

Φ 7 8410. BRUINS (E. M.). La chimie du Timée. *Rev. Métaphys. Morale. Fr.* (1951), 56, n° 3, 269-82. — L'interprétation « pythagoricienne », qui ne tient compte que du nombre des triangles de surface, est source de contradictions. La chimie du Timée y échappe si l'on a soin de distinguer entre les réactions des particules seules, et celles des systèmes de corpuscules, ceci en respectant « le principe de l'économie des coupures ».

LA CHIMIE DU TIMÉE

1843
BRUINS, E.M.
1951

I. — Introduction.

On a rencontré jusqu'à présent de sérieuses difficultés pour expliquer la théorie chimique selon le Timée. L'interprétation que nous proposons dans cet article permet d'éliminer les « contradictions » que semblent présenter à première vue certains énoncés.

Selon le point de vue auquel nous nous plaçons, les corps n'existent qu'en tant qu'ils sont délimités par des surfaces. De plus, conformément à la métaphysique du bon, du beau et du parfait de Timée, les corps élémentaires doivent être des polyèdres réguliers. Ces principes étant posés, il nous faut renoncer à une stéréotomie comme celle que propose A. Rivaud¹. Il en déduit des équations stœchiométriques, mais ce procédé ne permet pas une explication complète. En fait une interprétation purement « pythagoricienne », qui ne prend en considération que des relations entre le nombre des faces des polyèdres nous semble insuffisant.

II. — Les polyèdres réguliers.

A. Données numériques et géométriques.

Il existe cinq polyèdres réguliers : le tétraèdre, l'octaèdre, l'icosaèdre, délimités chacun par des triangles équilatéraux ; l'hexaèdre formé de carrés et le dodécaèdre résultant d'un assemblage de douze pentagones.

Le tableau de la p. 270 récapitule les données numériques relatives au volume V , à la surface totale S , à l'angle dièdre « α » des polyèdres réguliers en fonction de l'arête « a », et du rayon « R » de la sphère circonscrite.

1. A. Rivaud : Platon, *Œuvres complètes*, t. X, Guillaume Budé, 1949, p. 78.

2. N. D. L. R. : Que M^{me} Adrienne Weill veuille bien trouver ici tous les remerciements de la revue pour le concours qu'elle a apporté à la révision du texte français de cet article.

Que M. P.-Max Schull veuille bien trouver également les remerciements de la revue pour les avis éclairés dont il a fait profiter la révision de cet article.

	V	S	ω	n
Tétraèdre	$\frac{1}{12} a^3 \sqrt{2}$ = 0,4178 a^3	$a^3 \sqrt{3}$	70°31'43",6	$\frac{1}{4} a \sqrt{6}$
Hexaèdre	a^3	$6a^2$	90°	$\frac{1}{2} a \sqrt{3}$
Octaèdre	$\frac{1}{6} a^3 \sqrt{2}$ = 0,4714 a^3	$2a^2 \sqrt{3}$	109°28'16",4	$\frac{1}{2} a \sqrt{2}$
Dodécaèdre	$\frac{1}{14} a^3 (1 + \sqrt{5})$ = 7,6631 a^3	$3\sqrt{25 + 10\sqrt{5}} a^2$	116°33'54",2	$\frac{1}{4} a (\sqrt{15} + \sqrt{3})$
Icosaèdre	$\frac{5}{12} a^3 (3 + \sqrt{5})$ = 2,1817 a^3	$5a^2 \sqrt{3}$	138°11'22",6	$\frac{1}{4} a \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$

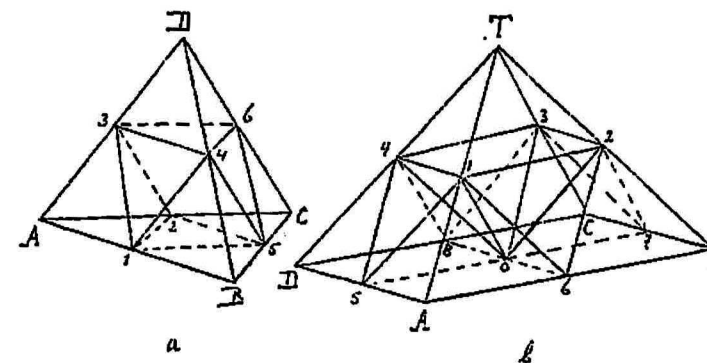


FIG. 1. — a. Décomposition du tétraèdre ABCD en 4 tétraèdres plus petits : A 123, B 145, C 256, D 346 et 1 octaèdre 123456.
b. Décomposition du demi-octaèdre ABCDT en 1 octaèdre 0123456, 4 demi-octaèdres A 0561, B 0672, C 0872, D 0584 et 4 tétraèdres : 0612, 0723, 0834, 0541.

2. Six octaèdres et huit tétraèdres forment un octaèdre d'arête double (fig. 1 b).

c. Si deux icosaèdres ont une face triangulaire commune, l'angle dièdre libre sera :

$$360^\circ - 2 (138^\circ 11' 22'',6) = 83^\circ 37' 14'',8.$$

Un assemblage d'icosaèdres contient donc forcément des « interstices » selon le dièdre de 83°37'.... Or cet angle ne dépasse que celui du tétraèdre ; donc aussi petit que l'on choisisse un

1. « Only two of T's corpuscles could fill up a space continuously, the cube and the tetrahedron (as Archer-Hind admits) » J. S. Taylor : A commentary on Plato's Timaeus, Oxford, 1928, p. 399. Cette remarque au sujet des tétraèdres est inexacte.

cube, un octaèdre ou un icosaèdre, aucun de ces polyèdres ne pourra pénétrer dans les interstices de l'assemblage d'icosaèdres jusqu'à toucher l'arête du dièdre de $83^{\circ}37'$...

B. Transformations par coupures d'arête.

1. Tétrahédre.

En coupant le tétrahédre 1234 suivant les arêtes 12, 13, 14, on obtient après rabattement dans le plan 234 les triangles 123, 134, 142 suivant le développement représenté fig. 2 b.

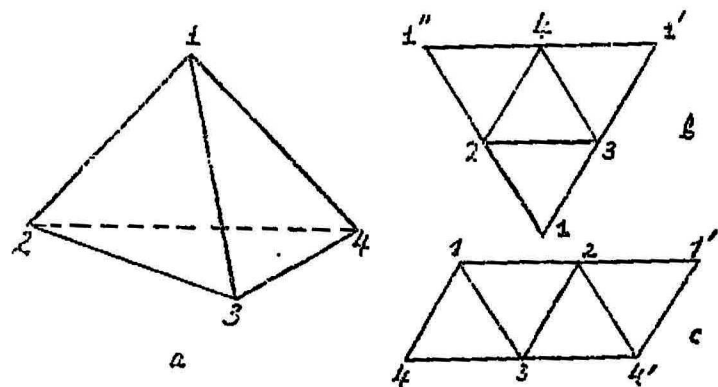


FIG. 2. — Deux développements du tétrahédre.

Si les coupures sont opérées suivant 12, 14, 43 — en bref suivant la ligne brisée 3412 — on obtient le développement figuré en 2 c.

2. Octaèdre.

a. Fendons les arêtes d'un octaèdre 123456 suivant la ligne brisée 651234, nous obtenons la figure 3 b qui met en évidence le développement de deux tétrahédres ayant une arête commune 46. Donc, si après coupure on ne fait pas le développement dans un plan, mais que l'on fasse coïncider les sommets 1',3' et 4,5' on obtient un tétrahédre ; de même en réunissant 3,6 et 2,5 on fait apparaître un deuxième tétrahédre, l'arête commune est 46, qui coïncide avec 35.

Ainsi l'octaèdre primitif est transformé en deux tétrahédres que l'on peut séparer suivant leur arête commune.

b. Si l'on fend l'octaèdre suivant la ligne brisée 321546 le déve-

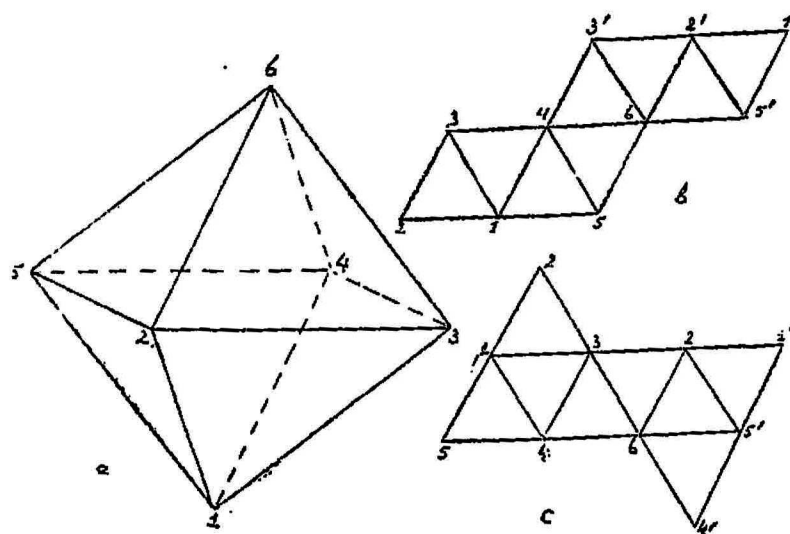


FIG. 3. — Deux développements de l'octaèdre.

loppement se présente différemment, comme l'on peut s'en rendre compte par la figure 3 c. On reconnaît ici encore la décomposition en deux tétrahédres ayant une arête commune. En réunissant les sommets 2, 5, 6 au point P on obtient un tétrahédre 134 P, tandis que la coïncidence de 1',3' et 4' au point Q forme le tétrahédre 256 Q.

L'octaèdre, cette fois encore est décomposé en deux tétrahédres.

3. Icosaèdre.

Nous ne discuterons ici qu'une seule décomposition, simplement pour démontrer qu'il y a possibilité d'étendre la méthode.

Coupons les arêtes de l'icosaèdre 0123456789 10 11 suivant 0,4 ; 4,5 ; 5,1 ; 5,10 ; 1,6 ; 6,11 ; 11,7 ; 7,2 ; 2,8 ; 8,3 ; et 11,9 ; et développons l'icosaèdre. Nous obtenons la fig. 4 b où l'on voit que cette opération décompose l'icosaèdre en deux octaèdres et un tétrahédre. En effet on peut opérer les coïncidences suivantes :

A : 5,9 ; 1,11 ce qui donne un tétraèdre.

B : 2,3 ; 10', 11' ; 7, 5', 0, ce qui donne un octaèdre.

C : 5'', 6 ; 8', 7' ; 4', 3, 11'', ce qui donne un deuxième octaèdre.

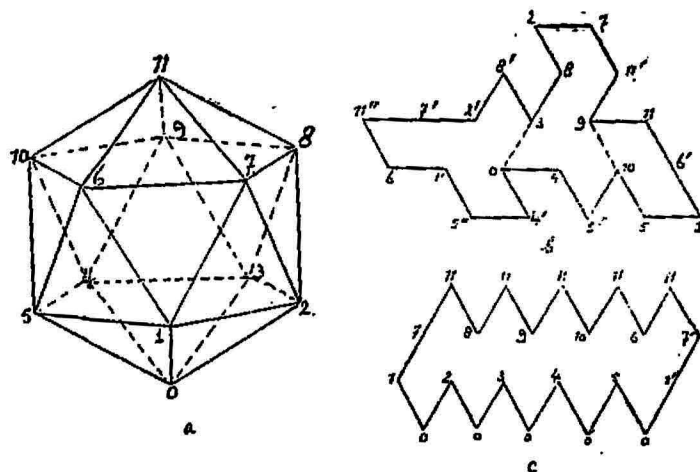


FIG. 4. — Deux développements de l'icosaèdre.

Ainsi l'icosaèdre est divisé en deux octaèdres dont l'arête commune est 0,3 et un tétraèdre lié par l'arête 9,10.

Si le développement était opéré suivant la représentation de la figure 4 c, on obtiendrait évidemment cinq tétraèdres.

Ces décompositions purement géométriques peuvent être exprimées par les équations stœchiométriques suivantes :

$$O = 2T, \quad I = 2O + T = 5T,$$

où T, O, I désignent respectivement le tétraèdre, l'octaèdre et l'icosaèdre de même arête.

III. — Les réactions des particules élémentaires.

Pour bien comprendre la théorie de Timée, il est essentiel, à notre avis, de distinguer nettement d'une part les réactions de particules isolées, tout à fait séparées des autres particules de même espèce, d'autre part les réactions des conglomerats entre eux.

Il importe également de ne pas confondre les réactions « physiques » et les réactions « chimiques » : pour qu'une réaction

soit chimique, il faut que les particules élémentaires subissent des modifications. Une réaction physique ne comporte qu'un changement de configuration dans l'espace, ou bien une autre répartition, par exemple suivant le « principe du crible » [53a] selon lequel les particules de dimensions et d'espères identiques ont tendance à se rassembler dans une même région de l'espace.

Le dodécaèdre n'intervient pas dans notre discussion. Il représente la forme de l'Univers, du Tout. On sait que, suivant le dialogue du Phédon, si l'on regardait la Terre du dehors et à grande distance, celle-ci apparaîtrait comme un dodécaèdre polychrome. Or, d'après les données reprises dans le tableau 1, c'est bien le volume du dodécaèdre inscrit à la sphère qui se rapproche le plus de celui de la sphère, contrairement à ce que « l'analogie » avec le plan pourrait faire croire. En effet, dans le plan, le polygone régulier donnera une approximation du cercle d'autant meilleure que le nombre de ses côtés sera plus grand, tandis que dans l'espace à trois dimensions ce n'est pas l'icosaèdre, mais le dodécaèdre, qui se rapproche le plus de la sphère.

La transformation des particules élémentaires peut s'opérer lorsque celles-ci sont coupées suivant les arêtes des polyèdres. Les dièdres les plus aigus pourront couper ceux dont l'angle est supérieur. Le tétraèdre agissant sur d'autres polyèdres pourra les découper tous, sauf bien entendu les autres tétraèdres. Ainsi dans la suite,

tétraèdre, hexaèdre, octaèdre, icosaèdre, chacun pourra couper les suivants (mais ni les précédents, ni ceux de même espèce) et ceci grâce à un processus de détachement des polygones latéraux suivant les arêtes.

Cette faculté est indépendante de la dimension des polyèdres. Ajoutons que les arêtes peuvent se fendre spontanément afin qu'une « condensation de deux tétraèdres en un octaèdre » — ou toute autre transformation — s'effectue. Nous examinerons par la suite plus en détail ce libre arbitre des particules.

Pour Timée, ces particules, qui ont le pouvoir de détacher les faces de tous les autres éléments suivant leurs arêtes, ces tétraèdres, correspondent au feu. L'octaèdre représentera l'air, et l'icosaèdre sera l'eau. Enfin le cube correspond à la terre.

Considérons maintenant un octaèdre isolé, mais entouré et

déchiré par des tétraèdres : une seule possibilité s'offre à l'octaèdre, celle de se décomposer en deux tétraèdres. La réaction est alors terminée. Réciproquement : si deux tétraèdres se rencontrent, ils peuvent spontanément s'ouvrir selon leurs arêtes pour se condenser en un seul octaèdre.

D'autre part, supposons un seul icosaèdre entouré par d'autres particules. Il peut être déchiré en formant d'abord deux octaèdres et un tétraèdre, mais si la réaction se poursuit, les deux octaèdres peuvent à leur tour être décomposés en tétraèdres, la réaction est alors achevée.

Ce processus est conforme aux indications et aux données de Timée. Au cours de ces réactions il y a toujours *conservation de la surface*.

Étudions les variations correspondantes de volume :

a. Pour deux tétraèdres, l'on a :

$$\frac{1}{6} a^3 \sqrt{2} = 0,235 a^3,$$

tandis que pour un octaèdre on a :

$$\frac{1}{3} a^3 \sqrt{2} = 0,471 a^3.$$

le volume est donc réduit de moitié lors de la décomposition de l'octaèdre.

b. Pour cinq tétraèdres, l'on a :

$$\frac{5}{12} a^3 \sqrt{2} = 0,589 a^3.$$

pour un tétraèdre et 2 octaèdres, l'on a :

$$\frac{3}{4} a^3 \sqrt{2} = 1,06 a^3.$$

tandis que par l'icosaèdre le volume est :

$$\frac{5}{12} a^3 (3 + \sqrt{5}) = 2,18 a^3.$$

et ce simple calcul suffit à montrer, ici encore, la diminution du volume total par suite de la décomposition de l'icosaèdre primitif — sans qu'il y ait lieu d'invoquer des théorèmes plus généraux.

Donc si l'on suppose que les propriétés auxquelles sont dues les phénomènes de pesanteur, de pondérabilité, ont une répartition spatiale, une densité continue à l'intérieur des particules élémentaires, on sera forcé d'admettre soit une énorme augmen-

tation de la densité, soit une annihilation de « matière » pendant les réactions.

Pour échapper à cette alternative déplaisante, il suffit d'affirmer que l'espace limité par les particules est — presque — vide et que toute qualité responsable des effets pondérables se trouve localisée à la surface¹. (Cf. la distribution de l'électricité et du magnétisme selon la théorie primitive et quelque peu naïve de ces phénomènes, ou les lacunes dans l'atome selon les théories actuelles.)

Timée constate aussi, et de façon explicite, que les particules élémentaires n'ont pas toutes les mêmes dimensions [57 c]. Considérant que le feu fait passer l'eau de forme solide en eau de forme liquide, il affirme que dans ce dernier état les particules sont plus petites et plus agiles, tandis que dans l'état solide les particules sont plus grandes. Il y a donc des réactions qui diminuent la longueur des arêtes des polyèdres. Cette possibilité étant admise, Timée va considérer les triangles équilatéraux comme constitués par six triangles rectangles — obtenus en traçant les médianes — tandis que le carré sera formé de quatre triangles rectangles isocèles — obtenus en traçant les diagonales. On pourra continuer la division dans le carré en traçant la hauteur des triangles rectangles isocèles sur l'hypoténuse, et ceci aussi souvent que l'on voudra. De même dans les triangles rectangles formés à partir du triangle équilatéral, on peut tracer la médiane sur l'hypoténuse et les parallèles aux côtés de l'angle droit, ce qui donne quatre triangles rectangles semblables aux premiers et dont les côtés sont dans le rapport 2/1. Mais aussi loin que l'on pousse cette division on ne pourra jamais trouver un type de triangle commun au carré et au triangle équilatéral, puisque le carré est soumis à une loi en racine carrée de 2, et le triangle équilatéral à une loi en racine carrée de 3, c'est-à-dire à des irrationnels différents².

1. Déjà noté par Th. H. Martin.

2. Si Timée divise le carré en quatre triangles par le tracé des deux diagonales, et le triangle équilatéral en six triangles partiels, c'est qu'il y a une nécessité fondamentale pour ce faire. En effet, procédant autrement, il créerait une dissymétrie entre les sommets des polyèdres. De plus nous discutons plus loin un autre argument, à propos du phénomène d'« écrasement ».

Que ce soit par l'action du feu, de l'air ou de l'eau, jamais la terre — le cube — ne pourra être transformée en quoi que ce soit d'autre : elle restera terre. Les différentes sortes de « terre » se

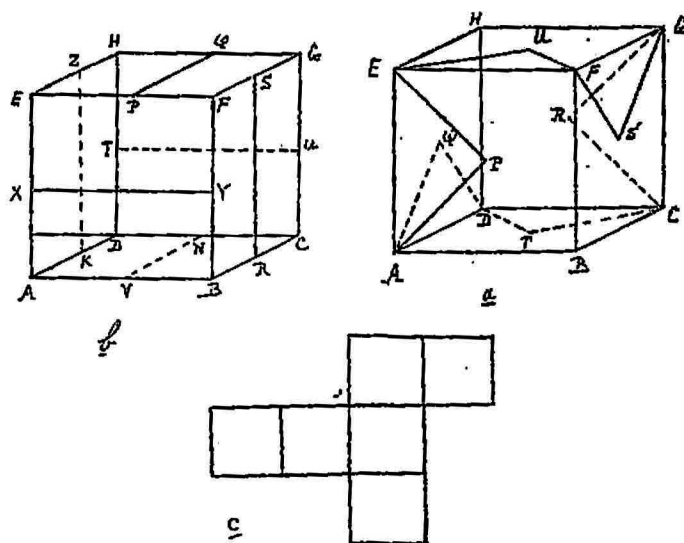


FIG. 5. — a. Décomposition du cube en deux par la section APEUFGSGRCTDQA.
b. Décomposition du cube ABCDEFGH en quatre cubes :
1. ARXY + AEZK + ADVW
2. CBVW + CRSG + CUTD
3. HEFG + HZKD + HGTU
4. FENY + FHRS + FPQG
c. Développement des cubes partiels.

distinguent en premier lieu par la dimension de leurs particules élémentaires, et en second lieu par leur configuration spatiale.

Cette interprétation élimine quelques contradictions qui n'étaient qu'apparentes.

A. Plus les particules sont petites, plus elles sont légères et agiles. D'autre part, les corps les plus denses sont formés par les particules les plus petites et les plus homogènes [59 b].

En effet, considérons un cube, d'arête d . Sa surface totale sera $6d^2$, ce qui correspond à la quantité de « matière pondérable » qui se trouve dans l'espace dont le volume est d^3 . Supposons que

ce même volume soit occupé par huit cubes d'arête $d/2$, la matière pondérable correspondant à leur surface totale, sera 8 fois $3d^2/2$, soit $12d^2$, la densité macroscopique est donc doublée lorsque le même volume est occupé par des particules plus petites *.

B. Il est clair que cette division en triangles s'impose comme étant la seule à permettre la formation de plus petites particules de même espèce en nombre aussi peu élevé que possible (respectivement 2 et 3) ; ainsi ce processus devient une nécessité et toute idée de fantaisie disparaît. Du fait que Timée introduit dès le début le triangle rectangle, on n'en voit peut-être pas immédiatement la nécessité.

Enfin notre hypothèse élimine le « monstrum » d'un hexaèdre disséqué après avoir été déchiré par le feu et flottant dans l'espace jusqu'à ce que ses différentes faces trouvent le moyen de se rejoindre. Au contraire si le feu découpe la terre suivant les côtés des triangles rectangles partiels qui la composent, elle pourra se recombinaison — comme d'ailleurs les autres particules constituant l'air ou l'eau — sous la forme d'une autre terre à particules plus petites, plus légères au sens absolu, plus agiles, capables aussi de se soustraire à l'action du feu en « fondant et coulant » (au point de vue macroscopique), ou bien simplement en « fuyant ».

C. Lors de la division en triangles rectangles des faces latérales des polyèdres apparaît une complication, mais là où les commentateurs ont cru voir une erreur de Timée il nous semble au contraire qu'il demeure parfaitement conséquent avec lui-même.

En effet, examinons une face. Les triangles partiels s'y juxtaposent et leurs côtés forment un dièdre de 180° , angle supérieur à celui de tout polyèdre régulier. Donc ces côtés pourront, en principe, être découpés par tout polyèdre convexe. On est ainsi amené à considérer des coupures de deuxième ordre ; il s'agit, en

* Remarque. — Nous laissons au lecteur le soin de vérifier qu'il est possible de découper un tétraèdre, un octaèdre, ou un icosaèdre — suivant les côtés des triangles rectangles constituant les faces latérales — en trois parties cohérentes permettant de former des polyèdres correspondants plus petits, suivant un facteur en $\sqrt{3}$ pour les longueurs. Nous donnons seulement (fig. 5) une décomposition du cube en deux et quatre cubes plus petits, qui met en évidence que ce n'est pas seulement pour des raisons de symétrie que Timée utilise les deux diagonales du carré au lieu d'une seule, dans la décomposition du carré en triangles.

1. Cf. J. S. Taylor, *loc. cit.*, p. 399-430 passim. F. M. Cornford, *Plato's cosmology*, London, 1948, p. 212-274.

effet, de l'attaque de la structure même des faces, et non plus de celle du plus grand dièdre.

Remarquons, à l'appui de cette assertion, que Timée se sert de deux termes différents, quand il s'agit de la « séparation des faces », de déchirures interfaciales (*διαλυσιν*), ou lorsqu'il décrit le processus de la division de la structure intrafaciale, la face étant alors « écrasée », « émietlée » (*κατασπρώω*) [56 e, 57 b].

De plus, dans sa description générale, Timée [57 b], rappelle les deux possibilités qui s'offrent aux petites particules environnées de particules plus grandes : soit d'être écrasées, soit de consentir librement à se condenser en particules plus grandes. Le verbe *ἰσθάνω* renforce notre hypothèse : la transformation doit s'effectuer spontanément dans le sens de la condensation.

4. Les conglomérats.

Timée admet explicitement l'existence de conglomérats, mélanges de différents corpuscules dans lesquels les particules, quoique de structures différentes ne s'attaquent pas.

Par exemple : l'expulsion du feu est appelée refroidissement, et la sortie du feu est nommée congélation [59]. Et Timée dit aussi que le feu et l'air peuvent traverser les interstices de la terre, facilement, sans violence, laissant la particule de terre sans la dissoudre ni la fondre [60 c].

Il s'ensuit que si la terre a été condensée brutalement, il n'y a plus — ou presque plus — d'interstices entre les particules, et l'eau dont l'angle dièdre est plus grand que 90° ne peut plus attaquer la terre, rompre ses particules ou les dissoudre. Le feu seul, dont le dièdre est inférieur à 90° profitera des interstices et il pourra atteindre les arêtes des cubes de la terre, simultanément du dehors et de l'intérieur. Mais pour fondre la terre, c'est-à-dire pour diminuer les dimensions des cubes, il faudra réduire les faces des particules jusqu'en ses triangles rectangles, c'est-à-dire écraser la terre par une réaction du deuxième ordre. L'accès (*εἰσόδος*) n'est permis qu'au feu [61 a]. Ces réactions sur la terre seront de préférence de nature physique. Le feu même commence par agir sur l'eau comme l'eau sur la terre, ou le feu sur l'air [61 b].

L'air violemment condensé ne peut être dissocié sans que l'élément ne soit détruit. En effet, calculons le dièdre restant lorsque

l'on a trois octaèdres groupés autour d'une arête commune :

$$360^\circ - 3 (109^\circ 28' 16'', 4) = 31^\circ 36' 10'', 8$$

donc un assemblage d'octaèdres « sous pression » aura des interstices dont l'angle sera inférieur à celui de tous les éléments. Même le feu ne trouvera pas d'entrée. Dans ce cas le feu ne pourra donc agir qu'en détruisant les octaèdres.

Mais la terre a, elle aussi, un angle dièdre plus petit que celui de l'octaèdre, elle pourrait donc rompre les particules de l'air par une réaction du premier ordre ! Timée aurait-il oublié de faire mention de cela ? Si nous examinons de plus près ce qui se passe, nous allons voir que l'attaque par la terre mènerait à un réel « suicide ». En effet, supposons que le cube — terre — attaque l'octaèdre et le divise en deux tétraèdres : il va se trouver face à face avec deux particules de feu qui le détruiront, à moins qu'il ne puisse fuir, auquel cas les tétraèdres se recombinaient pour donner à nouveau la structure initiale. Or, l'attaque subie par le cube est déjà permise au moment où la décomposition de l'octaèdre commence, du fait de la séparation d'un premier tétraèdre. La réaction achevée donne donc, soit un état de choses identique à celui qui précédait l'attaque, soit un conglomérat d'air inchangé et une particule de terre divisée en cubes plus petits. C'est donc à juste titre que Timée écarte ce cas absurde.

Quant à l'eau, il n'y a également que le feu qui puisse rompre sa condensation la plus violente [61]. Là non plus, pas de contradiction. Le cube ou l'octaèdre peuvent décomposer la particule d'eau isolée. Mais le conglomérat d'icosaèdres, lorsqu'il y a forte condensation, apparaît comme un bérillon. Les interstices entre deux particules contigües ne forment qu'un dièdre d'environ 83° que ni la terre ni l'air ne peuvent pénétrer. Seul le feu, entrant dans ces interstices pourra dissocier l'assemblage.

Or, les différents icosaèdres du conglomérat ne présentent que quelques-unes de leurs faces, et si l'octaèdre ou le cube venaient à l'attaque, ils ne trouveraient qu'au plus cinq faces devant eux. Il leur serait donc impossible de commencer par détacher plus d'un tétraèdre des icosaèdres, à ce moment, comme nous l'avons indiqué plus haut, ils ne peuvent que battre en retraite s'ils ne veulent être détruits à leur tour. Le tétraèdre ne pourra pas quitter un icosaèdre démantelé par cette mutilation, il sera tenu de compléter immédiatement le bel édifice icosaédrique. L'as-

semblage de particules d'eau demeurera intact : il est donc bien évident qu'il ne se passera rien.

De ce qui vient d'être exposé il résulte que les relations « pythagoriciennes » qui ne prennent en considération que les relations numériques relatives au nombre des triangles délimitant les corps, soient :

$$8 = 2 \times 4, \quad 20 = (2 \times 8) + 4,$$

dont certains commentateurs comme J. S. Taylor et F. M. Cornford se sont contentés, ne suffisent pas à expliquer la discussion du *Timée*. La différence entre l'interprétation que nous donnons, qui permet d'éliminer de soi-disantes « contradictions », et l'explication « pythagoricienne » basée uniquement sur des nombres, réside dans le principe de l'*économie des coupures*.

L'interprétation pythagoricienne qui réduit la surface en triangles, puis les fait se mouvoir en toutes directions, quitte à les laisser se recombiner au hasard, conduit, en effet, à des contradictions flagrantes. Celles-ci disparaissent si l'on analyse, d'une part, les réactions entre particules isolées, d'autre part, celles entre systèmes de corpuscules — appliquant toujours le principe de l'économie des coupures, dont résulte directement celui de la conservation de la structure initiale autant que faire se peut.

E. M. BRUNS.