4$ , c'est-à-dire à un cube de quatre unités de côté. Le corps ainsi formé présente de grandes surfaces monovalentes, ce qui explique ses affinités moindres que celles des autres métaux bivalents. L'électron inter-atomique est, en effet, moins solidement inséré sur cette face qui, ne présentant qu'une charge positive sur une grande superficie, possède une densité électrique moindre. Il en résulte que ces électrons peuvent se déplacer facilement, ce qui est d'accord avec la grande conductibilité du cuivre. La parenté de l'atome de cuivre avec celui de soufre est très nette, puisque le cuivre, c'est le soufre doublé :  $32 \times 2 = 64$ . De même, il se rapproche de l'atome de fer que l'on peut obtenir en tronquant deux arêtes opposées ce qui diminue la fragilité et la déformabilité de l'atome. On comprend donc que, dans la nature, on trouve le cuivre le plus souvent lié intimement au soufre et au fer.

*Argent. Ag. 108 U. M. 53 E.*

L'adjonction d'un solide de 44 sur une des faces du cube crée une certaine asymétrie de l'atome qui, dès lors,



a une plus grande tendance à rester accolé à un autre atome semblable (*fig. 32*). La face qui reste libre donne au métal l'apparence d'un élément monovalent; mais il ne faut vraiment pas craindre de forcer les analogies pour se confier aveuglément à la loi périodique et placer l'argent et l'or près du sodium parmi les métaux alcalins.



*Or. Au. 196 E. M. 92 E.*

Pour obtenir l'or, il suffit d'accoler à deux autres faces du cube un solide de 44 unités, semblable à celui qui a transformé l'atome de cuivre en atome d'argent. On a alors un solide de 196 unités qui correspond d'une manière satisfaisante à l'atome d'or. Son asymétrie relative explique l'apparition de la trivalence par la mise en œuvre de deux valences

secondaires sur les faces latérales.

## CHAPITRE X

### LE GROUPE DE L'AZOTÉ

Le groupe de l'azote comprend deux familles très voisines : celle de l'azote proprement dit : azote, phosphore, arsenic, antimoine, bismuth ; et celle du vanadium, dont font partie le niobium et le tantale.

Tous ces corps sont de valence impaire et fonctionnent comme trivalents ou comme pentavalents. Leurs propriétés chimiques présentent de grandes analogies et la différence entre les deux familles porte surtout sur leurs combinaisons avec l'hydrogène. Les hydrures de la famille de l'azote, dont le type est l'ammoniaque, sont en général bien définis ; ceux de la famille du vanadium sont au contraire inexistants ou mal déterminés.

#### *FAMILLE DE L'AZOTE* (Planche VIII.)

La famille de l'azote est une famille naturelle composée de métalloïdes présentant entre eux des écarts réguliers.

Az 14 + 17 = 31 P + 44 = 75 As + 45 = 120 Sb + 88 = 208 Bi.

L'azote est gazeux ; les autres corps sont des solides à densité croissant avec le poids atomique : P = 2, As = 5,67, Sb = 6,72, Bi = 9,82. A partir de l'arsenic, ils

## GROUPE DE L'AZOTE

Surfaces de Conjugaison.



Az. 14



P. 31

Profil



As. 75

Profil



Sb. 120



Bi. 208



## FAMILLE DU VANADIUM

Surfaces de Conjugaison



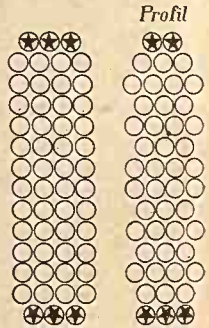
V. 51

Profil



Nb. 95

Profil



Ta. 183

possèdent l'éclat métallique, mais aucun ne présente les caractères d'un véritable métal ; tous sont cassants et ne sont ni malléables ni ductiles. Leurs hydrures, oxydes, sulfurés et les sels formés par leurs acides ont des propriétés très voisines. Le bismuth, toutefois, que son énorme poids atomique place un peu à part, ne forme pas d'hydrure et ses oxydes ne présentent pas de caractère

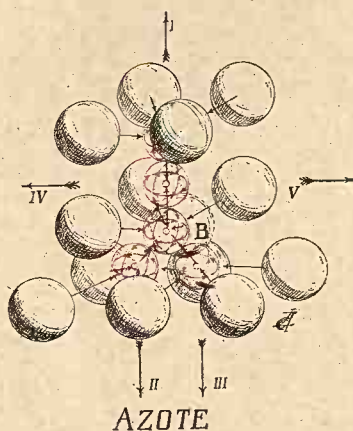


Fig. 33.

acide : néanmoins sa trivalence, la loi périodique et la loi d'écart en font certainement le dernier terme de cette famille.

*Azote. Az. 14 U. M. 5 E.*

L'azote (*fig. 33*), comme nous l'avons déjà vu, présente un certain nombre d'anomalies. Il a, en effet, une valence impaire et un poids atomique pair. Cette exception à une règle, d'ailleurs bien établie, évoque immédiatement l'idée



GROUPE DE L'AZOTE



AZOTE  
Az. 14.



PHOSPHORE  
P. 31.



ARSENIC As. 75



ANTIMOINE Sb. 120



BISMUTH Bi. 208

TANTALE  
Ta.  
185

NIORIUM Nb 95

VANADIUM V. 51



CHAPITRE X



d'une asymétrie dans la forme, asymétrie qui commande la valeur impaire de la valence.

L'azote fait également exception à la règle  $4n + 3$  et à celle de l'écart de 16 avec le corps suivant : le phosphore, qui en est séparé par 17 unités. Toutes ces anomalies disparaîtraient pour un corps de poids atomique 15 ; mais ce corps acquerrait très difficilement une forme rationnelle et il n'y a à supposer ni une erreur dans le poids atomique de l'azote, ni l'existence de deux corps isotopes. Il vaut mieux voir là un exemple des cas où les propriétés



*Hypothèse de l'Azote.*

Fig. 34.

des corps sont la résultante de plusieurs facteurs qui ne sont pas forcément concordants. La discordance entre la valence globale (affinité), déterminée par le nombre des unités de matière, et la valence, dirigée par la morphologie de l'atome, se manifeste très nettement dans l'azote et explique dans une certaine mesure le rôle des composés ammoniés dans les complexes.

Le poids atomique de l'azote correspondant à la moyenne proportionnelle entre le poids de l'oxygène et celui du carbone, l'agrégat le plus rationnel pour représenter

l'atome d'azote semble être la réunion d'un demi-atome d'oxygène à un demi-atome de carbone, soit d'un solide de 8 à un solide de 6 (*fig. 34*). Le demi-atome de carbone ne peut consister qu'en une plaquette de 6, l'atome ne pouvant être divisé que de cette manière en deux parties égales. Le demi-oxygène peut être représenté soit par une



Fig. 35.  
 $AzH^3$   
Ammoniaque.

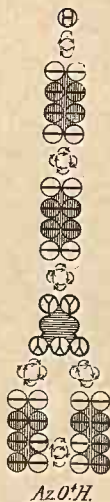


Fig. 36.  
 $AzO'H$   
Acide  
azotique.

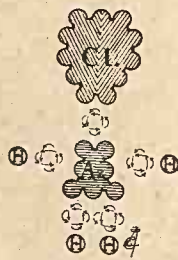


Fig. 37.  
 $ClAzH^3$   
Chlorhydrate  
d'ammoniaque.

plaquette de 8, soit par un cube de deux unités de côté. De nombreuses considérations, principalement empruntées à la chimie organique (structure des corps hétérocycliques, voir tome IV) nous ont déterminé à adopter cette dernière hypothèse.

La forme ci-contre de l'azote donne une représentation très satisfaisante de ses propriétés chimiques. Lorsque les

deux valences de la surface 6 entrent en action, elles déterminent par raison de symétrie une valence unique sur la surface 4 qui lui est opposée. Mais l'atome n'étant pas entièrement neutralisé, on voit apparaître sur les deux faces latérales une valence secondaire, pouvant déterminer des combinaisons sur ces faces. Prenons comme exemple

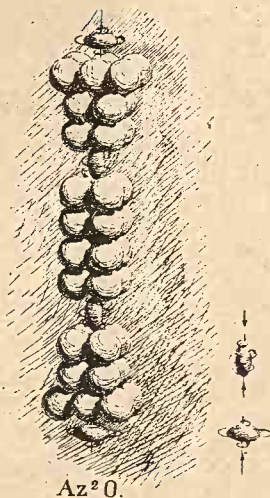


*Protoxyde  
d'Azote.*

Fig. 38.



Protoxyde d'azote.



$\text{Az}^2\text{O}$ .

Fig. 39.

Protoxyde d'azote.

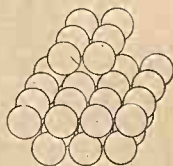
l'ammoniaque,  $\text{AzH}^3$  (fig. 35), l'acide azotique,  $\text{AzO}^4\text{H}$  (fig. 36) le chlorhydrate d'ammoniaque,  $\text{ClAzH}^4$  (fig. 37).

Dans certains cas également, les deux valences de la surface 6 peuvent être neutralisées par un seul électron comme dans le protoxyde d'azote  $\text{Az}^2\text{O}$  (fig. 38 et 39) dont on ne pourrait autrement comprendre la structure moléculaire.

Enfin l'asymétrie de l'atome dont la surface 6 peut se placer dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre permet d'interpréter facilement les isoméries que l'on rencontre dans les composés azotés organiques.

*Phosphore. P. 31 U. M. 13 E.*

Le second corps de la famille, le phosphore, est distant de 17 unités du corps précédent, mais il rentre dans la loi de la valence impaire et dans la règle  $4n + 3$ . Il contient donc un élément impair venant s'ajouter à l'atome d'azote. Il est très rationnellement représenté par les figures ci-contre des planches 7 et 8 qui tiennent compte de sa



*P. 2° hypothèse.*

Fig. 40.

quadruple atomicité répartie de la même manière que celle de l'azote. Elle permet de concevoir la formation des divers acides phosphoriques et de leurs sels (v. tome III). La formation des phosphures d'hydrogène nous fait donner la préférence à cette forme plutôt qu'à celle (*fig. 40*) d'un solide  $9 + 16 + 6$  qui rapprocherait pourtant le phosphore du vanadium ainsi que nous le verrons plus loin.

*Arsenic. As. 75 U. M. 35 E.*

L'arsenic présente avec le phosphore l'écart fréquemment rencontré de 44 unités que l'on peut décomposer



en  $12 + 16 + 16$ . L'adjonction à l'atome de phosphore d'un solide ainsi formé donne pour l'arsenic une forme parfaitement satisfaisante qui paraît très solide et donne une bonne interprétation des propriétés de l'arsenic.

*Antimoine. Sb. 120 U. M. 57 E.*

De même qu'on l'observe pour l'étain dans la famille du carbone, il y a là un changement dans la divisibilité du poids atomique qui d'impair devient pair. L'introduction des 45 unités nouvelles permet de rectifier en partie l'asymétrie de l'atome d'arsenic. Le solide planche VIII, composé de la manière suivante  $4 + 6 + 6 (+ 9 + 16 \times 5 + 9) + 6$  représente ce que nous savons des propriétés de l'antimoine.

*Bismuth. Bi. 208 U. M. 102 E.*

Comme tous les derniers corps d'une famille, le bismuth voit son atome formé par l'adjonction de 88 unités, soit deux fois 44, au corps précédent, l'antimoine.

En intercalant deux solides  $16 + 12 + 16$  dans l'atome d'antimoine on obtient très rationnellement  $4 + 6 + 6 (+ 9 + 16 + 16 + 16 + 12 + 16 + 16 + 16 + 12 + 16 + 16 + 16 + 9) + 6$ .

Le solide, ainsi composé, présente une prédominance considérable d'une de ses dimensions sur les autres. Il est, en effet, formé de 17 rangs d'unités de matière. Il semble que c'est là la limite extrême que l'on puisse atteindre et qu'au delà, les forces de répulsion entre éléments positifs l'emportant sur les forces d'attraction, le corps deviendrait radioactif. Si l'on étudie comparativement le baryum, le

radium, le plomb, le thorium, l'uranium et le bismuth on voit que l'on pourrait calculer approximativement par le nombre de rangs et le nombre des unités qui les composent le volume maximum que peut atteindre un atome stable. Au delà du bismuth, en effet, il n'existe plus d'édifice atomique stable et tous les corps connus sont radioactifs. L'atome de bismuth représente donc cette limite extrême.

#### *FAMILLE DU VANADIUM.*

Du vanadium se rapprochent deux autres corps relativement rares : le niobium et le tantale, qui possèdent une atomicité très nettement impaire. ce qui suppose une certaine asymétrie dans leur constitution.

Cette famille forme un groupement très naturel, s'accordant avec la loi périodique suivant laquelle elle représente la deuxième série du groupe de l'azote et avec la loi d'écart, si l'on attribue au niobium le poids atomique 95.

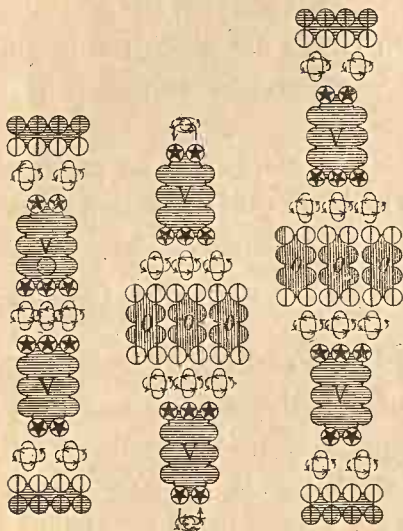
Les propriétés chimiques des corps qui la composent sont très analogues ; leur densité croît avec le poids atomique :  $V = 5,5$ ,  $Nb = 7,06$ ,  $Ta = 11$ . Elle est un peu plus considérable que celle des corps de la série du phosphore, ce qui évoque l'idée d'une structure un peu plus massive de l'atome. Il existe de nombreux cas d'isomorphisme ; les niobites et les tantalites qui constituent les minéraux naturels dont on extrait ces corps simples sont tout à fait comparables entre eux comme composition, gisement et distribution géographique.

Leur valence maxima est de cinq. Une forme ration-

nelle sera obtenue par un solide présentant deux surfaces de combinaison inégales, l'une correspondant à deux et l'autre à trois. Des surfaces de 9 et 6 unités satisfont parfaitement à ce desideratum.

*Vanadium. V. 51 U. M. 23 E.*

L'existence de  $V^2O^2$  (fig. 41),  $V^2O^3$  (fig. 42),  $V^2O^5$



$V^2O^2$

Fig. 41.

$V^2O^3$

Fig. 42.

$2VO^5$

Fig. 43.

(fig. 43) éveille l'idée d'un corps pouvant s'unir à lui-même par une surface bivalente ou trivalente, ou encore se combiner avec l'oxygène par ses deux surfaces.

Si du poids atomique 51 on déduit les unités formant les surfaces de combinaison  $9 + 6 = 15$ , on obtient comme valeur du poids mort 36, c'est-à-dire trois fois

douze ou quatre fois neuf. Les deux combinaisons sont admissibles; néanmoins, la première donne un solide plus stable; aussi lui donnerons-nous la préférence.

*Niobium. Nb. 95 U. M. 45 E.*

Le poids atomique du niobium adopté par la commission internationale est 93,5. La loi des écarts, la règle  $4n + 3$  réclameraient 95. On peut admettre ce dernier chiffre en raison des difficultés de purification du niobium qui contient souvent une petite quantité de titane.

En admettant le chiffre 95, on passe facilement du vanadium au niobium par l'adjonction du solide 44, on a ainsi une représentation très satisfaisante :

$$9 + 12 + 12 + 16 + 16 + 12 + 12 + 6.$$

*Tantale. Ta. 183 U. M. 89 E.*

Pour les mêmes raisons, nous sommes portés à augmenter légèrement le poids atomique du tantale. Le nombre 183 satisfait à la loi d'écart  $95 + 88$  et à la règle  $4n + 3$ . On obtient la représentation de cet atome par l'interposition de deux solides 44 dans le poids mort du niobium :

$$9 + 12 + 16 + 12 + 16 + 12 + 16 + 16 + 12 + 16 \\ + 12 + 16 + 12 + 6.$$


---

## CHAPITRE XI

### LE GROUPE DU FER

Le groupe du fer comprend quatre familles de trois ou quatre corps simples qui présentent entre elles une étroite parenté. On a même pu, en raison de leurs propriétés générales, rapprocher les éléments de poids atomiques voisins qui occupent le même rang dans ces diverses familles. Par exemple, les ressemblances du fer avec le chrome, le manganèse, le cobalt et le nickel sont suffisantes pour que Moissan les aient réunis dans la même famille. De même le platine, l'iridium, l'osmium et la série intermédiaire : palladium, rhodium, ruthénium, forment dans le traité de Moissan les métaux du platine.

L'analogie entre les métaux de même rang dans les quatre familles apparaît très nettement si l'on considère les densités, la famille du chrome donnant toujours le chiffre le plus faible :

1<sup>re</sup> série : Cr = 6,9 Fe = 7,8 Mn = 8 Ni = et Co = 8,8.

2<sup>e</sup> série : Mo = 9 Rh = 12 Ru = 12 Pd = 12.

3<sup>e</sup> série : W = 19 Os = 21 Pt = 21 Ir = 22.

Ur = 18,7.

Tous ces corps ont des propriétés métalliques bien nettes et leurs spectres sont des spectres de raies, en général fort compliqués.



# GROUPE DU FER

Surfaces de Conjugaison

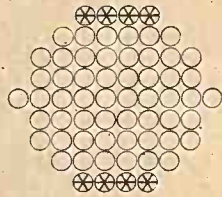


Fe. 56

Rh 104

Ir. 192

# FAMILLE DU CHROME



Cr 52

Mb. 96

W-184

U - 238

# FAMILLE DU MANGANÈSE

Surface de Conjugaison



Ru - 103

Mn - 55



# FAMILLE DU COBALT

Surfaces de Conjugaison



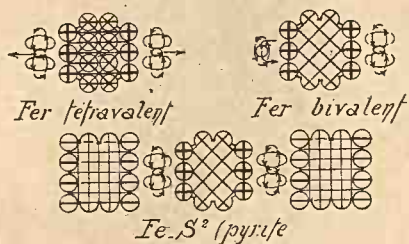
Co-59

Ni-59

Pd-107

Pt.-195

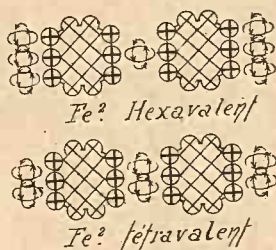
La valence est en apparence variable, mais présente toujours un maximum élevé. Parfois il s'agit de la neutralisation de plusieurs valences par un électron extra-



Valence de l'atome Fe.

Fig. 44.

atomique, mais le plus souvent, il semble que cette variabilité apparente de la valence soit due à l'union de plusieurs atomes entre eux. On a ainsi (*fig. 44 et 45*) :  $=Fe=$ ,  $\equiv Fe-Fe\equiv$ ,  $=Fe=Fe=$ ,  $|Fe=$ , etc.

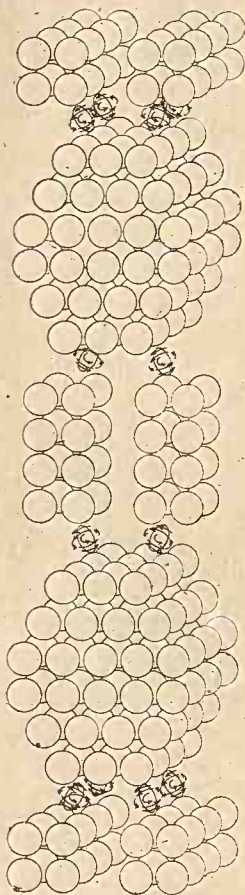


Valence du groupe Fe<sup>2</sup>.

Fig. 45.

L'étude des oxydes, des sulfures et surtout des composés halogénés permet de déterminer la valence maxima. On trouve ainsi que les corps de la famille du fer et de celle

du cobalt sont tétravalents, ceux de la famille du chrome



Acide molybdique  $\text{M}_2\text{O}_6$ .

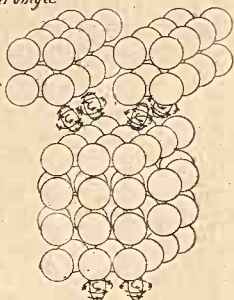
Fig. 46.

hexavalents, ceux de la famille du manganèse hepta et octovalents.

Ces valences considérables supposent, en dehors d'une forte charge positive de l'atome, l'existence de surfaces

de combinaison assez grandes, ce qui est d'accord avec la tendance de ces corps à former des molécules volumineuses, qu'il s'agisse de composés acides, comme les acides du molybdène (*fig. 46*) et du tungstène, ou de composés basiques comme le chromyle  $\text{CrO}^2$  (*fig. 47*) ou les complexes ammoniés de la série du platine. Tous, sauf le tungstène et l'uranium, forment avec le

*Chromyle*



Le groupe bivalent chromyle  $\text{CrO}^2$ .

Fig. 47.

cyanogène des composés à édifice moléculaire compliqué et à fonction acide.

### **FAMILLE DU FER** (Planches IX et X.)

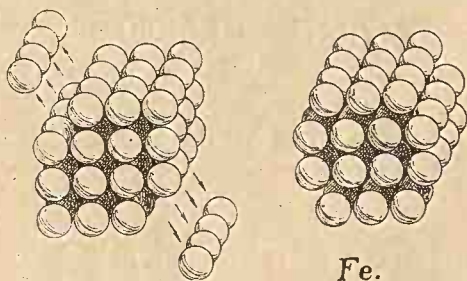
Cette famille est caractérisée par une quadrivalence pouvant se diviser également ou inégalement sur deux faces symétriques. Il résulte de ce mode de groupement que ces corps peuvent paraître nettement quadrivalents lorsque leur atome est isolé ( $\text{FeS}^2$ ) (*fig. 44*). Dans le cas où les combinaisons s'opèrent par groupe de deux atomes  $\text{Fe}^2$ , ils peuvent, au contraire, sembler bivalents si les

deux atomes sont unis par deux électrons interatomiques, ou trivalents si ces atomes ne sont unis que par un seul électron (*fig. 45*).

Pour la détermination des surfaces de combinaison, nous savons d'abord, par suite de l'existence des cyanures complexes et des autres composés analogues, qu'elles doivent être assez étendues. D'autre part, si nous considérons que l'atome de fer est très rationnellement représenté en doublant l'atome de silicium, nous sommes amenés à attribuer aux faces de combinaison une surface égale à deux fois celles de la famille du carbone. Elles seraient ainsi composées de douze unités, formant un parallélogramme rectangulaire.

*Fer. Fe. 56 U. M. 26 E.*

L'atome de fer (planche X), formé par la polymérisa-



*Fe.*

*Fig. 48.*

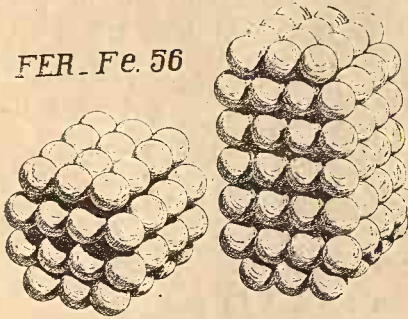
tion atomique de deux atomes de silicium, serait donc composé : dans un sens, de quatre plaquettes de 14 ; dans l'autre, de deux plaquettes de 12 séparées par deux plaquettes de 16. Le prisme hexagonal ainsi formé est très solide et difficilement déformable. On peut constater



RHODIUM. Rh.104



FER. Fe. 56

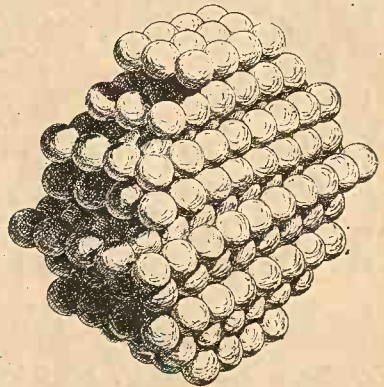
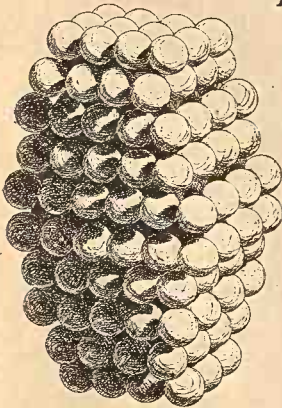


IRIDIUM - Ir. 192



CHROME. Cr.52

MOLYBDÈNE. Mo.96



TUNGSTÈNE. W.184

URANIUM. U.238.

CHAPITRE XI

qu'on peut facilement le faire dériver d'un cube de quatre unités de côté (*fig.* 48), en tronquant deux arêtes opposées. Comme nous l'avons vu, le cube de quatre unités de côté correspond à l'atome de cuivre, ce qui serait d'accord avec l'association fréquente de ces deux métaux dans les gisements naturels.

*Rhodium. Rh. 104 U. M. 50 E.*

La loi d'écart et la règle  $4n$  et  $4n + 3$  sont l'une et l'autre en faveur du chiffre 104 comme poids atomique du rhodium. Le chiffre adopté par la commission internationale est de 102,90. Il est bon toutefois de noter que la règle  $4n$  indique la place d'un corps simple de poids atomique 100. Ce corps, avec un autre élément inconnu du poids atomique 188, formerait une série dont le premier terme serait également le fer, séparé du second terme par l'écart fréquent de 44. Il est donc possible que le rhodium que nous connaissons soit le mélange de deux corps isotopes, 100 et 104, dans des proportions telles que la résultante donne le poids atomique 102,90.

L'atome de rhodium est facilement obtenu en intercalant trois plaquettes de 16 entre deux demi-atomes de fer. De même le corps 100 pourrait être formé en introduisant, entre ces deux demi-atomes de fer, le solide 44 ( $16 + 12 + 16$ ) qui intervient fréquemment. On se rend compte que les propriétés de ces deux corps seraient très analogues.

*Iridium. Ir. 192 U. M. 94 E.*

Le poids atomique 192 semble satisfaisant pour l'iri-

dium que l'on sépare assez difficilement du platine. Dans ces conditions, l'adjonction de deux solides de 44 à l'atome de rhodium donne une représentation de l'atome d'iridium. Cette adjonction peut se faire symétriquement soit dans le sens de la hauteur, soit sur deux faces latérales opposées.

### *FAMILLE DU CHROME* (Planches IX et X.)

Les corps de la famille du chrome sont hexavalents. Leurs composés les plus caractéristiques sont leurs trioxydes ;  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{UO}_3$  ; on connaît même un hexachlorure de tungstène. La formation de la plupart des corps de cette famille par le doublement d'un atome de la famille du carbone leur attribue deux surfaces de combinaison, formées de 12 unités, et les unit étroitement à la famille du fer.

#### *Chrome Cr. 52 U. M. 23 E.*

En ajoutant deux plaquettes de 12 à l'atome de silicium qui est le point de départ de la famille du fer, on obtient un solide représentant d'une manière satisfaisante l'atome de chrome.

#### *Molybdène. Mo. 96 U. M. 45 E.*

En ajoutant au poids atomique du chrome le nombre 44, nous obtenons le poids atomique du molybdène qui affirme ainsi son étroite parenté avec le chrome. Quant à la constitution de l'atome de molybdène, on l'obtient facilement en doublant l'atome de titane de la

même manière que nous avons doublé l'atome de silicium pour obtenir l'atome de fer.

*Tungstène. W. ou Tu. 184 U. M. 89 E.*

Le tungstène présente avec le molybdène l'écart normal de 88 et se rapproche beaucoup chimiquement de ce dernier corps, principalement par la formation d'acides à poids moléculaire élevé dans lesquels peuvent figurer le soufre, le phosphore, le bore, etc.

La forme de l'atome de tungstène est facilement déterminée par l'accolement de deux atomes de zirconium :  $92 \times 2 = 184$ . On obtient ainsi un solide très rationnel.

*Uranium. U. 238 U. M. 116 E.*

Les propriétés de l'uranium le rangent évidemment dans cette famille. Son hexavalence, l'analogie entre le chromyle bivalent  $\text{CrO}^2$  et l'uranyle bivalent  $\text{UO}^2$ , ne laissent à ce sujet aucun doute.

La parenté est encore accentuée, si l'on considère que l'on peut obtenir pour l'atome d'uranium une représentation satisfaisante en doublant l'atome d'étain

$$119 \times 2 = 238.$$

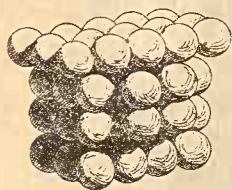
Le fer, le molybdène, le tungstène et l'uranium correspondent donc au doublement des premiers termes (sauf le carbone) de la famille du carbone.

**FAMILLE DU MANGANÈSE** (Planches IX et XI.)

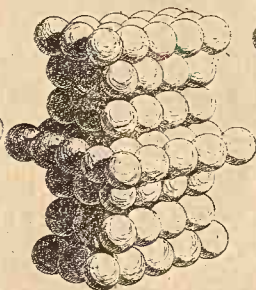
Le manganèse (planche XI) forme avec le ruthénium et l'osmium une famille caractérisée par l'énorme valence



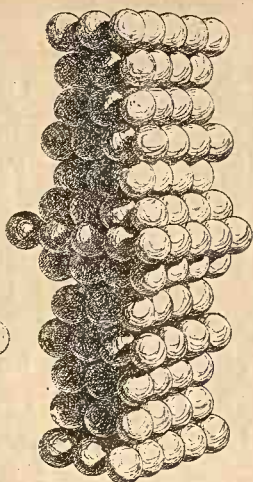
FAMILLE DU MANGANÈSE



Mn. 55  
MANGANÈSE



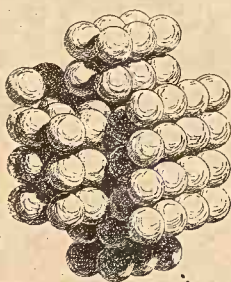
Rt. 105  
RUTHÉNIUM



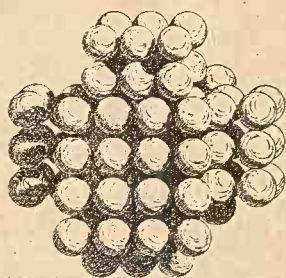
Os. 191  
OSMIUM



Co. 59  
COBALT



PALLADIUM

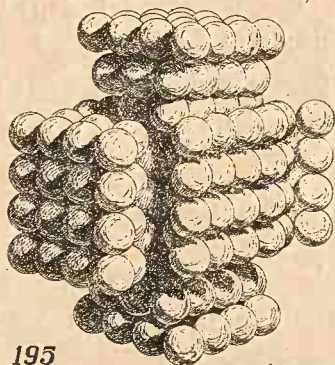


Pa. 107.



PLATINE

Pt. 195





de ses éléments. Que l'on se base sur leurs combinaisons avec l'oxygène (acides permanganique, ruthénique, osmique) ou sur l'étude de leurs chlorures, on arrive à une valence de 7 pour le manganèse (*fig. 49*) et de 8 pour les autres corps. Cette détermination semble d'un bon accord avec les faits. Il est, en effet, difficile de construire un atome symétrique avec 55 unités et, de plus, nous nous trouvons d'accord pour le manganèse avec la règle de la valence et du poids atomique impairs. Les faces de combinaison sont forcément très étendues.

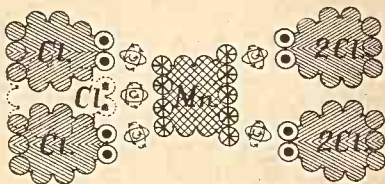


Fig. 49.

Une plaquette de 15 unités répond bien à ce desideratum.

*Manganèse. Mn. 55 U. M. 24 E.*

Le manganèse est, dans la série des atomes, voisin du chrome et du fer; aussi dans la nature se trouve-t-il fréquemment associé à ces deux métaux. On peut donc supposer qu'il présente avec eux une parenté de forme et l'on peut retrouver cette parenté dans la présence de l'atome de silicium qui constitue, comme nous l'avons vu, le noyau des atomes de fer et de chrome. D'autre part, la valence impaire du manganèse serait d'accord avec une certaine asymétrie, en même temps que sa valence consi-

dérable révèle l'existence de faces de combinaison très étendues.

Le solide qui groupe autour du noyau du silicium une plaquette de 12 unités et une plaquette de 15 répond à toutes ces conditions. La forme la plus rationnelle de l'atome de manganèse sera donc un solide de la composition suivante :  $12 + 14 + 14 + 15$ .

*Ruthénium. Ru. 102 ou 103 U. M. 47 E.*

Le ruthénium peut être facilement représenté par deux solides terminés par deux surfaces de 15. Le poids atomique 102 se rapprocherait davantage du poids atomique admis par la commission internationale : 101,70 ; mais le poids atomique 103 a pour lui un écart rationnel de 48 avec le manganèse, et un accord avec la règle  $4n + 3$  à laquelle dérogerait un corps de poids atomique 102.

La différence avec le poids atomique donné par l'expérience s'expliquerait par l'existence d'un corps isotope de poids 99 indiqué par la règle  $4n + 3$  et qui avec un corps inconnu de poids 187 formerait une série se rattachant au manganèse par un écart normal de 44 pour son premier terme. Nous donnerons donc la préférence au poids atomique 103 qui peut se représenter de la manière suivante :  $15 + 12 + 12 + 25 + 12 + 12 + 15$ .

Le solide 102 se décomposerait ainsi

$$15 + 12 + 16 + 16 + 16 + 12 + 15.$$

*Osmium. Os. 190 ou 191 U. M. 91 E.*

Suivant que l'on attribue à l'osmium le poids atomique 190 ou 191, on peut obtenir une représentation

satisfaisante de son atome en interposant symétriquement deux solides de 44 dans un des atomes précédents.

Le chiffre 191 correspond à la règle  $4n + 3$  et nous pensons que c'est à lui qu'il faut s'arrêter. Il ne diffère que de 0,1 du chiffre admis par la commission internationale. Dans ce fait, nous trouvons, en vertu de l'écart de 88, un nouvel argument en faveur du chiffre 103 pour le poids atomique du ruthénium.

### *FAMILLE DU COBALT* (Planches IX et XI.)

La famille du cobalt qui comprend le cobalt, le palladium et le platine, présente la particularité d'être formée par des métaux de poids atomique impair et de valence paire. L'étude des oxydes et des chlorures permet de considérer ces éléments comme tétravalents. Peut-être l'antinomie entre le poids atomique et la valence favorise-t-elle la formation de complexes. Le cobalt et le platine sont en effet les métaux qui se prêtent le plus fréquemment à ces combinaisons moléculaires qui ont été l'objet de très intéressantes études (voir tome V). L'existence de ces combinaisons atteste d'autre part la grande superficie des surfaces de combinaison, qui sont bien représentées par des plaquettes carrées de 16 unités.

#### *Cobalt. Co. 59 U. M. 28 E.*

L'atome de cobalt de poids atomique 59 peut être obtenu en ajoutant deux surfaces de 16 à un cube formé de trois plaquettes de 9. On a ainsi un solide très rationnel qui peut devenir facilement le point de départ des autres corps de la série.

*Palladium. Pd. 107 U. M. 52 E.*

Le palladium auquel on peut attribuer le poids atomique 107, impliquant avec le cobalt un écart normal de 48, est obtenu en accolant sur chacune des faces libres du cube formant le noyau du cobalt un prisme régulier formé de deux plaquettes de six, c'est-à-dire identique à l'atome de carbone. On a ainsi un solide, de forme très régulière, présentant des anfractuosités qui permettent de comprendre les propriétés occlusives du palladium pour l'hydrogène.

*Platine. Pt. 195 U. M. 96 E.*

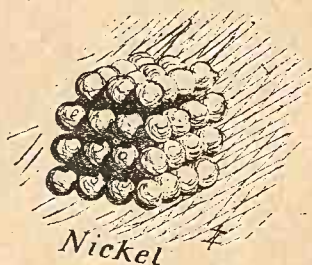
En substituant à la dernière plaquette de six des quatre faces du palladium un solide composé d'une plaquette de 12 et d'une de 16, on a pour l'atome de platine une représentation très satisfaisante. Son aspect massif est en rapport avec la grande densité du métal, sa déformabilité en faveur de sa malléabilité ; sa limitation par de grandes surfaces représente sa tendance à former des complexes et sa structure anfractueuse explique ses propriétés occlusives.

*Nickel. Ni. 59 ou 60 U. M. 28 E.*

Entre la famille du fer et celle du cuivre se place un métal dont le rang est particulièrement difficile à déterminer. C'est le nickel. Sa quadrivalence le rapproche du cobalt et du fer. Par ses propriétés physiques et chimiques, il se place entre ce dernier métal et le cuivre avec lesquels il forme des alliages du plus haut intérêt. Dans ces conditions, on aurait une tendance à lui attribuer le



poids atomique 60 qui forme une moyenne proportionnelle entre les poids du fer et du cuivre. On pourrait alors le construire par l'union d'un demi-atome de fer  $12 + 16$  à un demi-atome de cuivre  $16 + 16$  (*fig. 50*). Ce chiffre serait d'accord avec la règle  $4n$  et il serait plus rationnel de ne pas attribuer au nickel et au cobalt le même poids atomique. Peut-on supposer l'existence d'un corps isotope de poids atomique 58? Ce corps n'est pas prévu par la règle  $4n + 3$  et on ne peut lui assigner une forme satisfaisante. Force en est donc de chercher une combi-



Atome de nickel.

Fig. 50.

naison isomère du cobalt. On peut l'obtenir soit en substituant au manganèse une surface 16 à la surface 12, soit en substituant une plaquette 15 à une des plaquettes 16 du solide 60 indiqué plus haut. Enfin on peut le former en changeant la disposition des plaquettes constituant l'atome de cobalt :  $9 + 16 + 9 + 16 + 9$ .

Il faut avouer qu'aucune de ces combinaisons n'est complètement satisfaisante et la détermination de l'atome de nickel est encore incomplète.



## CHAPITRE XII

### LE GROUPE DES GAZ RARES

Les corps simples qui forment le groupe des gaz rares (planche XII) n'affirment point leur parenté par la similitude de leurs propriétés chimiques. Ce groupe comprend trois familles qui présentent au contraire des caractères nettement opposés. La première se compose d'éléments complètement indifférents ; la seconde comprend les métaux les plus électropositifs ; la troisième, des métalloïdes franchement électronégatifs.

Ils se rapprochent toutefois du fait que, dans la série croissante des poids atomiques, ils se groupent en triades entre les éléments desquelles on observe un écart sensiblement constant.

D'autre part, la construction des atomes formant les premiers termes de chaque famille ne met en œuvre qu'un petit nombre de possibilités et conduit à des solides, ayant entre eux une ressemblance frappante en ce qu'ils appartiennent à un système dont le tétraèdre régulier, entier ou tronqué, est la base.

#### *FAMILLE DES GAZ RARES* (Planches XII et XIII.)

La famille des gaz rares (planche XIII) est de découverte récente. Si les corps qui la composent n'ont, par leur

rareté et leur inertie chimique, qu'une importance pratique minime, ils présentent, au contraire, au point de vue théorique un intérêt considérable. L'existence de cette famille et sa répartition, prévues par Lecoq de Boisbaudran, vérifient d'une manière admirable la loi périodique et la loi d'écart.

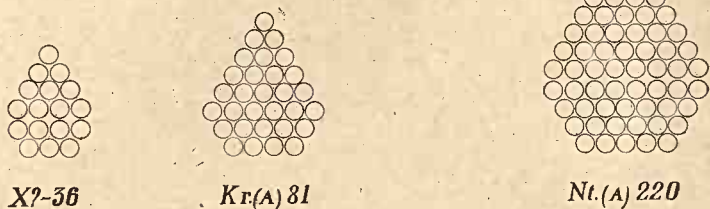
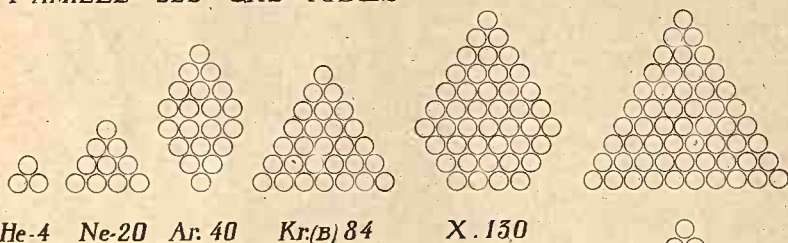
On attribue généralement aux gaz rares la valence 0. La constitution mono-atomique de leur molécule, leur indifférence chimique sont de puissants arguments à l'appui de cette thèse.

L'affinité chimique de leur molécule est nulle. Cela signifie-t-il qu'elle soit constituée par un atome électriquement neutre ? Nous ne le croyons pas. L'étude des rayons  $\alpha$  du radium montre que, si l'on veut donner au mot atome sa véritable valeur, on est obligé d'admettre qu'ils sont constitués par un atome d'hélium, porteur d'une double charge positive. Cette charge peut ensuite être neutralisée par un électron emprunté au milieu ambiant. Que ce mode de neutralisation se produise de préférence au mode de neutralisation par les électrons interatomiques, nous en trouvons la raison dans la forme même de l'atome. L'insertion d'électrons interatomiques nécessite ou crée même dans le solide atomique une polarité symétrique. Or nous allons voir que la forme vers laquelle tendent les atomes de cette famille dérive du tétraèdre régulier, c'est-à-dire d'un solide dont toutes les faces sont égales et sont chacune opposées à un sommet, ce qui exclut toute symétrie dans la répartition de la charge. La valence, électriquement égale à deux, est topographiquement nulle. On comprend néanmoins que

# GROUPE DES GAZ RARES

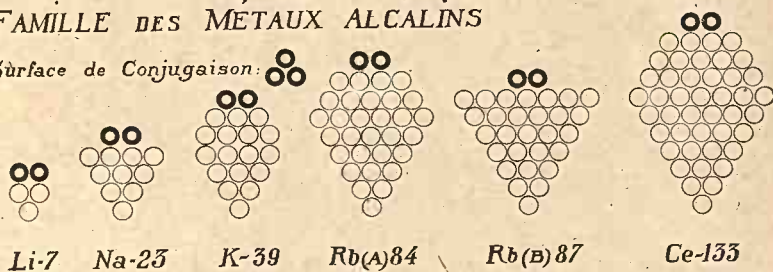
## 1<sup>re</sup> FAMILLE DES GAZ RARES

Nt.B 220



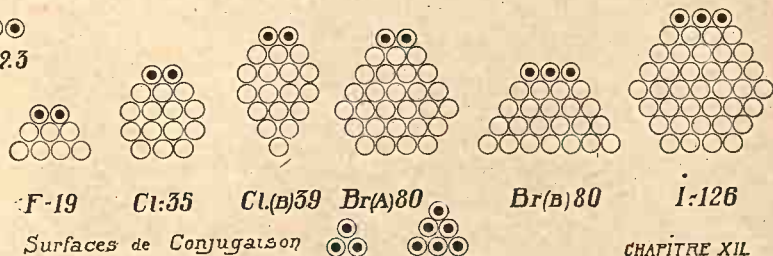
## 2<sup>e</sup> FAMILLE DES MÉTAUX ALCALINS

Surface de Conjugaison:



## 3<sup>e</sup> FAMILLE DES HALOGENES

X<sub>2</sub>3

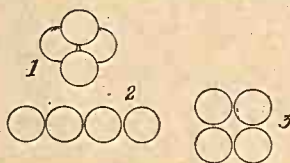


CHAPITRE XII

quelques chimistes (Berthelot, Troost et Ouvrard, Travers, Villard) semblent avoir réussi à engager des atomes de gaz rares dans des combinaisons moléculaires, ce qui eût été impossible si la valence électrique avait été nulle.

*Helium. He. 4 U. M. 1 E.*

L'hélium, en raison de son faible poids atomique, est



*Les groupements possibles de 4 sphères.*

Fig. 51.

l'atome dont nous pouvons le plus solidement établir la forme. Si, en effet, on veut construire un solide géométrique avec quatre sphères, le nombre des combinaisons possibles est minime (*fig. 51*) et la forme qui s'impose



Fig. 52.

immédiatement est celle d'un tétraèdre régulier. On peut donc concevoir les rayons  $\alpha$  c'est-à-dire les atomes libres d'hélium comme formés par quatre unités de matière agrégées sous forme d'un tétraèdre régulier autour d'un électron (*fig. 52*).

Un tel atome est électriquement bivalent, puisqu'il y a deux unités positives en excès ; la fixation d'un électron



FAMILLE DES GAZ RARES

ARGON

X-36.

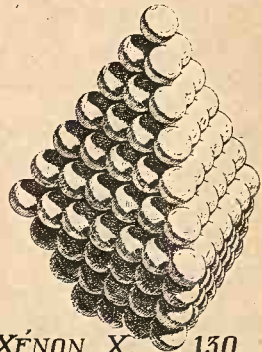
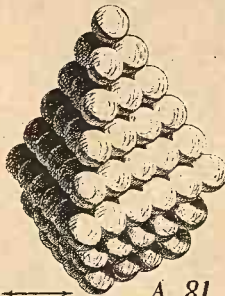
NÉON

HÉLIUM

He-4.

Ne. 20.

Ar. 40.

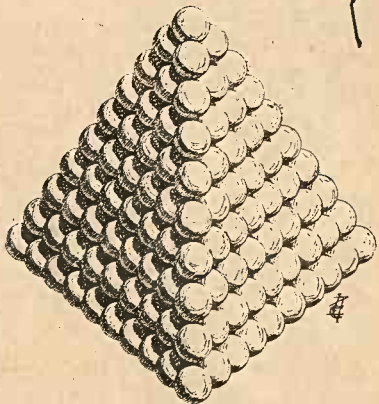
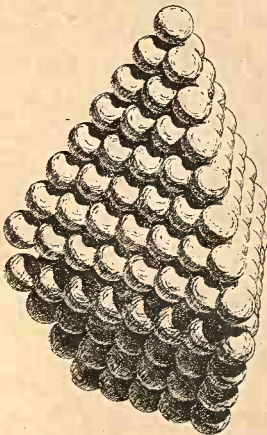


B. 84

A. 81

KRYPTON Kr.

XÉNON X. 130.



A. 220

NITON Nt.

B. 220

R. Leclerc D<sup>r</sup>

CHAPITRE XII

le transforme en molécule neutre. Mais si, au point de vue de l'électro-affinité, il possède deux valences, il a une valence nulle au point de vue topographique puisque toutes ses faces sont égales et opposées à des sommets. L'électron fixé, étant saturé par les deux unités de matière en excès, n'a aucune tendance à s'immobiliser sur une face plutôt que sur une autre. La mono-atomicité de l'hélium et son inertie chimique se déduisent de ces données morphologiques.

*Néon. Ne. 20 U. M. 9 E.*

L'atome de néon se forme tout naturellement par l'union de cinq atomes d'hélium. En effet, si l'on rapproche quatre atomes d'hélium de manière à ce qu'ils ne laissent entre eux aucun espace vide, on obtient facilement un tronc de pyramide composé de 16 sphères ; la superposition d'un cinquième atome d'hélium détermine une pyramide triangulaire qui, au point de vue topographique, se rapproche absolument de celle de l'hélium, puisque toutes les faces en sont égales.

*Argon. Ar. 40 U. M. 19 E.*

L'argon est facilement obtenu en joignant par leur base deux pyramides de néon. On a ainsi un solide à six faces égales, dont la molécule, après la fixation d'un électron, doit être mono-atomique et chimiquement inerte.

L'argon mérite néanmoins une discussion ; car ce corps constitue vis-à-vis de certaines lois une exception qui réclame une étude particulière.

Dans le tableau de Mendéléeff, l'argon chevauche avec le potassium qu'il devrait précéder si l'on classe les corps

simples suivant leurs poids atomiques croissants. Il a sensiblement le même poids atomique que le calcium. En outre, au lieu d'être séparé par un écart de 16 du gaz rare le précédant dans la série, il comporte un écart de 20. Même irrégularité en ce qui concerne le halogène le plus proche dont il diffère de quatre unités et demie au lieu d'une. Il en est de même de son écart avec le potassium qu'il dépasse d'une unité au lieu de lui être inférieure de trois.

*X36. 36 U. M. 17 E.*

Il est intéressant de noter qu'un gaz rare, de poids atomique 36 prévu par la règle  $4n$  remplirait toutes ces conditions. Or un tel corps aurait une forme très bien définie par l'accolement d'un tronc de pyramide de 16 unités ( $10 + 6$ ) à la pyramide du néon ( $10 + 6 + 3 + 1$ ).

Par d'autres considérations, Thomson, Lecoq de Boisbaudran avaient également admis la probabilité d'un corps de la famille de l'hélium, ayant comme poids atomique 36. Il est vrai que l'électron fixé pour neutraliser l'atome doit se localiser sur la surface tronquée et qu'une telle surface rencontrant un atome ou une molécule d'hélium doit, pour des raisons de symétrie, s'y combiner et former une molécule d'argon. Cette combinaison est-elle assez intime pour revêtir la forme atomique ? La chose n'est pas impossible et semble être en rapport avec la chaleur spécifique de l'argon qui, conformément à la loi de Dulong et Petit, attribue à sa molécule une structure mono-atomique. De toutes manières, on peut trouver, dans cette interprétation des faits, une représentation satisfaisante des anomalies de l'argon.

Il apparaît, du reste, que le gaz X36 est appelé à devenir bientôt un corps concret. Récemment (*Revue scientifique*, 1916, n° 3, p. 78), le professeur J. J. Thomson a obtenu par le bombardement cathodique des sels de potassium (iodures et chlorures) et décelé par le procédé des rayons positifs un corps de poids atomique de 35 environ qui pourrait bien correspondre à ce gaz rare. Le potassium, sous l'influence des rayons cathodiques, donnerait du gaz X36 et du gaz X3.

*Krypton. Kr. 81 U. M. 40 E ou 84 U. M. 41 E.*

Le poids atomique du krypton fixé par la commission internationale est de 82,92 et se trouve à peu près à égale distance de deux agrégats possibles 81 et 84. Le rapport avec le halogène le plus proche ( $\text{Br} = 80$ ) serait en faveur de 81 ; mais l'écart avec le rubidium plaiderait plutôt en faveur de 84. Il ne serait du reste pas impossible que le krypton soit un mélange de deux gaz rares isotopes de poids atomiques 81 et 84, les propriétés spectroscopiques étant très analogues et l'activité chimique nulle dans les deux cas.

*Xénon. Xe. 130 U. M. 64 E.*

Le poids atomique du xénon correspond très exactement à un solide très vraisemblable. L'écart avec le césium est normal ; celui qui le sépare de l'iode est trop grand ; mais le chevauchement de l'iode avec le tellure dans le tableau périodique indique que l'anomalie ne provient pas du xénon mais de l'iode, nous reviendrons sur ce point à propos de ce dernier corps.



*Niton. Nt. 220 U. M. 109 E.*

Si l'on augmente progressivement la hauteur de la pyramide triangulaire, on arrive à un corps de poids atomique 220 qui représenterait bien le niton (émanation du radium) ou le corps très instable qui forme l'émanation du thorium. Il est intéressant de signaler que le chiffre 220 peut se traduire par deux solides géométriques du même système :

$$55 + 45 + 36 + 28 + 21 + 15 + 10 + 6 + 3 + 1$$

et

$$15 + 21 + 28 + 36 + 36 + 28 + 21 + 15 + 10 + 6 + 3 + 1;$$

le premier semblant du reste plus fragile. Cette coïncidence est intéressante en ce que, dans les poids élevés, les combinaisons possibles ne sont pas très nombreuses dans ce système et que, d'autre part, l'évolution radioactive tend à attribuer le même poids atomique à l'émanation du radium et à celle du thorium, bien que la destruction beaucoup plus rapide de la seconde indique bien qu'il s'agit de deux corps différents.

#### *FAMILLE DES MÉTAUX ALCALINS* (Planches XII et XIV.)

La famille des métaux alcalins est une famille très naturelle réunissant des métaux monovalents, très électropositifs, formant avec l'oxygène des bases fortes, c'est-à-dire s'ionisant facilement en donnant un ion métallique positif et un ion négatif OH.  $\text{NaOH} = \text{Na} + \text{OH}$  (*fig. 53*).

Un simple coup d'œil sur le tableau (page 152) montre la relation intime qui existe entre les gaz rares et les métaux

alcalins, parenté qui apparaît aussi dans leurs spectres. On voit que le poids atomique des métaux alcalins est égal au poids atomique des gaz rares, augmenté de trois unités;  $\text{He } 4 + 3 = 7 \text{ Li}$ ;  $\text{Ne } 20 + 3 = 23 \text{ Na}$ ;  $\text{X } 36 + 3 = 39 \text{ K}$ ;  $\text{Kr } 81 \text{ ou } 84 + 3 = 84 \text{ ou } 87$ , moyenne  $85,50 \text{ Ru}$ ;  $\text{Xe } 130 + 3 = 133 \text{ Cs}$ .

La loi semble évidente. Voyons comment on peut la représenter morphologiquement. La réunion de trois uni-

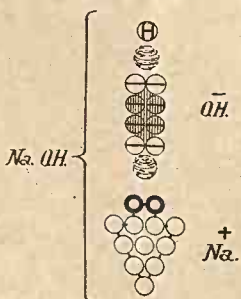


Fig. 53.

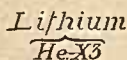


Fig. 54.

tés forme une surface monovalente triangulaire qui correspond parfaitement à la monovalence des métaux alcalins. Il apparaît donc que l'adjonction sous la forme atomique d'une plaquette de trois unités à l'atome de gaz rare donne une figure géométrique très représentative de l'atome des métaux alcalins (fig. 54). La monovalence s'explique parfaitement si l'on admet que l'électron extra-atomique de la molécule de gaz rare est fixée sur une des faces de la pyramide par sa jonction atomique avec une surface de trois unités dont deux sont neutralisées par lui. Il reste une charge positive non saturée qui correspond à la valence unique des métaux alcalins.

FAMILLE DES MÉTAUX ALCALINS



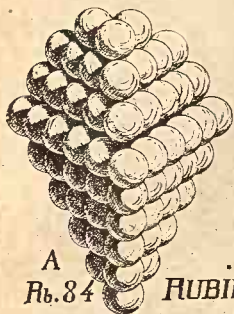
LITHIUM Li.7.



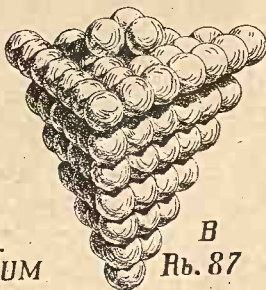
SODIUM-Na.23



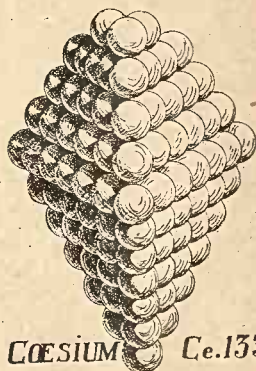
POTASSIUM K. 39



A Rb.84 RUBIDIUM



B Rb. 87



COESIUM Ce.133

FAMILLE DES

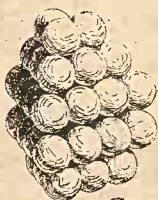
HALOGENES.



X.3



FLUOR-F.19

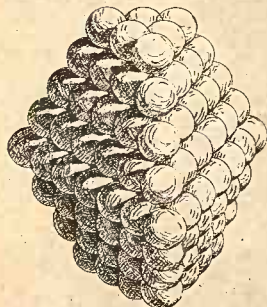
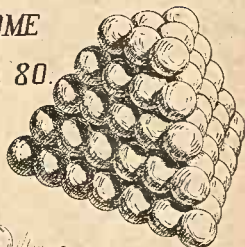


CHLORE A

Cl.55

BROME

Br. 80.



IODE

I. 126.



CHLORE B

Cl.59

Nous représentons donc l'atome des métaux alcalins en ajoutant à la figure schématique du gaz rare deux éléments correspondant au profil de la plaquette de trois sphères.

Cette manière de voir est singulièrement corroborée par la découverte du gaz X3, due au professeur J.-J. Thomson. Cet auteur a, en effet, établi que, si l'on expose des composés alcalins et principalement un sel de lithium ou de potassium au bombardement cathodique, on trouve dans le tube, à l'aide de la méthode d'analyse par les rayons positifs, un corps possédant une seule charge positive et un poids atomique égal à trois. On peut, de même, retrouver ce corps en enfermant de la potasse dans un récipient clos où l'on a fait le vide.

On sait que le potassium et le rubidium sont très faiblement radio-actifs. Il serait très admissible que l'émission d'un électron intra-atomique (rayon  $\beta$ ) ait pour résultat la division de l'atome en un atome de gaz rare et un atome de gaz X3, représentant la plaquette surajoutée. La faiblesse de la radio-activité de ces deux corps, peut-être moindre encore chez Li, Na, Cs, expliquerait comment les produits de désintégration ont jusqu'ici échappé à l'analyse.

*Lithium. Li. 7 U. M. 3 E.*

Le lithium serait le premier terme dû à la combinaison de ces deux constituants : hélium et X3 (v. chap. VI). Il est extrêmement important pour notre hypothèse d'apprendre que cette vue intuitive commence à recevoir une sanction expérimentale.



Dans une de ses plus récentes publications sur les rayons positifs, J.-J. Thomson insiste sur le fait que le bombardement cathodique des sels de lithium donne naissance à un dégagement régulier d'hélium et de gaz X3. Il ne s'agit certainement pas de gaz occlus : J.-J. Thomson est à ce point de vue absolument affirmatif et cite les expériences suivantes (*Revue scientifique*, 1916, n° 3, p. 74) : « un exemple frappant est celui du chlorure de lithium ; un échantillon de ce sel dégagea sous l'action des rayons cathodiques de l'X3 et de l'hélium ; il fut alors dissous dans l'eau et, après avoir été évaporé à sec, le chlorure de lithium dégagea de l'hélium et de l'X3 aussi librement qu'avant d'être dissous et même la ligne d'hélium était plus forte qu'auparavant. Cette opération fut répétée *neuf fois* sans qu'on pût observer la moindre diminution dans le dégagement du gaz ».

J.-J. Thomson ne conclut pas fermement de ces expériences, mais il ne semble pas que l'on puisse y voir autre chose qu'une véritable analyse élémentaire d'atome.

#### *Sodium. Na. 23 U. M. 11 E.*

Le sodium avec la plus grande facilité par l'accolement du corps X3 sur une des faces du néon. L'agrégat ainsi obtenu est assez solide ; néanmoins, bombardé par les rayons cathodiques, il donne naissance à un dégagement d'X3 et d'hélium.

#### *Potassium. K. 39 U. M. 19 E.*

Le potassium semble également avoir été décomposé par J.-J. Thomson en ses constituants primordiaux. A la

suite du bombardement d'iodure de potassium très pur (ce qui exclut l'intervention du chlore), il a obtenu du gaz X3, de l'hélium et un corps dont le poids atomique était voisin de 35. Le potassium étant faiblement radio-actif, on comprend que la décomposition de son atome par les rayons cathodiques soit relativement facile. Il donnerait ainsi naissance à des rayons  $\beta$  que l'on connaît et



*Potassium*

$\frac{X36-X3}{}$

Fig. 55.

qui sont très pénétrants et à des débris positifs qui ne pourraient être décelés à l'état de rayons  $\alpha$  mais le seraient seulement par la méthode des rayons positifs. Ces débris seraient X36 et X3 (*fig. 55*). Du reste, J.-J. Thomson a vu que, même sans bombardement cathodique, X3 apparaît dans une enceinte close où est enfermée de la potasse.

*Rubidium. Rb. Rb A. 84 U. M. 41 E.*

*Rb B. 87 U. M. 43 E.*

Il en est de même du rubidium qui partage avec le potassium la propriété d'être faiblement radio-actif. Son poids atomique, un peu irrégulier, représente la moyenne

proportionnelle entre deux corps isotopes 84 et 87, correspondant aux deux kryptons 81 et 84. Le rubidium pourrait être un mélange à parties égales de ces deux corps.

*Cæsium. Cs. 133 U. M. 66 E.*

L'écart normal que présente le cæsium avec le xénon est en faveur de la construction de cet atome par l'accolement de la plaquette X3 à la petite face du xénon.

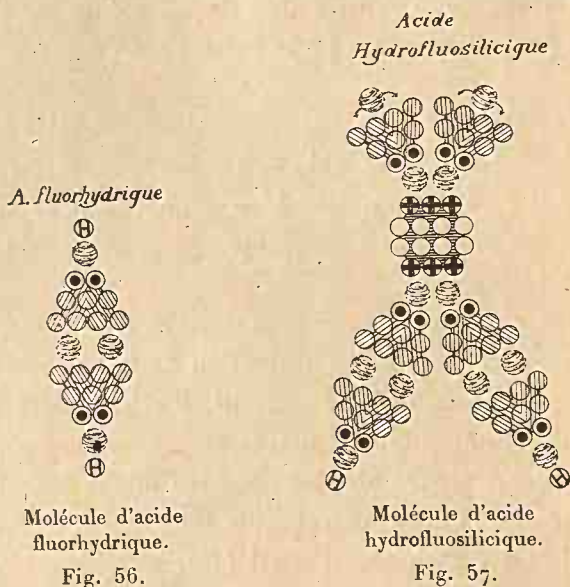
### *FAMILLE DES HALOGÈNES* (Planches XII et XIV.)

Les halogènes, fluor, chlore, brome, iode, forment une famille de métalloïdes, très bien caractérisée chimiquement, mais qui présente quelques anomalies, du reste faciles à interpréter.

En premier lieu, nous devons signaler l'incertitude que l'on rencontre dans la détermination de la valence. Il est bien certain que, le plus souvent, les halogènes fonctionnent comme monovalents. Néanmoins, dans certains cas, la monovalence absolue semble difficile à soutenir. Par exemple, le fluor, dans l'acide fluorhydrique dont la molécule est certainement  $F^2H^2$  (*fig. 56*), dans l'acide hydrofluosilicique  $SiF^6H^2$  (*fig. 57*), possède une valence incontestablement supérieure à un ; car il est difficile, dans des cas si simples, de faire intervenir des combinaisons moléculaires qui, elles aussi, doivent recevoir une interprétation électronique (v. tome V).

D'autre part, il faut se garder de tomber dans un excès contraire, comme l'ont fait beaucoup d'auteurs hypnotisés par la loi périodique, qui voudraient, contre toute analogie chimique, placer le manganèse parmi les halogènes.

Il est, en effet, tout à fait inutile de grouper autour de l'atome de halogène tous les autres atomes de la molécule et d'attribuer au chlore une valence 9 à cause de l'existence de l'acide perchlorique  $\text{ClO}^4\text{H}$ , ou même une valence 7 pour expliquer la structure moléculaire de l'acide chlorique  $\text{ClO}^3\text{H}$  (fig. 58). On peut parfaitement



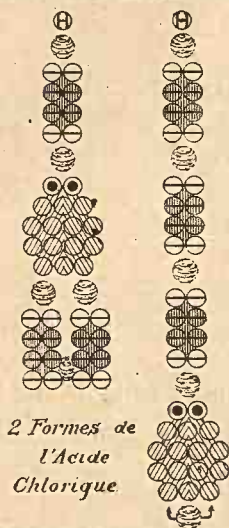
imaginer une représentation de ces corps, compatible avec la monovalence ou la trivalence du chlore.

L'hypothèse qui semble le mieux concilier tous les faits est celle de la trivalence des halogènes. Parmi ces valences, une fonctionnerait constamment ; les deux autres seraient dans le plus grand nombre de cas neutralisées par un électron extra-atomique, celui des gaz rares dont ils dérivent, mais pourraient moins fréquemment



être saturées par des électrons-liaisons et l'atome fonctionnerait alors comme trivalent.

Cette manière de voir, conforme à l'opinion de Friend, s'accorde très bien avec la très proche parenté qui existe entre les gaz rares et les halogènes. Il suffit, en effet, de briser un des sommets de la pyramide triangulaire qui,



Molécule d'acide chlorique.

Fig. 58.

comme nous l'avons vu, forme le type de l'atome des gaz rares, pour obtenir un solide trivalent, possédant une valence fixe, correspondant à cette troncation et deux valences semblables à celle des gaz rares qui sont habituellement neutralisées par un électron extra-atomique, occupant la face symétrique du sommet tronqué.

*Fluor. F. 19 U. M. 8 E.*

On obtient ainsi le fluor en enlevant une unité de

matière à un des sommets de la pyramide de néon (*fig. 59*). Le fluor fonctionne fréquemment comme trivalent par l'accolement de la face opposée à la troncature à la face semblable d'un autre atome de fluor, formant ainsi la molécule  $F^2$  (*fig. 60*). On comprend que, si la molécule



*Néon*  
 $\overline{F-H}$

Fig. 59.



*Moléc. Fluor.*

Fig. 60.

de fluor adopte toujours cette forme, le gaz fluor présente des affinités telles qu'il puisse difficilement être obtenu à l'état libre.

*Chlore. Cl. 35 U. M. 16 E.*

L'atome de chlore s'obtient en enlevant la sphère terminale de la pyramide triangulaire qui entre dans la constitution du gaz X36 (*fig. 61*). Mais, comme nous l'avons vu, la décimale du chlore peut s'expliquer par l'existence d'un chlore isotope, provenant de l'argon. En effet, la troncature que nous avons signalée sur X36 existe également dans le chlore et la fixation sur cette face d'un atome d'hélium ne modifierait pas les propriétés chimiques du chlore fonctionnant comme atome monovalent, c'est-à-dire sous la forme où il se trouve dans la

nature. Les propriétés des deux chlores isotopes ne seraient différentes que lorsque le chlore aurait à fonctionner comme atome trivalent, dans l'hexachlorure de soufre, par exemple. Il y aurait peut-être là une indication sur la possibilité d'isoler l'un de l'autre les deux chlores



Fig. 6r.

dont un mélange, à raison de  $1/8$  de l'un pour  $7/8$  de l'autre, aurait pour poids atomique moyen 35,5.

*Brome. Br. 80 U. M. 39 E.*

On peut obtenir un solide satisfaisant pour exprimer les propriétés du brome en effectuant une troncature d'une unité sur le krypton A ou de quatre unités sur le krypton B. De cette manière, il pourrait y avoir deux bromes isotopes ayant les mêmes propriétés chimiques et le même poids atomique, mais une structure différente.

*Iode. I. 126 U. M. 62 E.*

Quant à l'iode, la troncature de quatre unités sur un

sommet du xénon donne un solide admissible, surtout si l'on admet l'hypothèse d'un iode isotope 129 dans lequel la troncature ne porterait que sur une unité, ce qui pourrait expliquer les décimales de l'iode. Cette différence dans la troncature rend compte de l'anomalie de rang de l'iode dans la série de Mendéléeff et affirme l'indépendance du groupe des gaz rares vis-à-vis du groupe de l'oxygène.

### X3. 3 U. M. 1 E.

Il est également un fait intéressant à signaler ici. La troncature de l'hélium laisse une plaquette triangulaire composée de trois unités. Ce corps appartiendrait évidemment à la famille des halogènes  $F\ 19 - 16 = 3$ . Il a été prévu par Lecoq de Boisbaudran qui dans sa classification le place en tête de cette famille; il correspond, soit au gaz X3 de J.-J. Thomson, soit au nebulium, soit au protofluor de Norman Lockyer, soit au corps  $\beta$  de Lecoq de Boisbaudran, ou plutôt il pourrait représenter ces quatre corps qui n'en feraient qu'un dont on aurait déterminé la parenté et la forme d'atome avant même d'avoir pu l'isoler.

NOTA. — Au moment de paraître (juin 1921) nous avons connaissance des recherches d'Aston sur la séparation des corps isotopes au moyen des rayons positifs. Cet auteur obtient pour l'argon deux isotopes : 36 et 40, et pour le chlore trois isotopes : 35-37-39.

Lorsqu'en 1913, nous admettions l'existence de ces corps et en déterminions la forme, nous ne pouvions espérer une confirmation ni aussi rapide ni aussi complète de notre hypothèse.



## CHAPITRE XIII

### LE GROUPE DU BORE-ALUMINIUM

Le groupe du bore ne comprend en réalité que deux corps ayant une importance pratique : le bore et l'aluminium. Les autres éléments qui constituent ce groupe présentent néanmoins un intérêt théorique considérable ; mais leur rareté, la difficulté avec laquelle on peut les obtenir à l'état de pureté, font que la connaissance de leurs propriétés chimiques est encore trop incomplète pour permettre une systématisation définitive. Le caractère le plus important réside dans leur valence le plus souvent impaire.

On peut diviser ce groupe en deux familles qui bifurquent à l'aluminium et dont la première se rattache au groupe de l'azote et la seconde au groupe des gaz rares.

*Bore. B. 11 U. M. 3 ou 4 E.*

Le nombre des combinaisons que l'on peut obtenir avec 11 sphères est très limité. Ni  $5 + 6$ , ni  $3 + 8$ , ni  $2 + 9$  ne peuvent donner un solide acceptable. Le seul arrangement admissible est donné par  $4 + 7$ . Avec 7 sphères, on obtient une plaquette régulièrement hexagonale qui correspond à un triangle dont on aurait brisé les trois

extrémités (*fig. 62*). Cette surface peut donner insertion à trois électrons interatomiques, ce qui est d'accord avec la concentration probable des trois valences sur la même face, hypothèse qui résulte de la structure des borates et des autres composés du bore (*fig. 63*). Quant à l'agrégat de quatre unités, on peut de préférence lui attribuer la

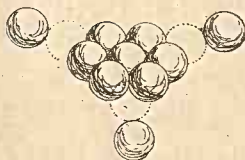


Fig. 62.

forme tétraédrique de l'hélium. L'atome de bore serait ainsi formé par l'atome de ce gaz rare auquel serait accolée une plaquette de sept unités. Cette forme correspond bien aux diverses propriétés du bore. Peut-être même, l'électron extra-atomique des gaz rares persiste-t-il dans le



Fig. 63.

bore ; car dans des cas exceptionnels, le bore paraît pouvoir être pentavalent.

*Aluminium. Al. 27 U. M. 11 E.*

L'aluminium est le corps le plus important du groupe, l'écart de 7 qui le sépare du néon pourrait lui faire assigner la même structure qu'au bore, c'est-à-dire celle d'un

GROUPE DU BORE



B. 11



Al. 27



Sc. 43



Yt. A 88



Yt. B 91



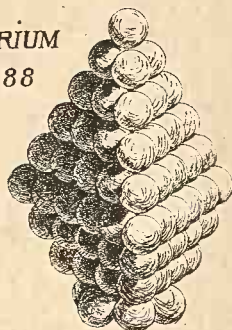
BORE  
B. 11



ALUMINIUM  
Al. A 27

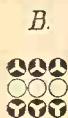


SCANDIUM  
Sc. 43



YTRIUM  
Yt. 88

FAMILLE DE L'ALUMINIUM



Al. 27



Ga. A. 71



Ga. B. 71



In. B. 115.



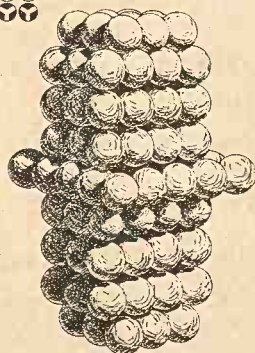
In. A. 115



ALUMINIUM B



GALLIUM Ga. 71



INDIUM in. 115

solide provenant de l'adjonction d'une plaquette de sept unités à la pyramide triangulaire du néon. Toutefois, sa tendance à s'unir à lui-même pour former le groupe hexavalent  $Al^2$ , la facilité avec laquelle il s'allie au cuivre pour former un alliage très conducteur, sont beaucoup plus en faveur d'une forme plus régulière, c'est-à-dire d'un cube de trois sphères de côté. Si l'on admet la pentavalence de l'atome, deux valences peuvent être échangées entre les deux atomes du groupement et les surfaces opposées libres seraient trivalentes. L'existence d'un double électron dans la liaison des deux atomes expliquerait comment, à haute température, ce groupement pourrait être détruit et les deux valences de cette face neutralisées par un électron extra-atomique.

De l'aluminium, point de bifurcation, partent deux familles : l'une comprend le gallium, l'indium et peut-être le thallium ; l'autre comprend le scandium, l'yttrium et les terres rares.

#### *FAMILLE DU GALLIUM (Planche XV.)*

*Gallium. Ga. 71 U. M. 33 E.*

Diverses raisons nous poussent à attribuer au gallium le poids atomique 71 au lieu de 70. Cette rectification le met d'accord avec les règles suivantes auxquelles le poids 70 ferait exception : la loi de la valence impaire, la loi d'écart soit avec le corps précédent  $Al \ 27 + 44 = 71$ , soit avec le corps suivant  $Ga \ 71 + 44 = 115$  In. Deux solides peuvent représenter l'atome de gallium, suivant qu'on le regarde comme symétrique ou que, par suite de sa pentavalence, on lui attribue une forme asymétrique



analogue à celle de la série du vanadium. Il serait alors terminé par une plaquette de 9 et un de 6.

La première forme serait  $9 + 14 + 25 + 14 + 9$ .

La seconde correspondrait à  $9 + 12 + 16 + 16 + 12 + 6$ .

La présence de l'atome de fer comme noyau du solide nous ferait donner la préférence à la seconde hypothèse.

*Indium. In. 115 U. M. 55 E.*

L'indium présente avec le gallium l'écart normal de 44. L'addition du solide 44 :  $16 + 12 + 16$  à la forme asymétrique du gallium donnerait une représentation satisfaisante de cet atome. Cette adjonction ne peut s'effectuer à la forme symétrique qui, pour donner une représentation de l'atome d'indium, doit être modifié de la manière suivante :  $9 + 12 + 12 + 12 + 25 + 12 + 12 + 12 + 9$ .

*Thallium. Tl. 203 U. M. 99 E.*

Si l'on attribue à l'atome de thallium le poids 203, l'adjonction de deux solides 44 à l'une des formes de l'indium donne une représentation logique de cet atome. Nous devons avouer toutefois que cette solution ne semble pas absolument satisfaisante. C'est certainement forcer l'analogie que de rapprocher le thallium de l'aluminium et de l'indium. Le thallium est, en effet, monovalent ou trivalent et se rapproche ainsi plutôt de l'or. Son isomorphisme avec le potassium l'a fait ranger par certains auteurs parmi les métaux alcalins.

Voici la solution qui nous semble le plus en rapport avec les faits connus :

Le dernier terme de la famille du gallium, de poids atomique 203, serait inconnu. D'autre part, le thallium

serait le dernier terme d'une famille ainsi composée :  
 $68 \text{ inconnu} + 48 = 116 \text{ inconnu} + 88 = 204 \text{ thallium}$ .  
 Cette famille se rattacherait au groupe de l'oxygène. Les  
 trois corps inconnus 68, 116, 203, sont indiqués par la  
 règle  $4n$  et  $4n + 3$ . On pourrait alors attribuer au thal-  
 lium une forme analogue à celle de l'or en changeant en  
 plaquettes de 16 les deux plaquettes de 12 qui limitent les  
 surfaces latérales de l'atome d'or.

### *FAMILLE DES TERRES RARES.*

Malgré les travaux remarquables auxquels elle a donné  
 lieu, cette famille n'est pas encore parfaitement connue  
 au point de vue chimique. L'existence de corps isotopes  
 ou quasi-isotôpes, extrêmement difficiles à séparer les  
 uns des autres, rend un peu précaire la précision des  
 poids atomiques obtenus.

Le poids atomique 43 pour le scandium établirait un écart  
 de 7 avec le gaz X36 et de 16 avec l'aluminium considéré  
 comme point de départ. On pourrait donc le figurer par  
 un solide composé de l'atome X36 et d'une plaquette de 7.

Par le même procédé, on obtiendrait deux yttrium  
 isotopes 88 et 91 pour les deux kryptons 81 et 84.

Puis, de 137 à 183 c'est-à-dire du baryum au tantale, se  
 trouve le grand hiatus des terres rares qui semble comblé  
 par des corps de structure analogue, mais sur lesquels nos  
 données sont insuffisantes pour pouvoir en déterminer la  
 forme sans donner à l'imagination une place que nous nous  
 sommes, jusqu'ici, efforcé de restreindre le plus possible.

---

## CONCLUSION

Nous pensons avoir atteint au moins partiellement le but que nous nous proposons au commencement de ce volume.

En nous basant sur le poids atomique, la valence, les lois périodiques et d'écart qui, s'alliant aux propriétés chimiques générales, permettent de constituer des familles naturelles de corps simples, nous avons pu obtenir des représentations solides des atomes, rendant possible la construction objective des molécules qui forment les édifices chimiques.

Ces représentations sont-elles conformes à la réalité ? Les hypothèses qui nous ont guidé dans leur détermination sont, pour beaucoup de corps, suffisamment établies pour que l'on puisse accorder à ces formes une certaine confiance. Au début de nos recherches, nous étions nous-même assez sceptiques sur la possibilité de parvenir à un résultat. Depuis lors, nous sommes-nous laissé aller à imiter Pygmalion, amoureux de la statue sortie de ses mains ? Peut-être : car les *coïncidences heureuses, excédant certainement les lois du hasard, la facilité avec laquelle nous avons réussi à réaliser une figuration satisfaisante des molécules minérales et surtout organiques, nous autorisent*

*maintenant à penser qu'il y a là plus qu'un jeu de l'esprit, mais bien un réel pas en avant vers une connaissance plus intime du monde ambiant.*

De telles hypothèses ne peuvent, du reste, invoquer pour leur défense que le nombre de faits qu'elles permettent de représenter, sinon d'expliquer, d'une manière utile.

Nous espérons que l'examen des figures illustrant les volumes suivants (la molécule en général, la molécule minérale, la molécule organique) convaincra le lecteur de l'intérêt, certainement pédagogique, et peut-être philosophique qui se dégage de ces représentations des atomes chimiques dans l'espace.

---



# TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Avant-propos. . . . .	7
Chapitre I. — L'ÉLECTRON, CORPUSCULE D'ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE. . . . .	11
Rayons cathodiques, 11. — Rayons $\beta$ , 14. — Rayons photo-électriques, 14. — Rayons secondaires de Curie-Sagnac, 15. — Émission de corpuscules par les corps chauds, 15. — L'électron, 15. — Électron et matière, 17. — Électron et électricité, 19.	
Chapitre II. — L'UNITÉ D'ÉLECTRICITÉ POSITIVE ET L'UNITÉ DE MATIÈRE. . . . .	22
Rayons positifs dans les gaz raréfiés, 23. — Rayons $\alpha$ , 24. — Particules positives émises par les corps chauds, 24. — Les électrons positifs, 26.	
Chapitre III. — L'ATOME CHIMIQUE N'EST PAS INSÉCABLE. . . . .	30
La matière, agrégat d'unités de matière et d'électrons, 30. — L'atome insécable des corps simples, 31. — Les phénomènes spectroscopiques, 33. — Les phénomènes radioactifs, 34. — La transmutation expérimentale, 37.	
Chapitre IV. — NOMBRE DES UNITÉS DE MATIÈRE ENTRANT DANS LA CONSTITUTION DES ATOMES.. . . .	42
La signification du poids atomique, 43. — Le poids atomique et l'unité de matière, 44. — Les décimales des poids atomiques, objection à l'unité de la matière, 46. — Les décimales des poids atomiques et les causes d'erreur expérimentales, 48. — Les décimales des poids atomiques, preuve de l'unité de	

matière, 53. — L'unité de matière et les corps isotopes, 67.  
 — L'unité de matière et les corps hypothétiques (coronium,  
 nebulium), 71.

Chapitre V. — NOMBRE DES ÉLECTRONS ENTRANT DANS  
 LA CONSTITUTION DES ATOMES. . . . .

75

La neutralité électrique, 76. — Mesure de la charge de l'atome  
 d'hydrogène dans l'électrolyse, 78. — Mesure de la charge  
 des rayons  $\alpha$ , 79. — Dispersion des particules  $\alpha$  et des  
 rayons X par la matière, 81. — Le postulat de la neutralité  
 électrique de l'atome, 84. — La neutralité de l'atome et  
 les molécules biatomiques, 86. — La neutralité de l'atome  
 et les molécules mono-atomiques, 90. — La neutralité de  
 l'atome et la formation des molécules. Les électrons interato-  
 miques, 92. — La notion de valence chimique, 97. — La  
 fixité de la valence chimique, 100. — Les électrons extraato-  
 miques et les valences apparentes, 102. — Le nombre des  
 électrons intraatomiques, 107.

Chapitre VI. — FORMATION DES ATOMES. . . . .

112

Les forces d'attraction et de répulsion dans les atomes, 112. —  
 La formation des atomes et les facteurs température et pres-  
 sion, 115. — La formation des atomes et la métallogénie, 119.  
 — Les phénomènes radioactifs, 122. — La loi numérique de  
 la formation des atomes, 123.

Chapitre VII. — LA FORME DES ATOMES ET LES FAMILLES  
 DES CORPS SIMPLES. . . . .

128

Affinité électrochimique, 128. — Valence topographique, 128.  
 — Les valences de l'azote, du glucinium et du cobalt, 129.  
 — La morphologie atomique, 130. — La représentation de  
 l'électron, 131. — La forme de l'unité de matière, 134. —  
 La stéréochimie du carbone et de l'azote, 140. — Les atomes  
 s'unissent non par leurs sommets, mais par leurs faces, 143.  
 — Les surfaces de combinaison, 144. — Les surfaces de com-  
 binaison et les familles naturelles d'atomes, 145. — Les clas-  
 sifications naturelles des atomes. La loi d'écart et la loi  
 périodique, 147. — Méthode graphique permettant la classi-  
 fication des corps simples suivant ces deux lois, 149.

Chapitre VIII. — LA FAMILLE DU CARBONE. . . . .	153
Carbone, 155. — Silicium, 158. — Titane, 159. — Germanium, 159. — Zirconium, 160. — Étain, 161. — Plomb, 163. — Thorium, 163.	
Chapitre IX. — LE GROUPE DE L'OXYGÈNE . . . . .	164
<i>Famille de l'oxygène</i> , 164. — Oxygène, 168. — Soufre, 169. — Sélénium, 170. — Tellure, 171.	
<i>Famille des métaux alcalinoterreux</i> , 171. — Magnésium, 174. — Calcium, 174. — Strontium, 174. — Baryum, 174. — Radium, 174. — Glucinium ou beryllium, 175.	
<i>Famille du zinc</i> , 177. — Zinc, 179. — Cadmium, 180. — Mercure, 180.	
<i>Famille du cuivre</i> , 180. — Cuivre, 183. — Argent, 183. — Or, 184.	
Chapitre X. — LE GROUPE DE L'AZOTE. . . . .	185
<i>Famille de l'azote</i> , 185. — Azote, 187. — Phosphore, 192. — Arsenic, 192. — Antimoine, 193. — Bismuth, 193.	
<i>Famille du vanadium</i> , 174. — Vanadium, 195. — Niobium, 196. — Tantale, 196.	
Chapitre XI. — LE GROUPE DU FER. . . . .	197
<i>Famille du fer</i> , 201. — Fer, 202. — Rhodium, 204. — Iridium, 204.	
<i>Famille du chrome</i> , 205. — Chrome, 205. — Molybdène, 205. — Tungstène, 206. — Uranium, 206.	
<i>Famille du manganèse</i> , 208. — Manganèse, 208. — Ruthenium, 209. — Osmium, 209.	
<i>Famille du cobalt</i> , 210. — Cobalt, 210. — Palladium, 211. — Platine, 211. — Nickel, 211.	
Chapitre XII. — LE GROUPE DES GAZ RARES. . . . .	213
<i>Famille des gaz rares</i> , 213. — Hélium, 216. — Néon, 218. — Argon, 218. — X36, 219. — Krypton, 220. — Xénon, 220. — Niton, 221.	
<i>Famille des métaux alcalins</i> , 221. — Lithium, 224. — Sodium, 225. — Potassium, 226. — Rubidium, 227. — Cæsium, 227.	
<i>Famille des halogènes</i> , 227. — Fluor, 230. — Chlore, 230. — Brome, 231. — Iode, 232. — X3, 232.	

Chapitre XIII. — LE GROUPE DU BORE-ALUMINIUM. . . . .	233
Bore, 233. — Aluminium, 234.	
<i>Famille du gallium</i> , 236. — Gallium, 236. — Indium, 237. — Thallium, 237.	
<i>Famille des terres rares</i> , 228.	
Conclusion. . . . .	239
Table des matières. . . . .	241

