Bonsoir, chers esprits éclairés, l’histoire que je vais vous raconter est une histoire peu banale, c’est l’histoire du vide. Enfin, pas n’importe quel vide, le vide de la physique, un vide, tout sauf vide de sens, dont la physique a fait une entité réelle où la vacuité n’est qu’une illusion. Un vide qui ne sait même pas être vide, tout un concept!

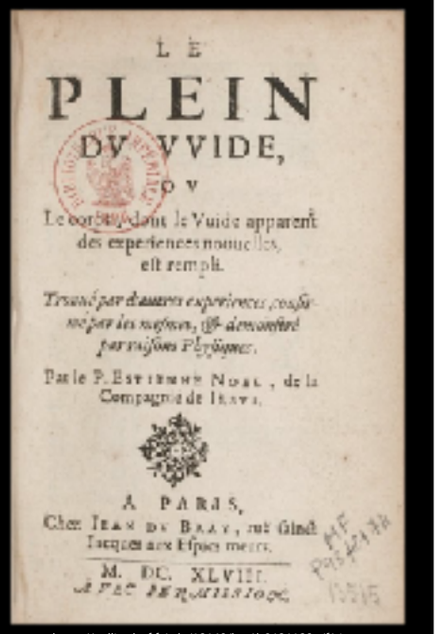
Pourquoi diable s’intéresser au vide ? Parce que, figurez-vous, le vide joue un rôle crucial dans tout. Que ce soit dans l’essor de la technologie, dans le progrès des sciences, dans notre compréhension de la Nature et même dans l'histoire de l’Univers, paradoxal non ? Et puis le vide ne vous intrigue-t-il pas ? Peut-être va-t-il même vous fasciner et à coup sûr vous perturber. Et si ce n’est pas le cas maintenant, cela va l’être à coup sur d’ici la fin de cette série de cours.

Le concept de vide est arrivé assez tardivement dans l’histoire de la pensée. Mais une fois apparu, il n’a pas laissé les esprits indifférents. Les philosophes de l’antiquité s’y sont attaqués les premiers (parce qu’ils adorent se creuser la tête, même sur rien). Ensuite, les physiciens ont pris le relais. Le questionnement est resté : le vide existe-t-il ou pas ? Est-il nécessaire ou pas ? Impossible ou pas ? La Nature en a-t-elle horreur ou au contraire en est-elle tributaire ? Si le vide existe, pourrait-il être plein de quelque chose ? Si c’est le cas, l'Univers pourrait-il émaner de ce plein ? Une cascade de questions qui donnent le tournis rien qu’en les formulant, mais qui, en échange, ont inspiré des débats passionnés depuis des siècles.

C'est un peu avec tout cela que je me propose de vous divertir, persuadé que, devant cet auditoire éclairé et curieux, je ne parlerai pas dans le vide. Blaise Pascal pensait que *L'homme se divertit par horreur du vide*. Mais moi, je préfère penser qu’on peut s’amuser en parlant du vide. Un vrai divertissement, promis.

Pourquoi ai-je intitulé ce cours "Le Plein du Vide » ? Parce que je pense que cet oxymore capture parfaitement ce que la physique a fait du vide : vide que l’on associe spontanément à l'absence, la physique en fait présence, présence nécessaire pour décrire le fonctionnement de la Nature, présence de multiples choses immatérielles ou abstractions mathématiques nées de l'imagination féconde des physiciens. Précisons que ces choses immatérielles ne sont perceptibles par nos sens mais cependant induisent des effets bien réels auxquels les appareillages de l’expérimentateur sont sensibles.

Le Plein du Vide


LE
PLEIN
DV VVIDE,
OV
Le corps dont le Vuide apparent
des experiences nouuelles,
est rempli.
Trouué par d'autres experiences, confir-
mées par les raisons, & demontré
par raisons Physiques.
Par le P. Estienne Noel, de la
Compagnie de Iesvs.
A PARIS,
Chez Iean de Bray, rue Gilet
Iacques aux Espics meurs.
M. DC. XLVIII.
AVEC PERMISSION.

https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8626190q/f1.item

J'ai en fait chipé le titre au Père Noel, plus précisément Etienne Noel, jésuite, théologien catholique et grammairien français, qui pour tourner en dérision les expériences et les interprétations du vide de la famille Pascal avait publié en 1648 un opuscule ainsi intitulé.

Le sous titre en était : *le Corps, dont le vide apparent des expériences nouvelles est rempli*, corps dont il prétendait démontrer l'existence par des expériences de physique.

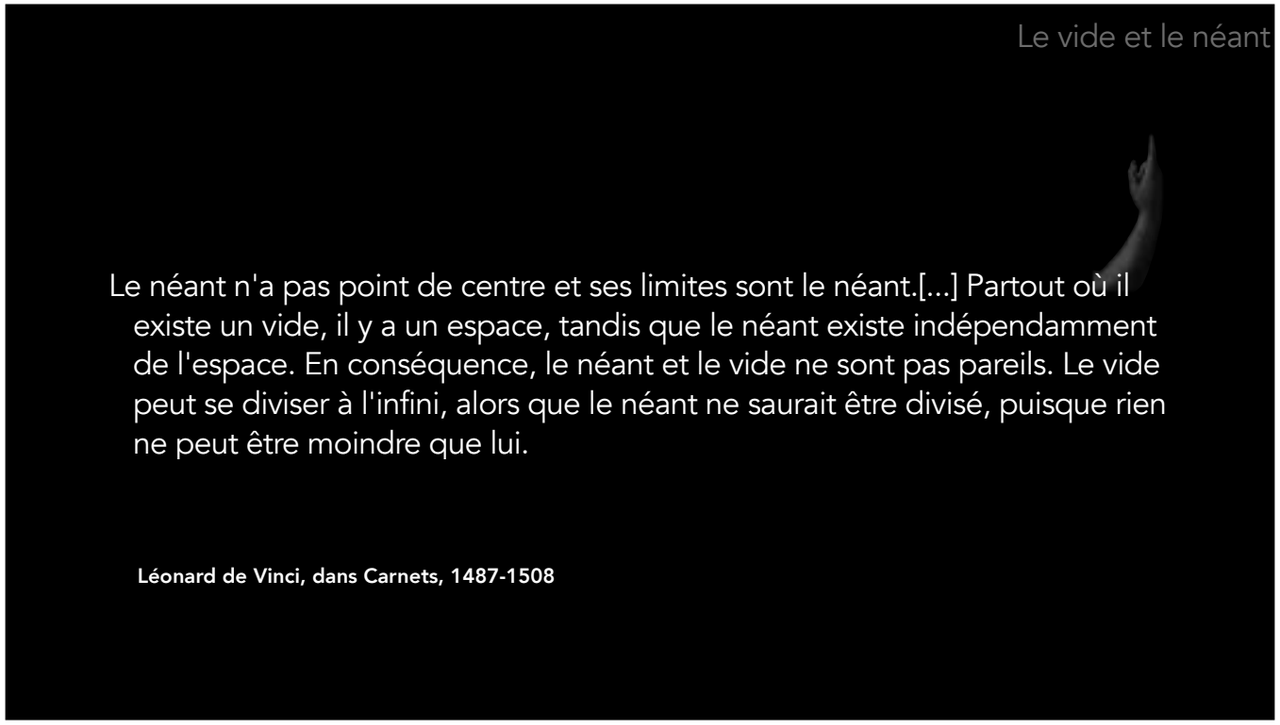
Mais n'anticipons pas.

L'iconographie du vide ayant ses limites, vous pardonnerez, j'espère, la pauvreté du support visuel qui accompagnera le narratif.

Dernier avertissement : pensez à réviser mes cours précédents, tous mes cours précédents.

Alors, prêts à plonger dans le vide ?

Commençons par une clarification de vocabulaire et distinguons immédiatement le néant du vide, une distinction qui a tardé à s'imposer dans l'histoire des sciences, les deux termes étant souvent indistinctement employés pour désigner la même chose, et ce jusqu'à la fin du 16ème siècle.



Ainsi, dans ses Carnets, Léonard de Vinci (1452-1519) met les choses au point, le premier à voir plus loin que le bout de son néant :

Le néant n'a point de centre et ses limites sont le néant.\[...\] Partout où il existe un vide, il y a un espace, tandis que le néant existe indépendamment de l'espace. En conséquence, le néant et le vide ne sont pas pareils. Le vide peut se diviser à l'infini, alors que le néant ne saurait être divisé, puisque rien ne peut être moindre que lui.

et il continue :

Dans la nature, le néant ne se rencontre point ; il s’associe aux choses impossibles, raison pour laquelle on dit qu’il n’a pas d’existence.

Le néant n'est donc pas le vide, c'est l'absence de tout y compris de l'Univers, de sa matière mais aussi de son espace et de son temps. Comme nous le rappelle Léonard, le néant n'a pas de dimension, au bord du néant c'est encore le néant. Au contraire du vide auquel il associe un espace.

Néanmoins, que peut dire un physicien à propos du néant , c'est-à-dire de ce qui n'est pas et de ce qui n'a aucune propriété physique ? Rien ! En fait, peut-on seulement penser le néant ? Penser le néant c'est déjà penser à quelque chose et le néant ne peut pas être quelque chose. Je crois qu'il vaut mieux ne pas y penser.

Voilà, j'en ai déjà trop dit et je préfère laisser les philosophes se débrouiller avec le néant et je vous laisse méditer cet aphorisme de Henri Bergson :

« Le néant n'est qu'une pseudo-idée, destructrice d'elle même ».

Victor Hugo (1802-1885) : "Le nihilisme n'a pas de substance. Le néant n'existe pas et le zéro n'existe pas. Tout est quelque chose. Rien n'est rien.

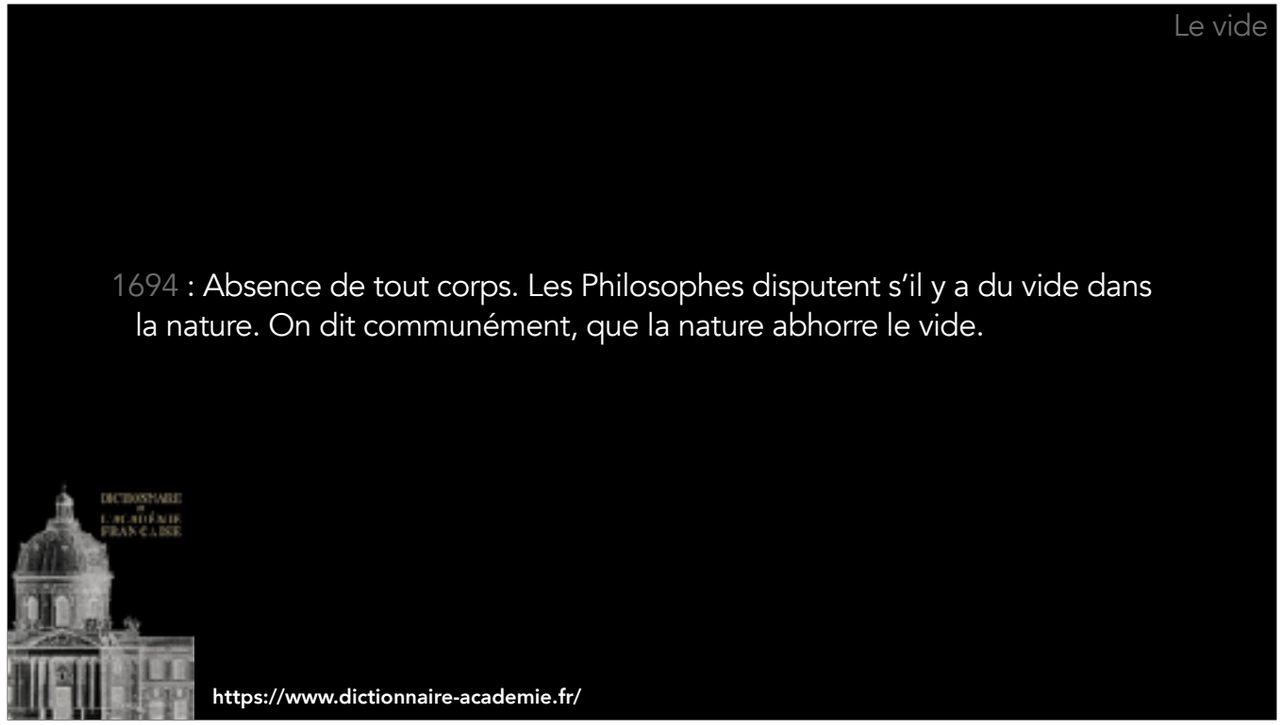
Selon les mathématiciens : l'ensemble vide ne contient rien, mais comme c'est un ensemble, il n’est pas rien.

Oublions donc le néant et intéressons-nous au vide.

Au contraire du néant, le vide existe, on peut le penser, il a une dimension, une extension spatiale.

On pourrait définir le vide comme l'absence de matière dans un certain volume d’espace.

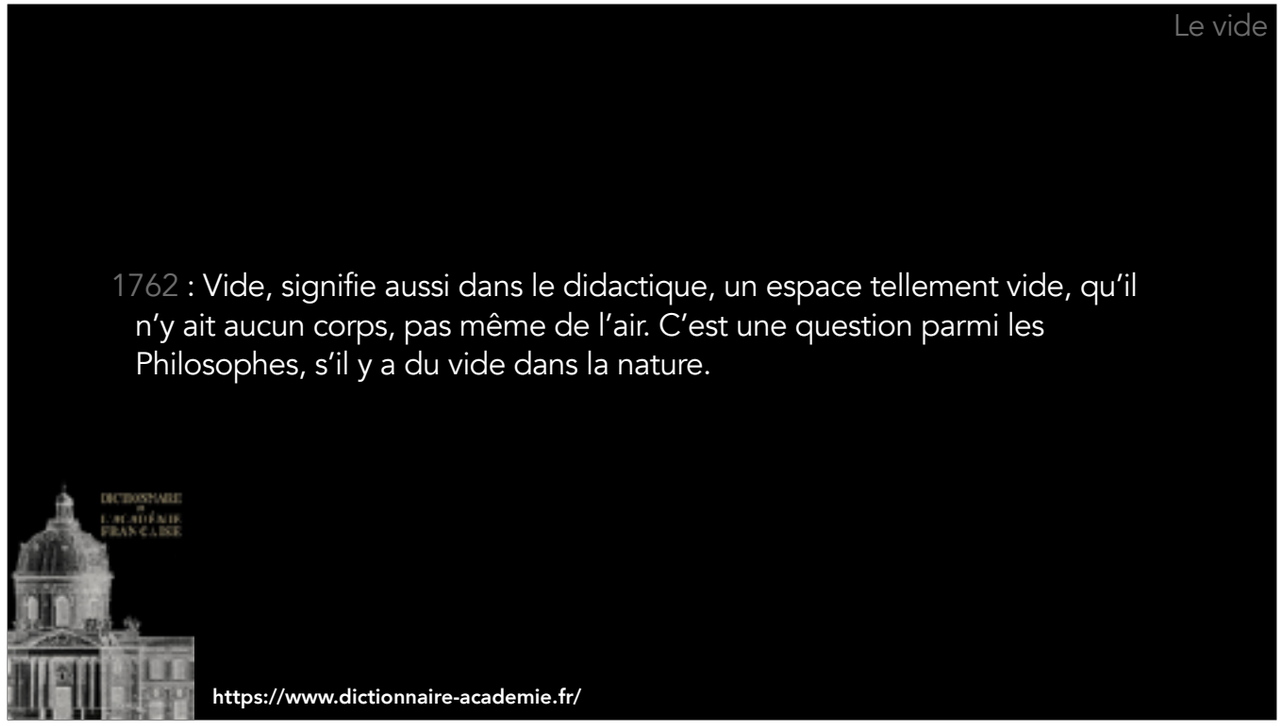
Par curiosité, consultons le Dictionnaire de l'Académie et examinons ce que nos académiciens nous disent du vide.



Plus précisément examinons comment cette définition a évolué avec le temps, chaque édition nous donnant un instantané (!!!! Créée en 1635) de la science en marche :

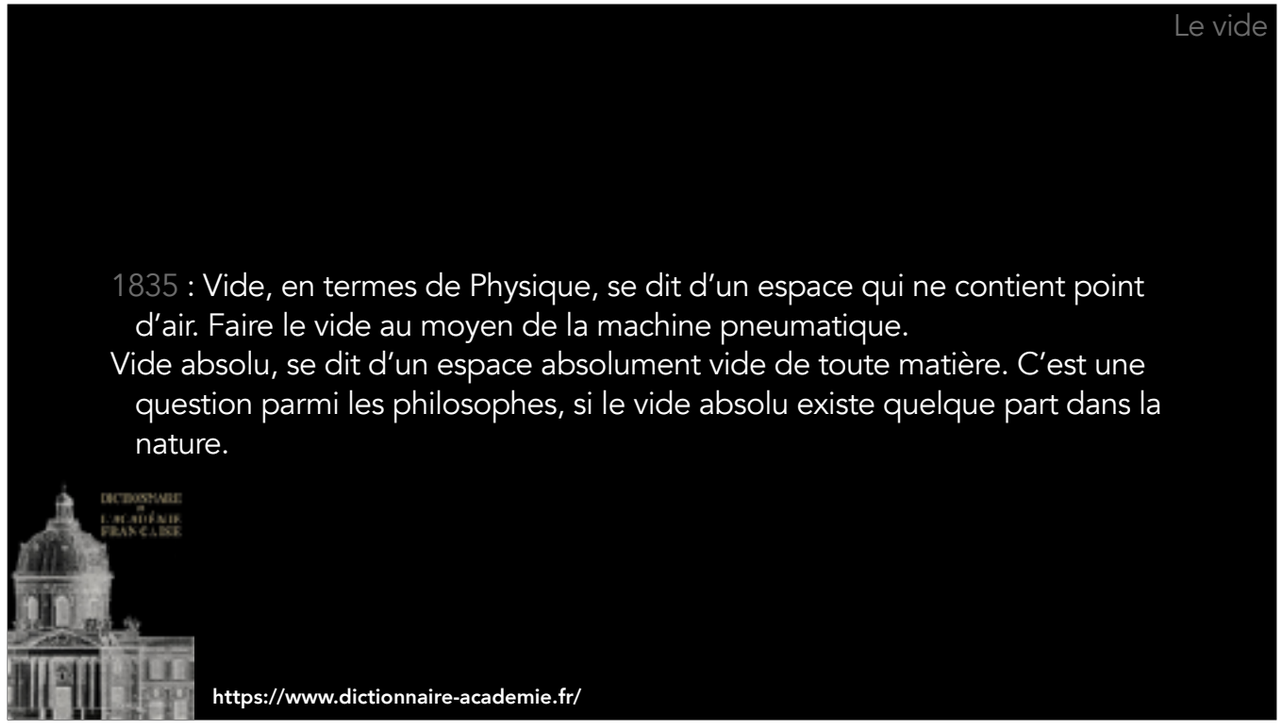
- 1694 (Première édition) : *Absence de tout corps. Les Philosophes disputent s’il y a du vide dans la nature. On dit communément, que la nature abhorre le vide.*

Fin du 17ème siècle, près de 50 ans après la fin de la querelle du vide (j'y reviendrai), l'académie s'interroge sur son existence.



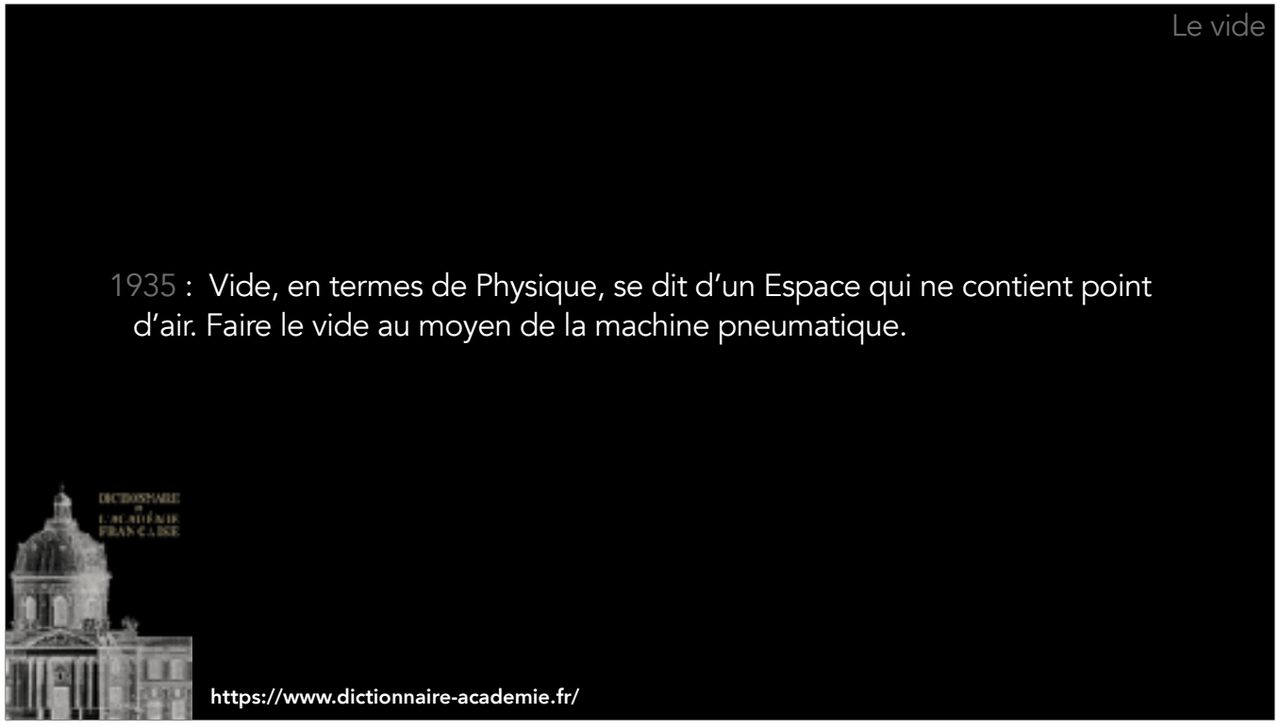
- 1762 (Quatrième édition) : *Vide, signifie aussi dans le didactique (qui appartient à la langue des sciences et des technique), un espace tellement vide, qu'il n'y ait aucun corps, pas même de l'air. C'est une question parmi les Philosophes, s'il y a du vide dans la nature.*

Au 18ème siècle les philosophes s'interrogent encore de l'existence du vide. Et les physiciens alors ? Au moins les académiciens reconnaissent-ils que la Nature n'en a plus horreur.



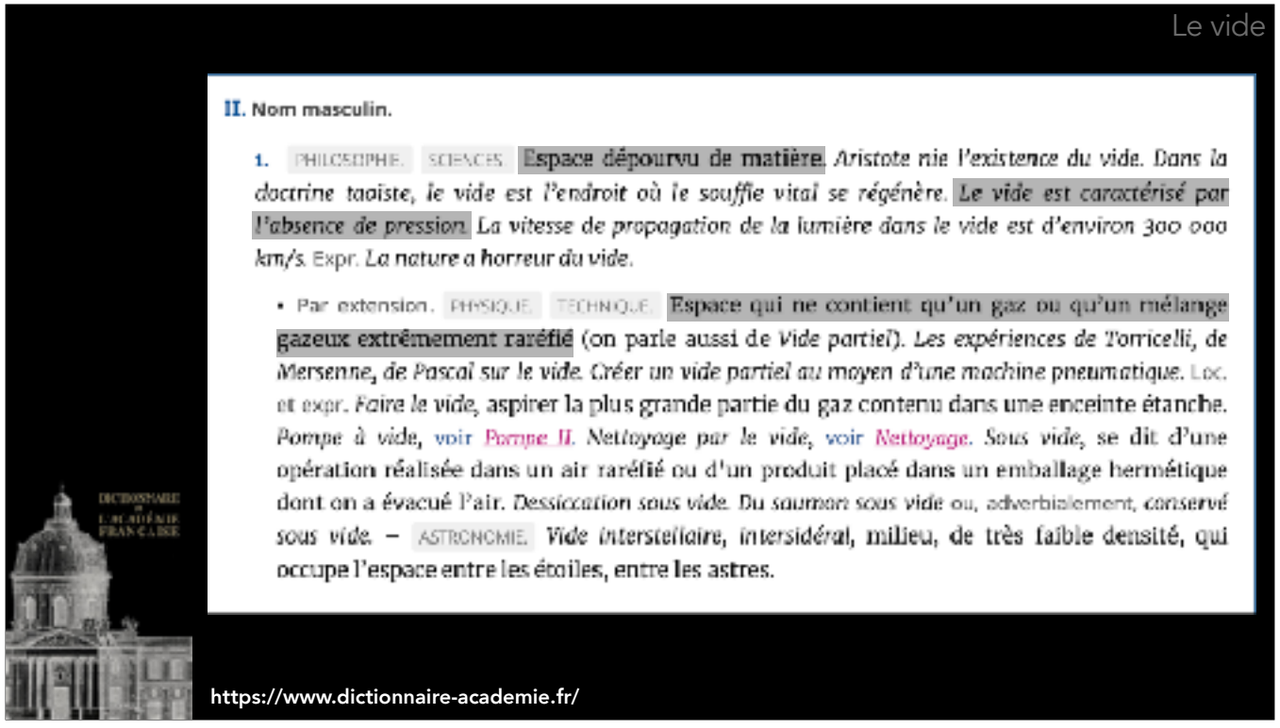
- 1835 (sixième édition) : *Vide, en termes de Physique, se dit d’un espace qui ne contient point d’air. Faire le vide au moyen de la machine pneumatique (1650). Vide absolu, se dit d’un espace absolument vide de toute matière. C’est une question parmi les philosophes, si le vide absolu existe quelque part dans la nature.*

Au début du 19ème siècle, l'Académie fait la distinction entre le vide technique bien réel et un vide absolu dont l'existence reste douteuse parmi les philosophes.



- 1935 (Huitième édition) : *Vide, en termes de Physique, se dit d’un Espace qui ne contient point d’air. Faire le vide au moyen de la machine pneumatique.*

Au début du 20ème siècle, la définition a gagné en concision mais du coup est très restrictive. Curieusement le *vide absolu a disparu*. Il semblerait aussi qu'au début du 20ème siècle, plus personne ne doute de l'existence du vide.



La 9ème édition est venue à point nommé pour ce cours, publiée en novembre 2024, après un travail acharné de 84 années les Immortels ont bouclé cet ouvrage.

L'entrée sur le vide y gagne une définition bien plus contemporaine par rapport aux éditions précédentes même si ...

Le vide est bien associé à un espace, un espace dépourvu de toute matière et caractérisé par l'absence de pression. Nous verrons lors des prochains cours, que cette définition fait l'impasse sur la mécanique quantique et ainsi ignore les choses immatérielles présentes dans le vide ... dommage !

Il donne en revanche la bonne définition de ce que j'appellerai par la suite le vide commun : un espace qui ne contient qu'un gaz extrêmement raréfié.

Curieusement ils font encore référence à Roger Bacon qui au 13ème siècle invoquait l'horreur du vide qu'éprouverait la nature. Vrai ou faux ? Nous en reparlerons.

Bon, la mission de l'Académie n'est pas de rédiger un dictionnaire scientifique, on excusera donc les rares approximations.

Rebondissons donc sur la définition du vide donné par les académiciens et interrogeons-nous si le vide comme absence de matière est vraiment vide ?

- Prenez une bouteille, videz-la de son contenu, il restera bien une bouteille vide au sens commun du mot vide, c'est-à-dire vide du contenu pour lequel la bouteille est destinée.
- Il reste cependant de l'air dans la bouteille. Enlever cet air avec une machine pneumatique, par exemple ou avec les pompes à vide les plus performantes actuellement. Il restera toujours une dizaine de millions de molécules par cm^3.
- Mais supposons que même ces dernières molécules puissent être enlevées, il restera encore dans la bouteille le rayonnement thermique émis par le verre de la bouteille, rayonnement que l'on pourra enlever en abaissant la température de la bouteille ...
- Il faudra cependant abaisser la température au zéro absolu, ce qui par définition du zéro absolu est impossible.

Il semblerait donc que le vide ne puisse être réalisé dans notre bouteille.

Allons donc voir dans l'espace au delà de notre planète, où il semble également difficile de trouver un espace vide. En effet, en comptant

- la matière lumineuse (0,5%), une centaine de milliards de galaxies chacune avec une centaine de milliards de systèmes solaires qui, si elle était répartie uniformément dans le volume de l'univers visible, se traduirait par une densité moyenne de 0,025 atome d'hydrogène par mètre cube.
- Il y aussi la matière noire ordinaire (4,5%) qui ne brille pas et la matière noire exotique (27%) et l'énergie noire (68%, E=mc^2) qui font grimper la densité moyenne de l'univers à 5 atomes d'hydrogène par m^3
- Il y a aussi le rayonnement, le fond diffus cosmologique qui baigne l'univers tout entier et une petite contribution d'autres sortes de lumière qui proviennent des galaxies et des étoiles résultant de tout un tas de phénomènes cosmiques.

- On se retrouve ainsi avec un vide interstellaire ou intersidéral plein d'environ 1 atome d’hydrogène /cm^3 (chiffre déduit expansion de l’univers, constante de Hubble et RG) à comparer au meilleur vide possible réalisé au CERN de 0.048 atomes/cm}^3

Il apparait donc que le vide, vide de toute matière et énergie, les deux étant équivalentes, ne puisse être trouvé dans l'Univers.

Mais de quel vide parle-t-on ? Il s'agit là du vide commun que je qualifierais de technique, celui défini par l'absence de toute matière ou énergie ou pour être réaliste d'un état dans lequel la matière est très, très, très diluée.

Une fois le vide expurgé de toute matière, de tout rayonnement que reste-t-il ? Rien me direz-vous ! Et ben non, il reste ... le vide, que j'appellerai le vide de la physique. Et ce vide, philosophes et physiciens, de l'antiquité à nos jours, n'ont pas hésité à le remplir de choses immatérielles :

- L'éther d'abord dont métaphysiciens et physiciens ont rempli l'espace pour expliquer rationnellement les phénomènes de la Nature et auxquels ils sont obligés de prêter des propriétés changeantes avec le temps mais souvent extravagantes.
- Puis c'est seulement au début du 20ème siècle que l'éther est d'abord effacé des tablettes de la physique et le vide redevient vide. Mais très vite un nouvel éther avec des propriétés bien plus réalistes remplit le vide, avant d'être remplacé par une nouvelle chose immatérielle, une abstraction mathématique bien définie, le champ. D’abord le champ gravitationnel.
- Et au cours du 20ème siècle une multitude de champs ont fait leur apparition dès que la théorie des champs s’est imposée à la mécanique quantique, champ E…

Et nous voilà avec un vide grouillant de particules virtuelles et regorgeant d'énergie qui contrôle la dynamique aussi bien des corps matériels que de l'Univers dans son ensemble et ... dont la destruction est créatrice de la matière dans l'Univers et de l'Univers lui même.

Et pour ce qui nous concerne, nous avons là un bon sujet de discussion. Alors allons-y !

L’antiquité et le vide

Pour savoir comment nous sommes arrivés à ce concept du vide, commençons l’histoire par son début, en nous projetant dans l'antiquité grecque.

Les philosophes ont voulu raconter le monde de façon rationnelle, dépassant l'histoire irrationnelle racontée par la mythologie. Ils ont ainsi considéré l'existence d'un principe premier, source de tout ce qui existe, menant à une description unifiée du monde. Une démarche pas trop différente de la cosmologie actuelle. Dans un premier temps (VII-VIème siècle av. J.-C.) donc, le vide, ou l'absence de l'existant, était absent des débats.

Pour les uns (Thalès) l'eau était ce principe premier, pour d'autres c'était l'air (Anaximène), pour d'autres encore le feu (Héraclite). Les autres éléments, sont alors produits par des phénomènes de raréfaction et de condensation : le feu devient air qui devient eau qui devient terre.

Empédocle met tout le monde d'accord en considérant la terre, l'eau, le feu et l'air comme matériaux primordiaux plus une cinquième substance, la *quinte essence* ou encore l'*éther*, qui baigne tout l'univers mais qui comble également les interstices présentes dans la matière.

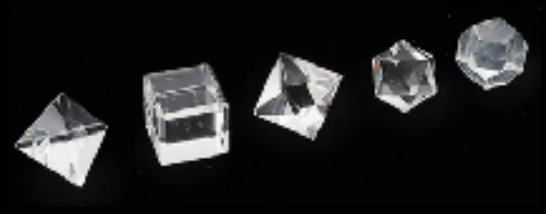
Il semblerait que la première référence au vide soit due à un disciple de Pythagore, Alcméon de Crotone, pour expliquer le phénomène de l'audition : *L'ouïe met en jeu les oreilles ; car elles contiennent du vide qui résonne et l'air répercute le son rendu par le vide*.

Le débat sur l'existence du vide est lancé et oppose plénistes et vacuistes.
Lorsque les métaphysiciens se mettent à discuter du vide, que souvent ils identifient au néant, à rien ou au non-être, la rhétorique conduit rapidement dans des impasses. Exemple : Le verbe être étant considéré comme un attribut de propriété, on dit être petit, être grand,..., alors être vide c'est posséder la vacuité, c'est-à-dire posséder quelque chose... et donc ne pas être vide !

Le débat est vif et comme souvent sur l'agora d'Athènes on peut entendre tout et son contraire. Pour rendre compte de la situation, je vous propose la fantaisie suivante.

Rencontre **I**nternationale sur l'**E**tre et le **N**on-être

Platon, Président



Jouons avec le temps et ignorons les grossières mais volontaires erreurs chronologiques, pour imaginer la fiction suivante.

Platon convie les philosophes du monde hellénique, en son Académie d'Athènes, à une conférence pour faire un état des lieux et éventuellement converger vers une synthèse destinée à la postérité.

La conférence RIEN : Rencontre Internationale sur l'Etre et le Non-être.

Venus d'Elée, Syracuse, Byzance, Abdère, Milet, Ephèse, et d'ailleurs ils ont tous répandu présent. Le monde romain est absent : les romains plutôt ingénieurs qu'adeptes de la pensée abstraite ne s'intéressent pas à la question du vide.

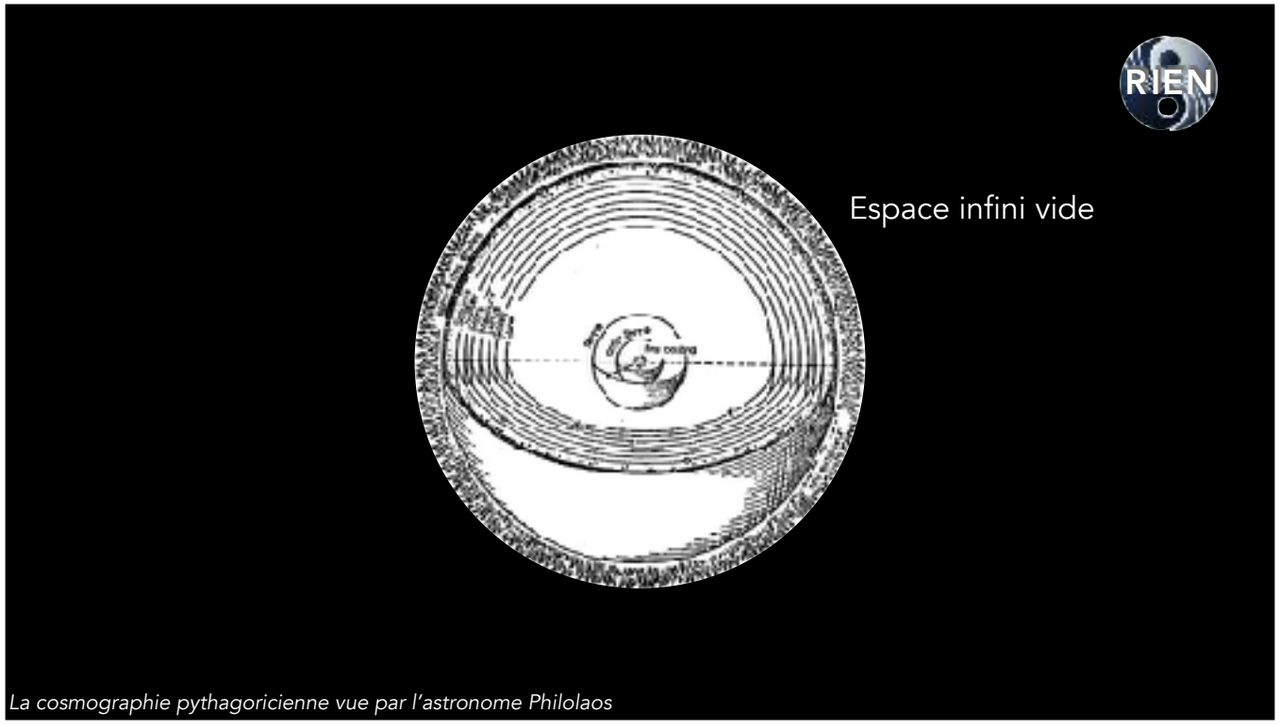
Dès l'abord, Platon, président de la conférence, déclare que les notions de vide et de plein n'ont, selon lui, aucun sens et il n'y a donc pas, toujours selon lui, à se demander si le vide existe ou non. Il précise que le monde est, selon lui, constitué par la totalité des choses sensibles, en dehors du monde il n'y a rien.

Le Démiurge ou créateur a fondé le monde sur un mélange des 4 éléments (feu, air, eau , terre) et a utilisé comme briques élémentaires des figures géométriques pressées les unes contre les autres de façon à ne pas permettre que subsiste aucune place vide.

Cependant, en bon athénien, friand de rhétorique, il est prêt à écouter les arguments en faveur de et contre l'existence du vide. Il informe l'assistance qu'il a chargé son ancien élève, le fondateur du lycée, de rédiger les comptes rendus de la conférence.

Interviennent ensuite les représentants des différentes écoles de pensée et dont je ne retiendrai que les idées saillantes.

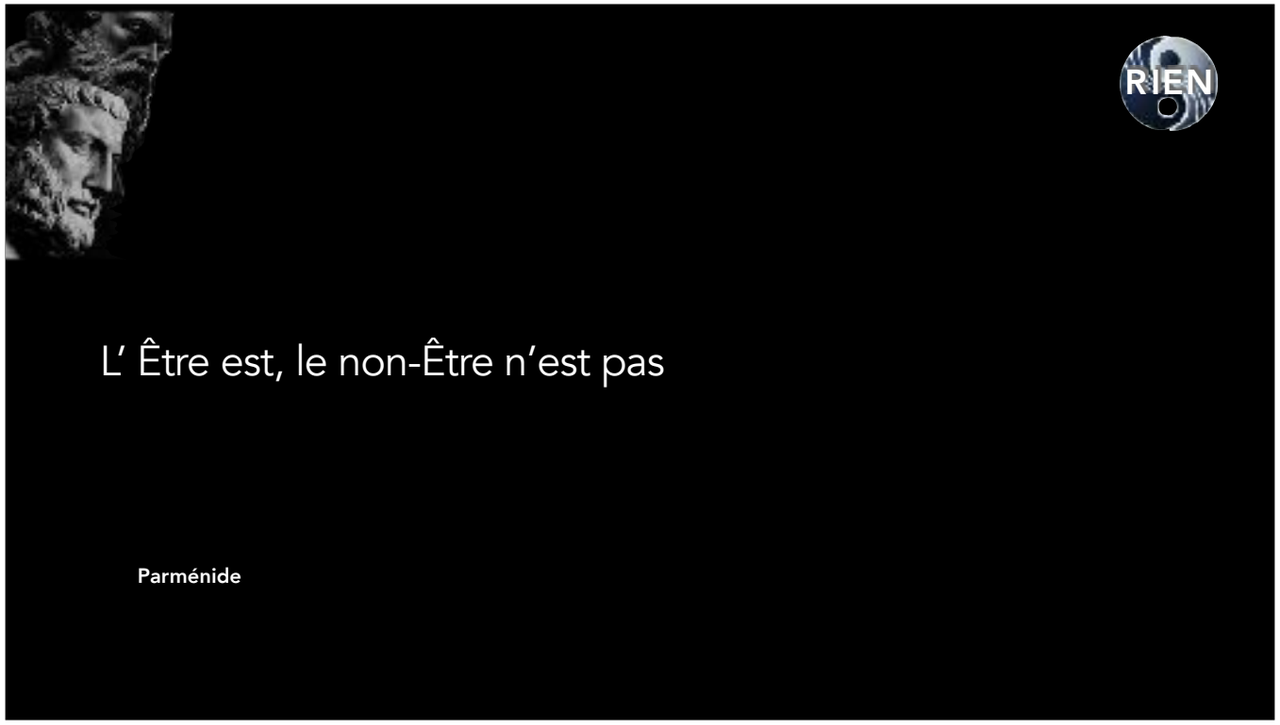
==========
Le logo met en valeur la dualité et l'équilibre entre l'existence et le non-existence.
Tétraèdre = feu
Cube = terre
Octaèdre = air
Icosaèdre = eau
Dodécaèdre = univers



La cosmographie pythagoricienne vue par l'astronome Philolaos

Pour les Pythagoriciens, il n'y a pas de doute le vide existe dans leur représentation du monde l'Un, sphérique et en mouvement, (10 sphères - Terre + anti-Terre + 7 planètes connues + Etoiles, autour d'un feu central) est fini et attire à lui le vide infini qui se trouve au delà de ses frontières.

Dès lors se pose la question suivante : si l'on se trouve sur la sphère des fixes pourrait-on tendre au dehors un bâton, oui ou non ? Il serait absurde de ne pas pouvoir le faire : mais si l'on y parvient cela implique l'existence d'un dehors, corps ou lieu.



S'affrontent ensuite Parménide et Héraclite.

Le premier, pléniste convaincu, lance l'aphorisme : *L'être est et le non-être n'est pas*

Ainsi seul l'être existe, il est intelligible, non-créé et intemporel, il ne peut pas être altéré, et est parfaitement continu (il n'y a pas de trous de vide dans la matière). L'être ne pouvant être altéré, il n’est pas engendré et n’est pas en mouvement. Il ne peut avoir ni commencement, ni fin ; et on aboutit à l'impossibilité logique de la création du monde

Le non-être, ou vide ou néant, c'est tout le contraire : il ne peut pas être intelligible ou pensé, puisque dès lors que l'on y songe il devient quelque chose :
On ne peut connaître ce qui n'est pas, ni même l'énoncer, car ce qui peut être pensé et ce qui peut exister sont une seule et même chose.

Lorsque Parménide reprend la conception du monde des pythagoriciens, un monde fini entouré de ... vide ! L'auditoire relève la contradiction de Parménide : il existe ou non le vide ?

Un élève de l'école de Parménide, Melissos de Samos, résout le paradoxe en remplaçant le monde fini et sphérique par un infini spatial occupé tout entier par le monde. Et du coup il n'y a plus de limites au delà des quelles existerait le vide. Il termine par cet aphorisme au bon gout de lapalissade : *Rien n'est vide; car le vide n'est rien et ce qui n'est rien ne peut pas être*. La force de la rhétorique ! En passant il conclut aussi à l'immobilité du monde du fait de l'inexistence du vide, le vide étant nécessaire au mouvement.

Pour ceux qui aiment le ton poétique, voici ce qu'écrit Parménide dans Poème:

*eh bien donc je vais te parler
toi, écoute mes paroles et retiens-les
je vais te dire quelles sont les deux seules voies de recherche à concevoir : la première
comment il est et qu'il n'est pas possible qu'il ne soit pas
est le chemin auquel se fier
car il suit la vérité.
La seconde, à savoir qu'il n'est pas et que le non être est nécessaire, cette voie, je te le dis , n'est qu'un sentier où ne se trouve absolument rien à quoi se fier. Car on ne peut ni connaître ce qui n'est pas
il n'y a pas là d'issue possible
ni l'énoncer en une parole*

Le rien existe aussi bien que le quelque chose

Héraclite

Héraclite, dit l'Obscur tant son style est hermétique, professe tout le contraire de Parménide :

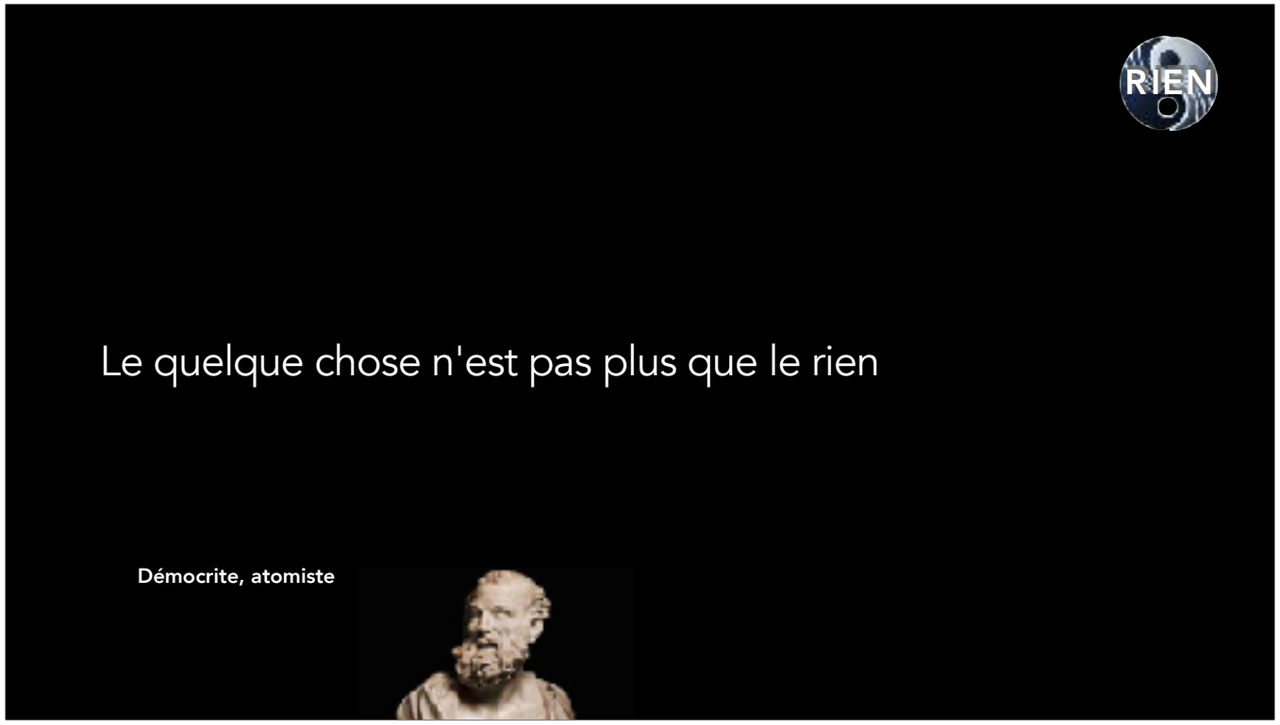
Le rien existe aussi bien que le quelque chose

Chez Héraclite tout change continuellement et perpétuellement.

On ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve.

C'est la théorie de la révolution permanente

Puisque tout est soumis au changement, rien n’est fixé et on ne peut rien opposer ni rien apparenter. Si rien n'est identifiable, alors on ne peut pas plus affirmer *l'être est* que *le non-être n'est pas*.



Vient le tour des atomistes, résolument vacuistes. Démocrite prend la parole et en bon disciple de Leucippe y va de son aphorisme :

Le quelque chose n'est pas pas plus que le rien.

Et il continue en affirmant fermement l'existence du vide :

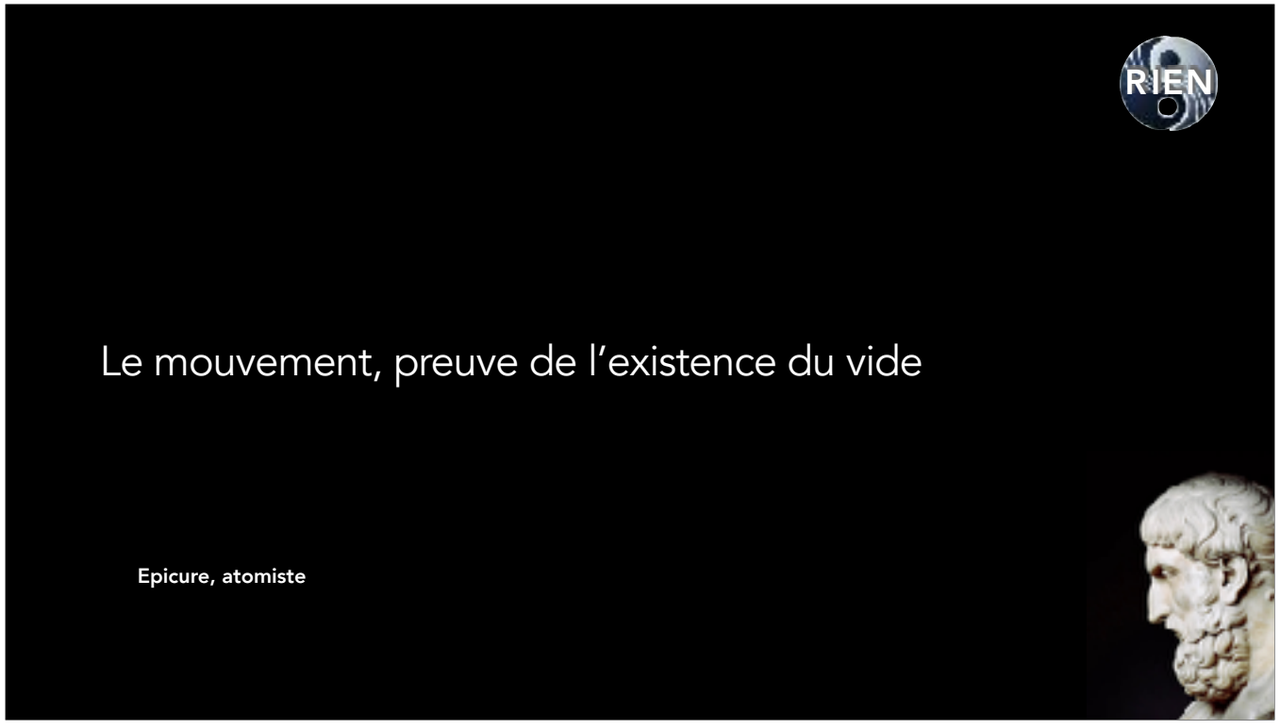
Rien n'existe d'autre que les atomes et l'espace vide, les atomes forment l’être et le vide le non-être, aussi réel que l’être.

Son système logique est simple : Les atomes sont les principes premiers de toutes choses. Ils sont insécables, solides, homogènes, éternels, tous formés de la même substance. Comme Parménide, il affirme la plénitude de l'être, il n'y a pas de trous dans la matière : les atomes sont pleins.

Ils sont en nombre infini et se différencient par une variété infinie de dimensions, formes et d'orientations. Les atomes sont cependant si petits qu'ils échappent à la perception des sens.

Leur mécanique est bien réglée : Les atomes se meuvent aléatoirement dans le vide et forment des figures suite aux chocs inter atomiques : le hasard et la nécessité sont à l’origine de toutes choses. La naissance des corps auxquelles nous sommes sensibles est une réunion des atomes et leur destruction une séparation.

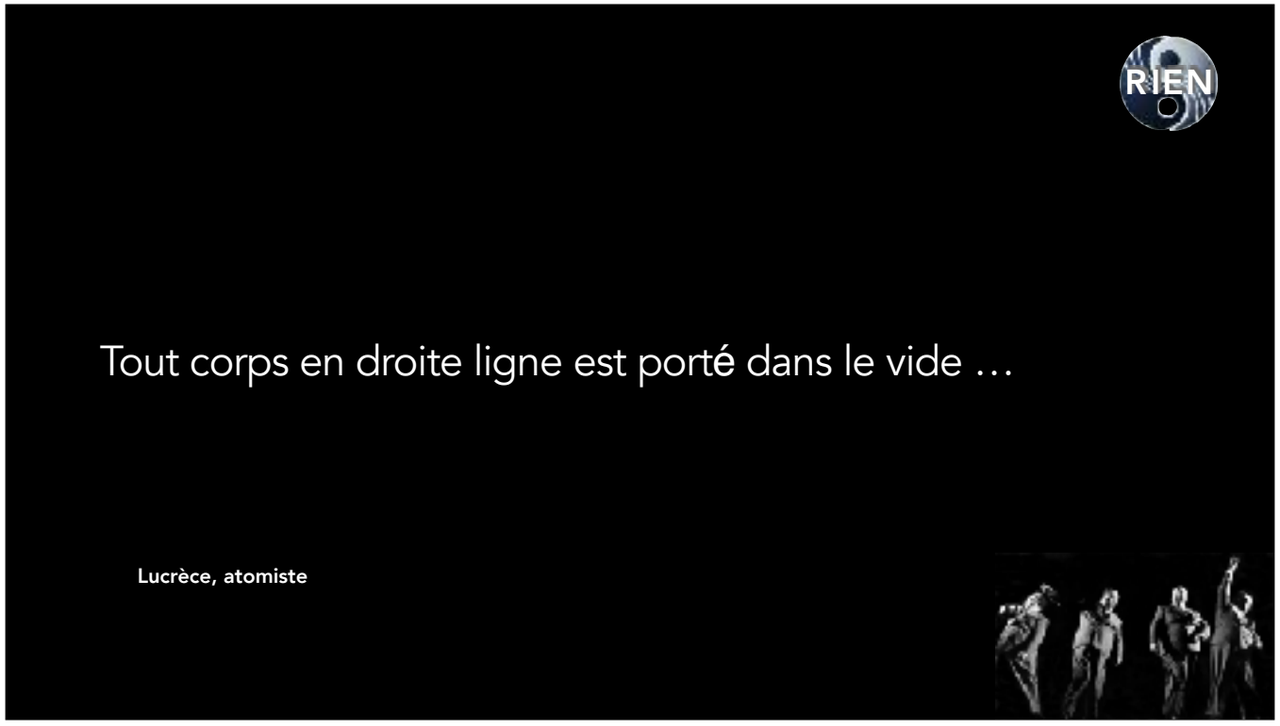
Le vide illimité par l'étendue existe parce qu'il est nécessaire. Sans vide, les atomes seraient incapables de se déplacer dans un espace totalement plein! Il faut donc admettre que les atomes et le vide cohabitent, qu'ils sont tous les deux aussi réels l'un comme l'autre



Epicure, fervent adepte de l'atomisme, érige le mouvement comme preuve de l'existence du vide :

Et s'il n'existait pas ce que nous appelons le vide, espace et nature intangible, les corps n'auraient pas d'endroit où être ni à travers quoi se mouvoir, comme manifestement ils se meuvent

Il attribue aux atomes une masse qui détermine leur mouvement dans le vide, les atomes sont des corps pesants.



Lucrèce finalement ponctue l'intervention des atomistes avec une touche poétique.
Lui aussi cherche à démontrer l'existence du vide :

- *Si la sève se répand dans les arbres, c'est parce qu'il y a des vides qui le permettent*
- un morceau de plomb est plus lourd qu'une pelote de laine parce que la laine moins dense comporte une plus grande part de vide : *- Si compacte, d'ailleurs, que semble un corps solide, - Il faut bien qu'en sa trame il admette du vide.* Livre I, vers 360

Il apporte également une précision au mouvement des atomes en introduisant une part d'aléatoire, nécessaire à la création des choses :

*Retiens ce point encore : par le poids qui le guide
Tout corps en droite ligne est porté dans le vide ;
Mais, sans qu’on puisse dire en quel temps, en quel lieu, Chaque atome en tombant décline un peu, si peu
Que sa pente invisible est à peine réelle.
S’ils ne déclinaient point, si, d’un jet parallèle,
Comme les gouttes d’eau tombaient les éléments,
D’où seraient nés les chocs et les enchaînements ? Est-ce que la Nature eût pu créer les choses ?*

Une intervention remarquée suit, celle de Zénon de Cittium (-334 à -262), faisant preuve d’une belle maîtrise de soi et se détachant des émotions perturbatrices que génèrent le débat entre les plénistes et les vacuistes. Il est le fondateur de l’école stoïcienne.

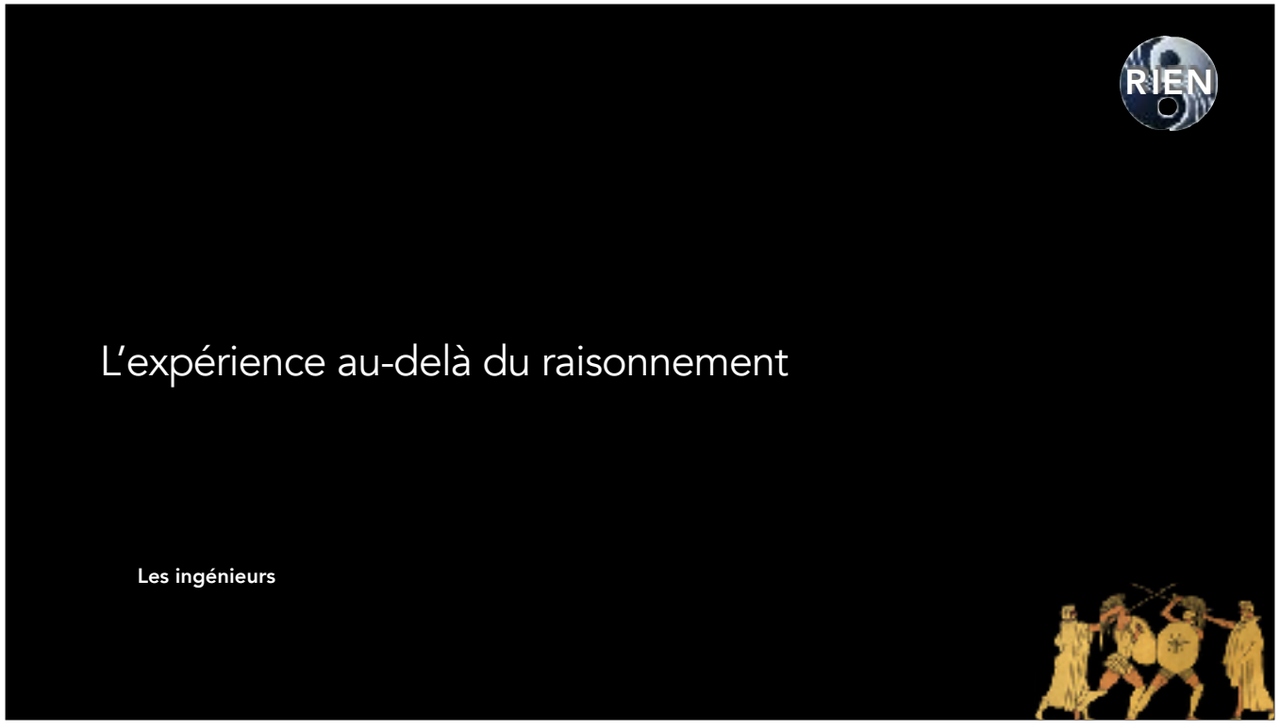
Dans sa recherche sur le monde et les objets qu'il contient, il considère le Tout constitué par le monde fini et le vide infini.

Il considère le vide comme quelque chose mais un quelque chose d'incorporel qui existe dans la nature au même titre que les corps matériels qu'il appelle les existants.

Le vide se trouve ainsi classé dans la catégorie des incorporels comme le dicible (la parole, le langage par lesquels est exprimé un état des choses), le lieu (l'espace caractérisé à partir des corps qui l'occupent) et le temps (un intervalle, infini dans les deux directions).

Il définit le vide comme ce qui, pouvant être occupé par un existant, n'est pas occupé ; le vide est infini.

Mais il confine le vide illimité au-delà du monde matériel dont le contenu ne pouvait pas aller se perdre dans le vide.



Suite à cet assaut de pure rhétorique, et le meilleur est encore à venir, interviennent les ingénieurs qui introduisent un peu de pragmatisme dans le débat : l'expérience au-delà du raisonnement. Cependant les résultats des expériences sont systématiquement faussement interprétés à partir de l'hypothèse de l'impossibilité du vide étendue.

Impossibilité du vide étendue

Philon de Byzance

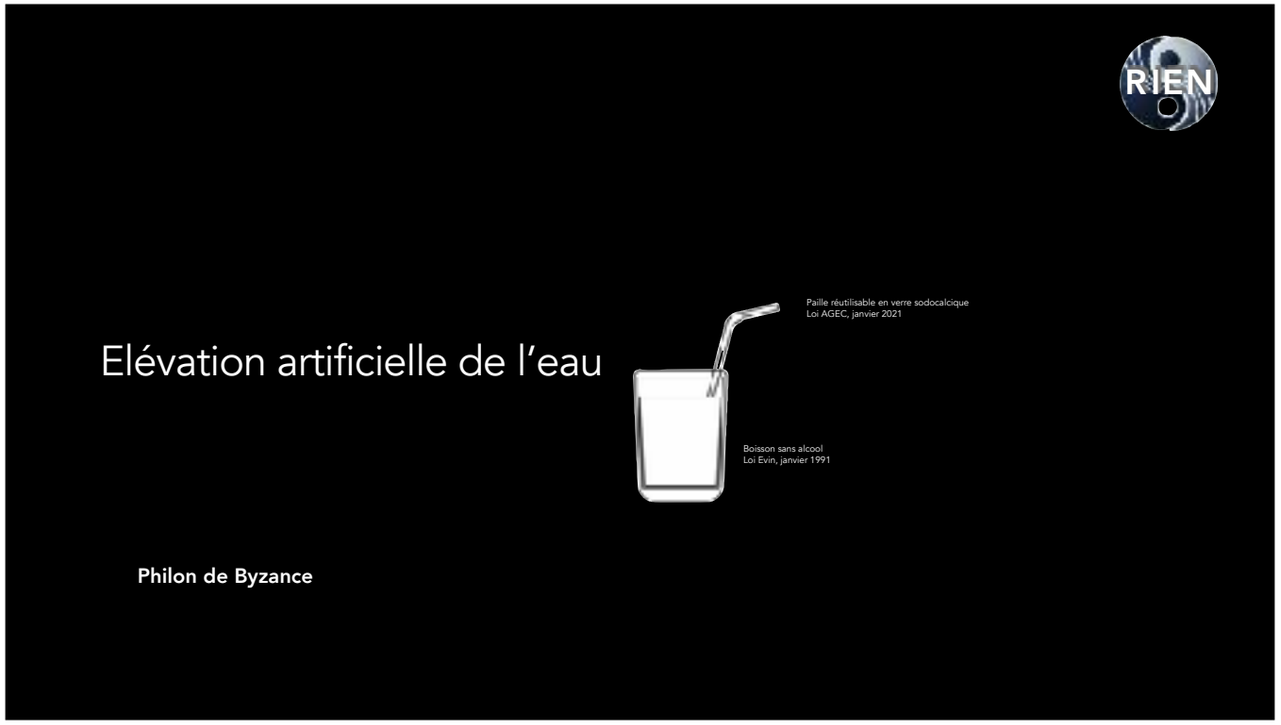
Philon de Byzance est un scientifique ingénieur (fin du 3ème siècle av. J.C.) touche à tout. Dans l'un de ces nombreux traités,

Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques,

il présente entre autres une théorie sur la nature de l’air, sur son rapport et sa jonction avec l’eau et sur le vide. Il illustre son propos par de nombreuses expériences, de celles que l'on peut réaliser soi-même, et la description d'appareils qu'il a réalisés dont le plus célèbre est **La servante automatique**, le tout premier distributeur automatique de boissons (à voir au musée de la technologie grecque antique à Héraklion).

Il part du principe que le vide a une nature physique et qu’il se mélange au corps de l’air, à cause des corpuscules légers dont celui-ci est constitué, qu’il se mélange de même aux particules des liquides et des autres corps

Mais, et c'est ce qu'il cherche à démontrer avec des expériences simples (il y en 65), le vide étendue n'existe pas.



Il réalise deux d'entre elles, devant l'auditoire ébahi !

La première est l'élévation artificielle de l'eau : lorsque vous sirotez une anisette à la paille, une extrémité est plongée dans le verre d'anisette, vous mettez la bouche à l'autre extrémité de la paille, et aspirez doucement l'air contenue dans la paille. Avec l'air vous aspirez également l'anisette parce que, dit Philon, le corps liquide est adhérent à l'air *à la façon de la glu ou par tout autre mode d'attache*.

Le vrai texte de Philon :
Il est donc clair que si parfois l'eau se porte en haut, c'est qu'elle est tirée par l'air à cause de la continuité qui existe entre eux deux. C'est ce qui arrive, par exemple, dans la pipette avec laquelle on déguste le vin. Quand on a mis la bouche sur l'extrémité de la pipette et aspiré doucement, l'air qui était dedans est tiré et, avec lui, le corps liquide qui se trouve en bas de la pipette, parce qu'il est adhérent à l'air, qu'il y soit adhérent à la façon de la glu ou par tout autre mode d'attache.

Le crible d'Aristote

Philon de Byzance

La deuxième expérience est celle du crible d'Aristote que Philon considère comme un des appareils fondamentaux de cette science du vide.

Il vous faut oeuf en un matériau quelconque, creux et étanche. Percez l'oeuf à l'une des extrémités du grand-axe et introduisez dans le trou un petit tuyau que vous souderez à l'oeuf pour garantir une adhérence et une étanchéité parfaite.

Criblez l'autre extrémité du grand-axe de petits trous.

Immergez l'oeuf dans de l'eau en le tenant par le petit tuyau : l'oeuf se remplit d'eau passant par les petits trous.

Bouchez le trou du tuyau avec votre pouce et retirez l'oeuf de l'eau : aucune eau ne s'écoule de l'oeuf.

Otez le pouce, aussitôt l'eau s'écoule ; rebouchez avec le pouce et l'eau s'arrête de couler.

Explication de Philon :
Quand vous plongez l'oeuf dans l'eau, l'air initialement contenue dans l'oeuf s'échappe par le tuyau pour céder sa place à l'eau. Si l'air ne s'échappait pas, l'eau ne pourrait y entrer.
Que l'eau ne s'écoule pas quand le pouce bouche le tuyau, est dû au fait que 1) l'air ne peut pas entrer dans l'oeuf ni par le haut du tuyau, ni par les petits trous car l'air étant plus léger que l'eau elle ne peut pas soulever l'eau, et 2) qu'il ne peut pas y avoir un lieu vide d'air.

Le vrai texte de Pilon :

*Construisons encore un autre vase pneumatique: c'est un des appareils fondamentaux de cette science. Prenons un œuf de cuivre ou d'argent, ou d'autre matière, au gré du constructeur; qu'il soit creux et de la capacité d'un demi-kist, étanche de tous les côtés. Perçons-le en un point de sa surface et introduisons par ce trou un petit tuyau. Le creux de ce tuyau est large d'un demi-doigt; sa longueur est d'une coudée. Il adhère, à l'œuf d'une façon parfaite au moyen d'une soudure d'étain, de façon à demeurer fixe dans ce trou et à ne laisser aucune fuite d'air. Perçons ensuite l'œuf, en face du tuyau, de petits trous étroits, proches les uns des autres comme les trous d'une passoire. Que ce vase soit élégant et analogue à ceux où l'on met le nébid.

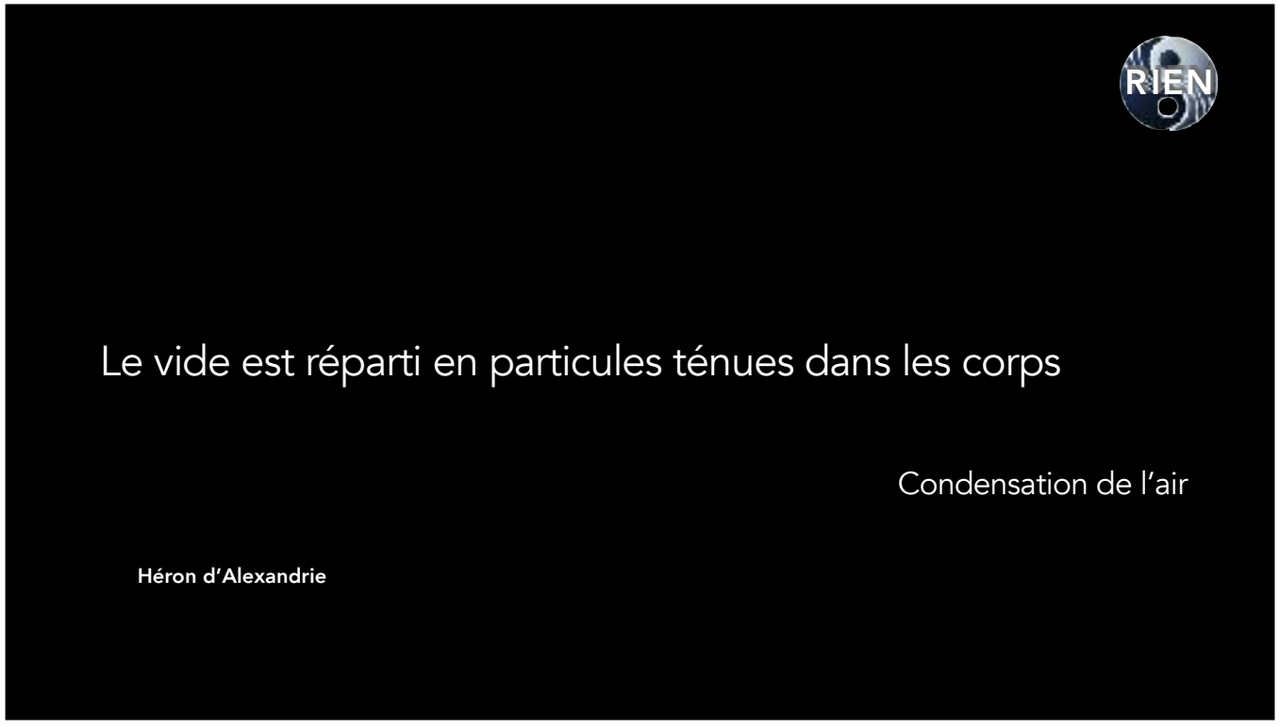
Pour s'en servir, on prend une coupe dans la main gauche et l'on y verse du nébid pur; puis on tient l'extrémité du tuyau qui entre dans l'œuf, et on la plonge dans de l'eau de façon à submerger tout l'œuf. Celui-ci se remplit de cette eau qui entre par les petits trous minces; l'air passe dans le tuyau qui est en face. L'opérateur saisit fortement l'ouverture du tuyau avec son pouce; il sort l'œuf de l'eau et l'élève à l'air, sans qu'aucune partie de cette eau ne s'écoule, jusqu'à ce que l'œuf soit amené au-dessus de la coupe. L'opérateur ôte alors le pouce de dessus le tuyau et, aussitôt, l'eau coule; et si, pendant ce temps, il bouche de nouveau avec son pouce l'orifice du tuyau, il se produit la même chose qu'auparavant, pour les causes que nous avons dites plus haut. Quand l'œuf est placé dans l'eau, l'eau entre par les trous comme nous l'avons dit, parce que l'air passe dans le tuyau; si l'air ne passait pas, l'œuf ne se remplirait pas. Une fois l'œuf rempli et le pouce placé sur l'ouverture du tuyau, l'eau tient sans couler hors de l'œuf, parce qu'il ne peut pas y avoir un lieu vide d'air et que l'air n'a pas le moyen d'entrer dans le tuyau, à cause du pouce qui en bouche l'orifice; les trous qui sont dans l'œuf sont fermés par l'eau, et l'air ne peut pas soulever l'eau ni entrer au dedans d'elle, parce qu'il est plus léger qu'elle, ni l'eau couler parce que ses parties qui occupent les petits trous sont très déliées et n'ont pas beaucoup de poids pour les forcer à tomber; et chaque trou est retenu et emprisonné par le corps de l'œuf. Cet œuf est α, le tuyau β, les trous γ. Voici la figure.*

Un autre ingénieur, un mécanicien et un mathématicien vient présenter quelques unes de ses nombreuses machines qu'on peut trouver dans son ouvrage intitulé Les Pneumatiques.

Il est également de l'avis que le vide étendue n'existe pas naturellement, mais qu'il est possible de le produire en violentant la nature.

Première expérience : Prenez un verre, appliquez-le contre votre bouche et aspirez l'air : le verre reste collé au visage, car le vide créé dans le verre aspire la peau pour combler le vide.

Texte original :
Ainsi, que l'on prenne un vase léger à ouverture étroite et qu'on l'applique contre les lèvres en aspirant l'air, ce qui le raréfie, le vase restera suspendu aux lèvres, car le vide attirera la chair dans le vase afin de remplir le vide. Il est donc clair que la portion de l'espace compris dans le vase était devenue vide en partie.

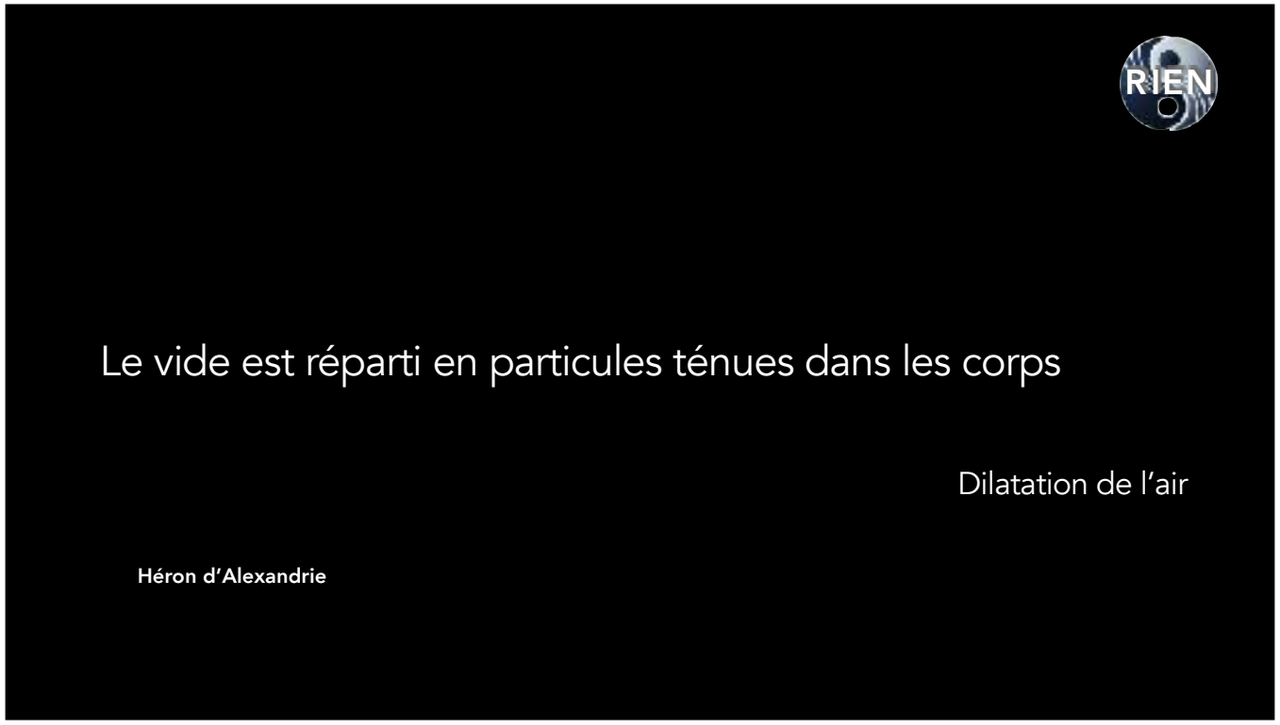


Si cette création de vide par raréfaction de l'air peut se fair c'est parce que le vide existe et il est réparti en particules ténues à travers l’air, l’eau, le feu, et les autres corps.

C'est ce qu'il démontre avec une nouvelle expérience : Prenez un boule creuse, parfaitement étanche. Percez-y un trou dans lequel vous insérez un tube. La boule contient de l'air uniformément répartie. Soufflez maintenant de l'air par le tube, ce qui est possible sans que la boule éclate. L'explication de Héron : On démontre ainsi qu'on peut injecter de l'air dans la boule qui en contient déjà. En l'absence de vides dans l'air cela serait impossible. Une certain condensation des particules d'air contenues dans la boule a lieu grâce aux vides qui s'y trouvent disséminés.

Texte original :*Prenez un vase sphérique, formé d’une lame de métal d’une épaisseur suffisante pour n’être pas facilement bossuée, contenant environ huit cotyles (2,16 litres). Après l’avoir soigneusement rendu étanche de tous les côtés, percez-y un trou, dans lequel vous insérez un tube étroit, en bronze, de manière à ne pas toucher la partie diamétralement opposée au trou et à laisser un passage pour l’eau. L’autre extrémité du tube doit dépasser le globe de trois doigts (0,057 m), et le tour du trou par lequel le tube est introduit doit être luté avec de l’étain appliqué sur le siphon et sur la surface extérieure du globe, de sorte que, lorsqu’on veut souffler dans le tube, l’air ne puisse s’échapper hors du vase. Voyons ce qui va se passer. Le globe, ainsi que les vases que l’on considère généralement comme vides, contient de l’air; comme cet air remplit tout l’espace intérieur et exerce une pression uniforme sur toute la surface intérieure du vase, s’il n’y existe pas de vide comme certains le supposent, nous ne pourrons y introduire ni de l’eau, ni une nouvelle quantité d’air, à moins que l’air contenu primitivement ne lui fasse place. Si nous voulions essayer de le faire de force, le vase, étant plein, éclaterait plutôt que de permettre à cet air d’entrer, car les molécules de l’air ne pourraient être condensées, comme cela arriverait dans le cas où il y aurait des interstices entre elles, interstices grâces auxquels, par compression, le volume total deviendrait moindre. Mais cela n’est pas croyable s’il n’y a aucun vide : les molécules se pressant les unes les autres et contre les côtés du récipient, par leur surface entière elles ne peuvent être repoussées de manière à former une chambre s’il n’existe pas de vide. Ainsi, par aucun moyen, rien du dehors ne peut être introduit dans le globe sans que quelque portion de l’air primitivement contenu ne s’échappe, si, comme le supposent nos contradicteurs, l’espace entier est rempli d’une manière complète et uniforme. Et cependant, si quelqu’un, introduisant le tube dans sa

bouche, souffle dans le globe, il y fera entrer une grande quantité d'air, sans qu'aucune partie de celui qui y était à l'avance ait d'issue ; c'est là un résultat que l'on peut toujours atteindre. Il est donc clairement démontré qu'une certaine condensation des molécules contenues dans le globe, a lieu grâce aux vides qui s'y trouvent disséminés, condensation obtenue, il est vrai, d'une manière artificielle, par une introduction forcée d'air nouveau. Maintenant, si après avoir soufflé dans le vase, nous appliquons la main contre la bouche, et que nous couvrions rapidement le tube avec le doigt, l'air reste tout le temps renfermé dans le globe ; et, en enlevant le doigt, l'air introduit ressortira avec un bruit assez fort, chassé au dehors, comme nous l'avons dit, par l'expansion de l'air primitif, qui reprend sa position, grâce à son élasticité.*



Inversement, toujours avec la même boule, aspirez maintenant l'air à travers le tube, ce qui ne pose aucun problème bien que aucun autre corps ne prenne la place de l'air extrait. Explication de Héron : un vide est ainsi créé dans la boule car il n'existe pas de mécanisme connu permettant aux particules d'air restant dans la boule de se dilater afin d'occuper tout l'espace laissé vide par les particules d'air aspirées en dehors de la boule.

Texte original :
De même, si nous faisons sortir l’air du globe par une succion à travers le tube, il viendra en abondance, quoique nulle autre matière ne prenne sa place dans le vase, ainsi que nous l’avons dit dans le cas des coupes ovoïdes. Par cette expérience, il est prouvé d’une manière complète que l’accumulation du vide s’accroît dans le globe ; car les molécules d’air laissées en arrière ne peuvent se dilater dans les intervalles qui les séparent au point d’occuper tout l’espace laissé libre par celles qui ont été attirées à l’extérieur. Car, si elles prenaient quelque accroissement de volume sans l’addition de matière étrangère, on pourrait supposer que cet accroissement résulte de l’expansion, ce qui équivaut à une disposition nouvelle des molécules, par suite de la production du vide. Mais, on maintient qu’il n’y a pas de vide; donc, les molécules ne grandissent pas, car il n’est pas possible de supposer pour elles un autre mode d’accroissement. Il est donc évident, d’après ce qui a été dit, que certains espaces vides sont disséminés entre les molécules de l’air, et que, lorsqu’on soumet ces dernières à quelque force, elles pénètrent dans ces espaces, contrairement à leurs conditions naturelles.

Il explique également la présence de vides dans la matière par le phénomène de réflexion-transmission de la lumière : les rayons réfléchis sont ceux qui frappent contre les particules d'eau et ceux qui passent au travers des vides traversent l'eau.

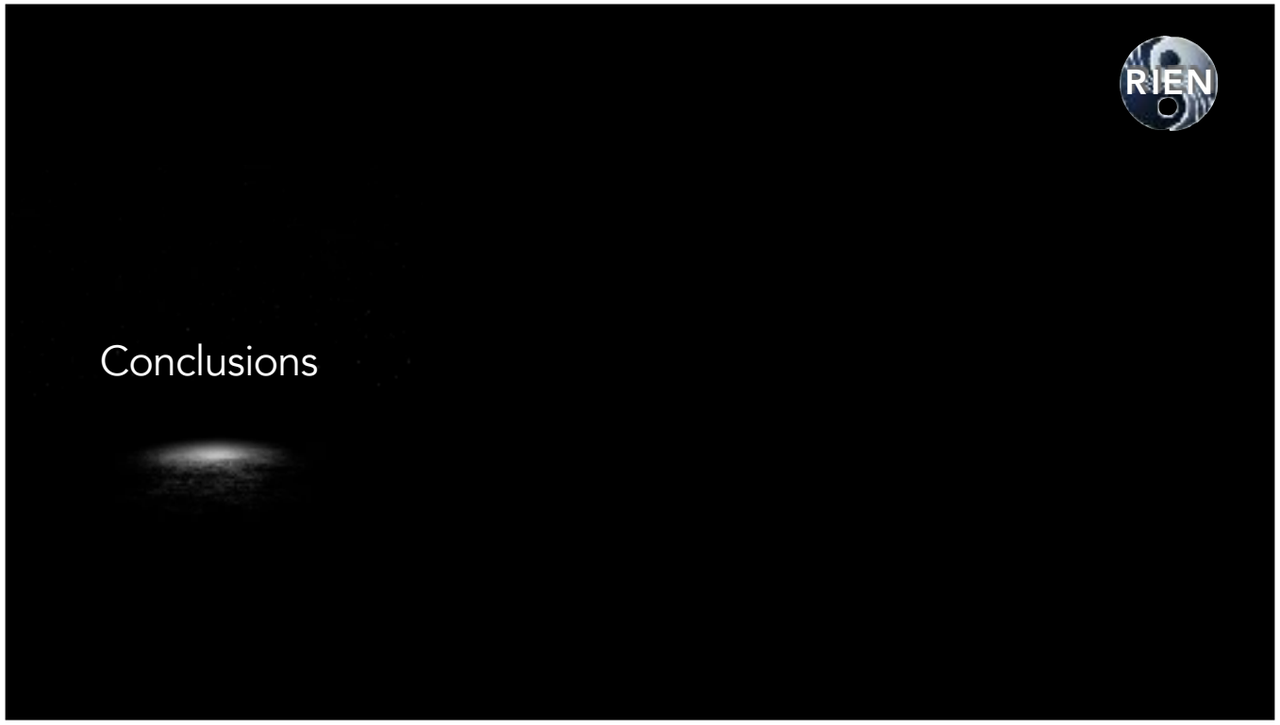
Plus tard, lors du buffet de la conférence, un verre à la main, il donne comme preuve des l'existence des vides dans la matière, le fait que l'eau et le vin se mélangent-

Bref, le vide absolu n'existe pas dans la nature mais on peut le créer.

On peut aussi se rendre compte de l'existence d'espaces vides par les considérations suivantes. S'il n'y avait pas d'espaces semblables, ni la lumière, ni la chaleur, ni aucune autre force matérielle ne pourrait se frayer un passage à travers l'eau, l'air ou n'importe quel autre corps ; comment, par exemple, les rayons du soleil pourraient-ils à travers l'eau pénétrer jusqu'au fond d'un vase? Si ce fluide n'avait pas de pores, lorsque les rayons frappent avec force la surface d'un vase plein d'eau, ce liquide devrait nécessairement déborder, ce qui cependant n'a pas lieu. De plus, les rayons heurtant violemment la surface de l'eau, il ne devrait pas arriver que les uns soient réfléchis, tandis que d'autres pénètrent plus bas : or, on sait que ceux de ces rayons qui frappent contre des molécules d'eau sont pour ainsi dire repoussés et réfléchis, tandis que ceux qui se trouvent en contact avec des espaces vides, ne rencontrant que peu de molécules, pénètrent jusqu'au fond du vase. Une autre preuve de l'existence des vides dans l'eau, c'est qu'en versant du vin dans l'eau, on le voit se répandre à travers toute la masse de l'eau, ce qui n'arriverait pas si celle-ci ne présentait pas de vide. Encore un exemple: une lumière en traverse une autre; en effet, lorsque plusieurs lampes sont allumées, tous les objets sont vivement éclairés, les rayons frappant dans toutes les directions les uns à travers les autres.

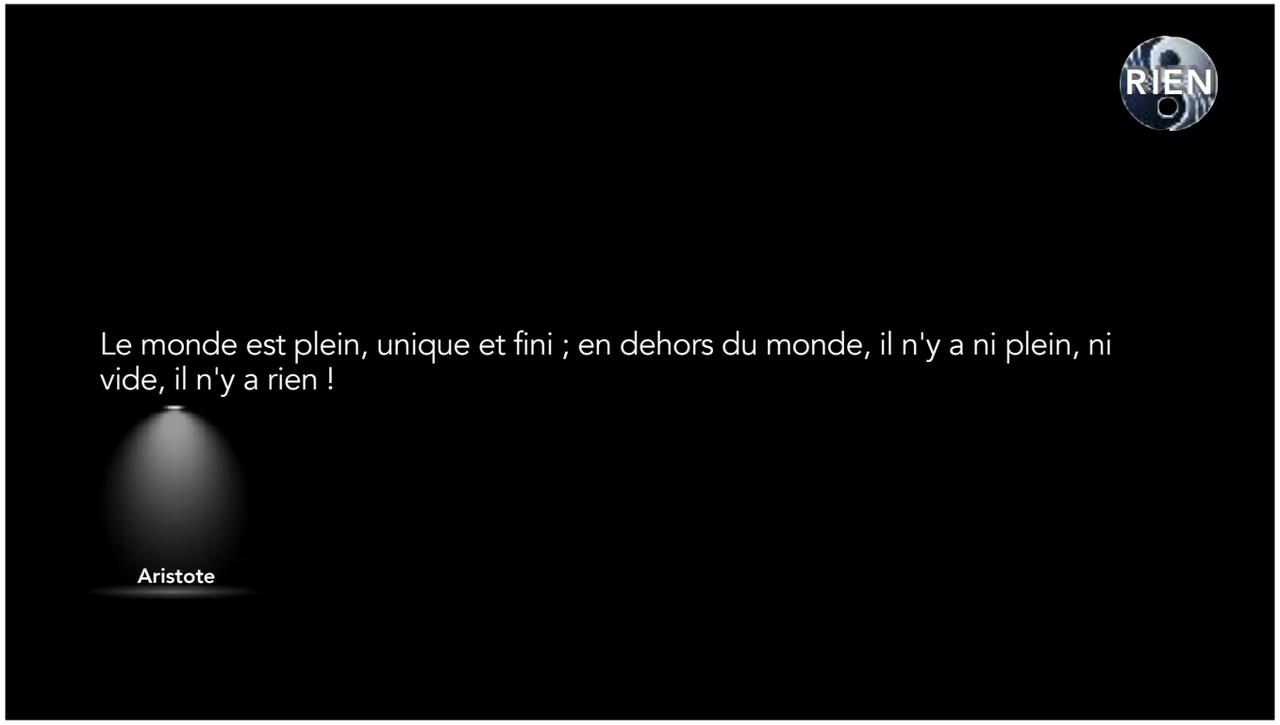
*Nous avons démontré la possibilité de produire un vide parfait, par l'application d'un vase léger à la bouche, et par les ventouses des médecins. Donc, en ce qui concerne la nature du vide, quoiqu'il en existe bien d'autres preuves, nous devons considérer comme suffisantes celles que nous avons données. Elles sont basées sur le témoignage de nos sens, et nous permettent d'affirmer, que tout corps est composé de molécules très petites, entre lesquelles se trouvent des vides d'une étendue

moindre que ces molécules elles-mêmes. Nous sommes par conséquent autorisés à dire qu'il ne peut exister de vide dans la nature que sous l'action de quelque force et que toute portion de l'espace est remplie d'air, d'eau ou de toute autre matière et qu'à mesure que quelqu'une de ces molécules se déplace une autre la suit et remplit le vide qu'elle a laissé; ainsi le vide continu n'existe point dans la nature sans l'intervention d'une certaine force; et, je le répète encore, le vide absolu n'existe pas de lui-même, mais se produit en violentant la nature.*



Nous arrivons à la fin de la conférence. C'est autour d'Aristote de prendre la parole, Aristote que Platon a chargé de rédiger les conclusions. (Voir Physique, son ouvrage majeur)

Cependant Aristote se présente comme le chef de file des plénistes et peut-être le plus virulent détracteur de l'idée du vide de tous les temps.



Dès l'entame il ne laisse aucune place au doute.

Le monde est plein, unique et fini ; en dehors du monde, il n'y a ni plein, ni vide, il n'y a rien

Plus qu'une affirmation ... dans le vide, la grande force d'Aristote est d'avoir inséré son idée sur le vide dans un système global avec lequel il explique les phénomènes naturels, un système totalement rationnel et dont la remarquable cohérence interne lui garantit un succès qui ne pâlira pas pendant près de 2000 ans.

Le monde selon Aristote :

- fini, sphérique, éternel

En quelques mots, il expose les points essentiels de sa conception du monde :

- Le clin d'oeil à Platon : le monde est fini et sphérique. La Terre immobile se trouve au centre du monde . Au delà du monde il n'y a ni temps, ni lieu, ni matière, ni vide.
- L'univers n'a pas été créé, il est éternel, il n'y a donc pas de sens à s'interroger à propos d'un passage de la non-existence (néant) à l'existence (être).

Le monde selon Aristote :

- fini et sphérique, éternel

- 4 éléments + éther

Le clin d'oeil à Empédocle : les quatre éléments terre, eau, air, feu sont les constituants du monde.

On peut aujourd'hui rapprocher les 4 éléments aux états de la matière : terre=solide, eau=liquide, air=gazeux, feu = plasma (?).

L'en deçà de la voute céleste est rempli d'un fluide , moins dense que l'air, la quinte essence ou l'éther (Ether est le dieu primordial de la mythologie grecque, personnifiant les parties supérieures du ciel).

Une pierre dans le jardin de Démocrite, la physique d'Aristote est sensualiste, seuls sont à prendre en compte que ce qui est perceptible. Exit les atomes invisibles de Démocrite.

Le monde selon Aristote :

- fini et sphérique, éternel
- 4 éléments + éther
- une physique sensualiste
- mouvements naturel et violent

Pour établir les lois du mouvement, il distingue 2 sortes de mouvement :

- Le mouvement naturel : sans aucun effort du moteur qui meut les corps, ce mouvement amène les corps vers leur lieu inné de repos (air et feu vers le haut; eau et terre vers le bas). Le mouvement circulaire est réservé aux substances célestes ; le mouvement rectiligne convient aux corps simples.
- Le mouvement violent : intervient sous l'effet d'une contrainte extérieure quand on lance, par exemple, une pierre

Puis Aristote démolit un à un les arguments donnés par les vacuistes en faveur de vide. Sa démonstration contre la réalité du vide passe uniquement par le raisonnement s'appuyant sur une apparente logique qui n'est en fait qu'une rhétorique absurde.

D'abord pour éviter une contradiction interne de son modèle de monde :

Si le vide existe il ne peut être qu'uniforme et symétrique sans distinction entre le haut et le bas : le mouvement est alors impossible car les corps pesants devant tomber vers le bas, et les corps légers s'élever, ne sauraient plus où est leur lieu de repos.

Le mouvement ne perdure que tant qu'agissent les forces sur le corps. Lancer une pierre (mouvement forcé), lorsque la main qui lance a perdu le contact avec la pierre, c'est alors au tour de l'air déplacé, qui s'écoule instantanément de l'avant vers l'arrière pour y combler le vide (interdit), de pousser l'objet par derrière ; dans le vide le mouvement de la pierre stopperait nette ce qui est contraire à l'observation et donc le vide n'existe pas.

Ensuite pour contrer les atomistes pour lesquels le vide est nécessaire au mouvement :

Si le mouvement d'un corps dans le vide est possible, le vide n'offrant aucune résistance au mouvement, la vitesse du corps deviendrait infinie, c'est-à-dire le mouvement se ferait instantanément.

Puis c'est autour des stoïciens :

Si le vide, qui selon la définition des stoïciens est un endroit qui ne contient pas de corps mais pourrait en contenir un, existait, il pourrait y avoir des objets en dehors de

l'univers ce qui est insensé.

ou encore

Si le vide est quelque chose, et que l'on place un corps dans un espace vide, il y aurait deux quelque chose exactement au même endroit, ce qui est impossible.

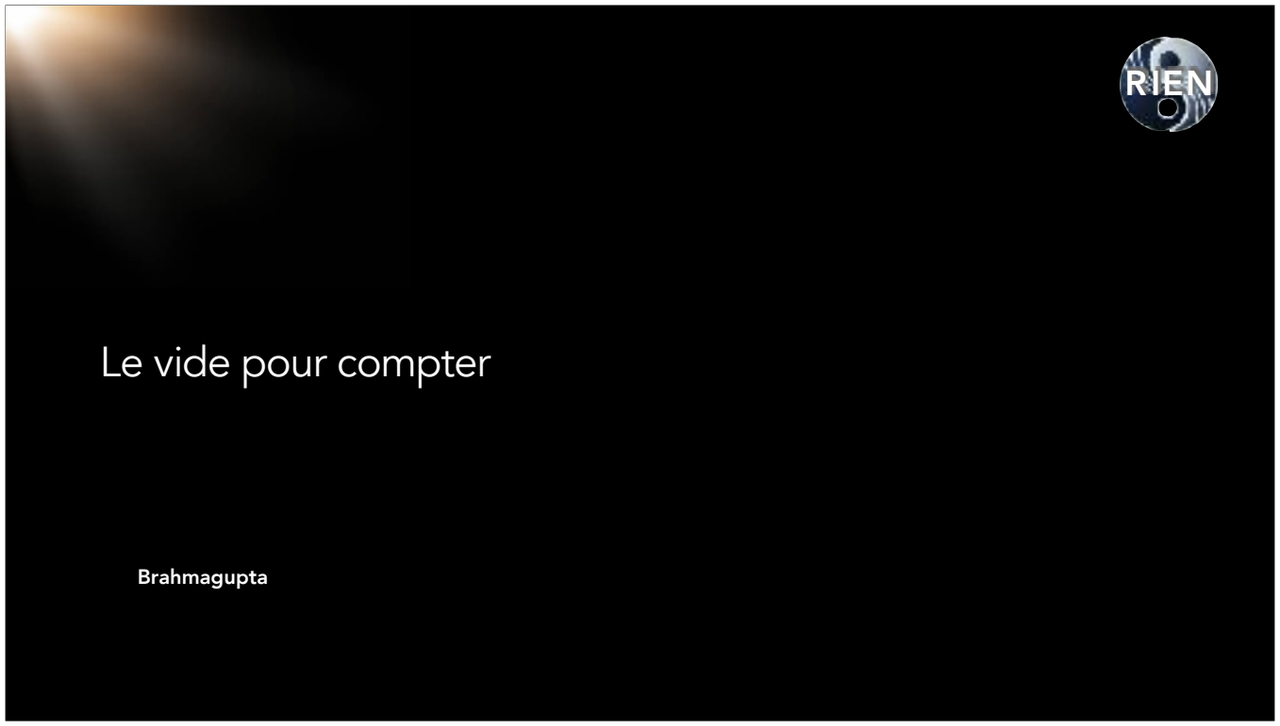
et encore

Le vide ou non-être est par définition privé de toute substance, donc on ne peut rien y mettre, sinon il ne serait plus vide dans le sens où il ne possèderait plus l'Etre du vide. Mais s'il y a un Etre du vide, alors celui-ci ne pourrait pas être assimilé au non-Etre

Et l'explication des mécaniciens, la sentence :

L'existence du vide est impossible : il n'y a pas de vide séparé des corps, il n'y a pas de vide occupé par les corps, il n'y a pas d'interstices vides dans les corps.

Voilà, la messe est dite pour les 2000 ans à venir. Cependant Aristote a oublié (?) de faire état d'une contribution pour le moins originale.

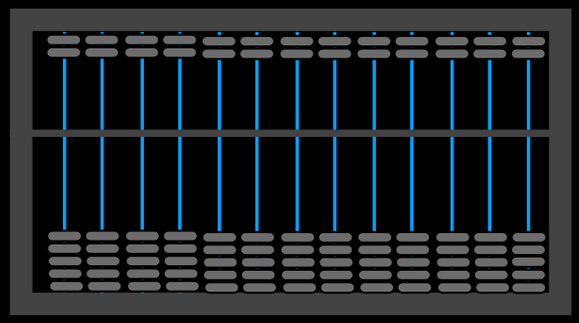


Il y a dans toute conférence, une contribution plus ou moins exotique une peu hors sujet mais pas tout à fait.

L'auteur, Brahmagupta, vient de la lointaine Inde. Il présente un système original pour compter et dans lequel le vide joue un rôle essentiel.

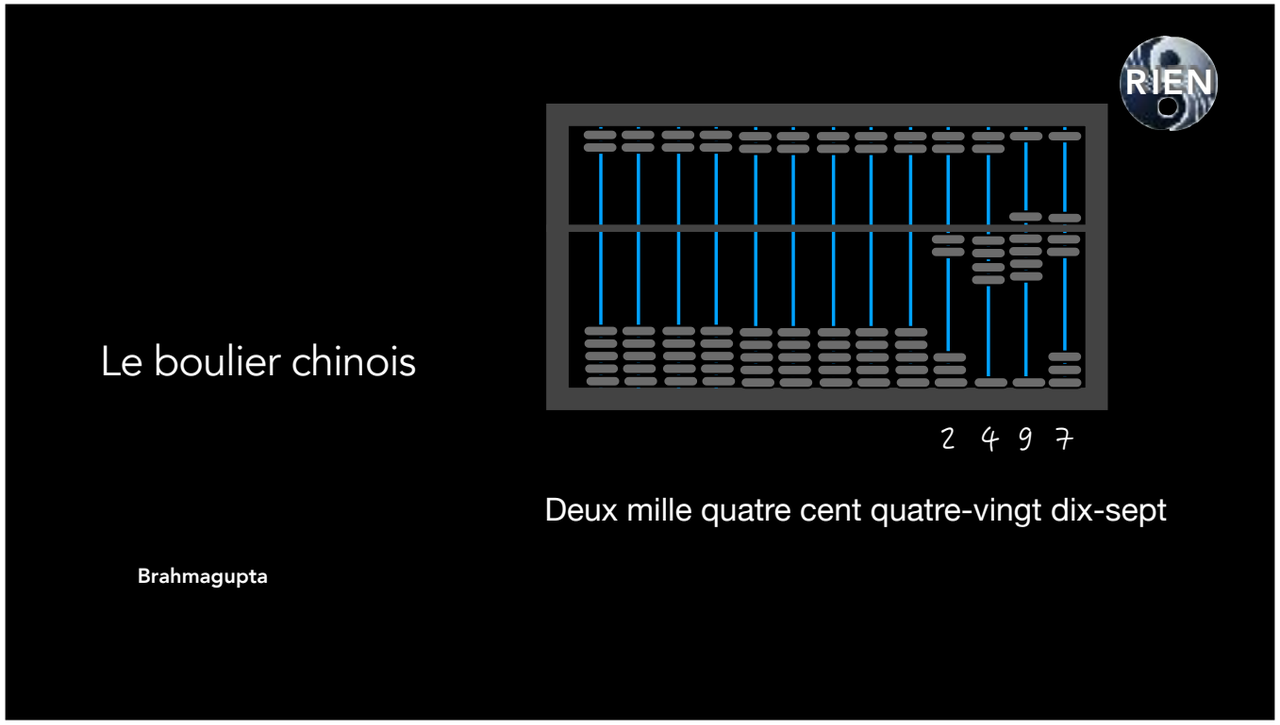
D'abord pour compter efficacement il faut construire un système de numération constitué de chiffres et d'un système d'écriture des nombres.

Le boulier chinois



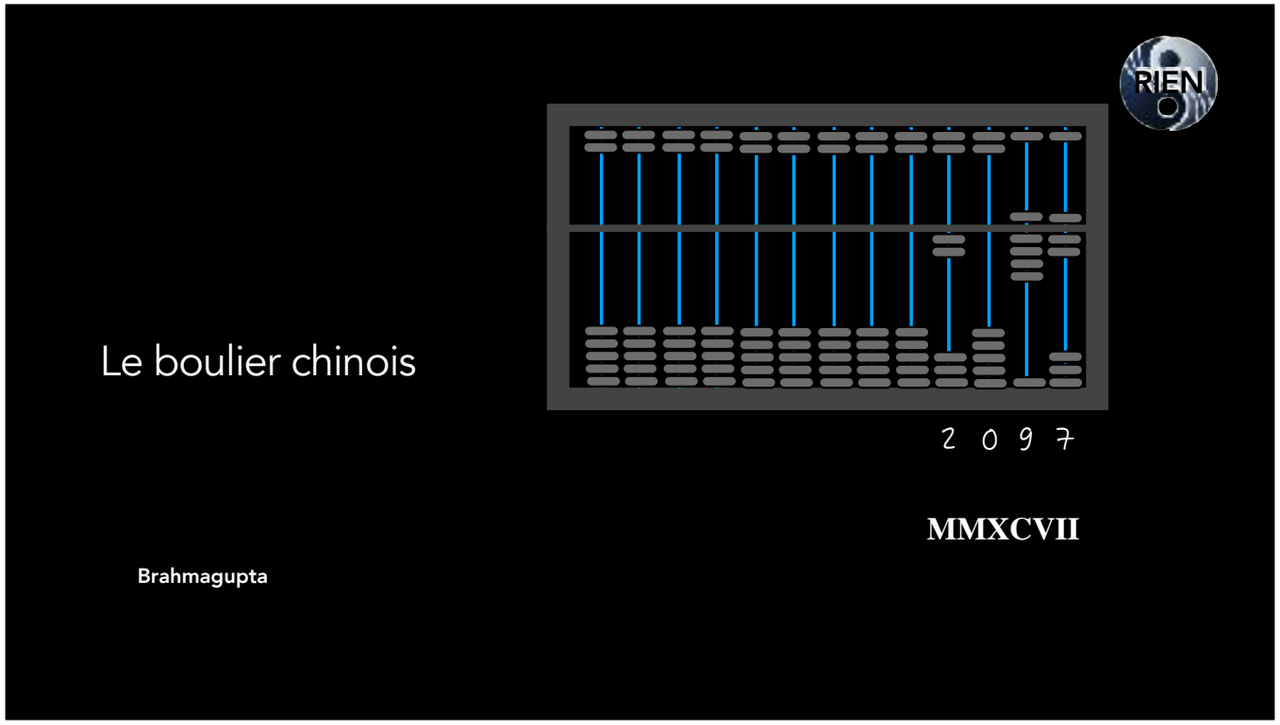
Brahmagupta

Il rappelle le principe de numération par position inventé par les Babyloniens qu'il illustre par le boulier importé de Chine. Il est constitué de tiges sur lesquelles coulissent des boules, chacune représentant dans la partie inférieur 1 unité, ou une dizaine ou une centaine,... selon la position de la tige et dans la partie supérieure 5 unités, 5 dizaines, 5 centaines,...



Il suffit d'additionner les boules avec leur valeur ainsi le nombre représenté est 2 x 1000 + 4 x 100 + 9 x10 + 7 x 1, soit 2497.

Comment écrire ce nombre ? Il propose une représentation de 9 graphismes abstraits (n'évoquant pas visuellement le nombre des unités représentés) et distincts, qu'il appelle chiffre : 1, 2, 3, 4 5, 6, 7, 8 et 9: une boule = 1, deux boules = 2, trois boules = 3, etc... La valeur des chiffres varie suivant la place qu'ils occupent dans le représentation numérique : d'où la représentation écrite de la configuration sur le boulier : 2497



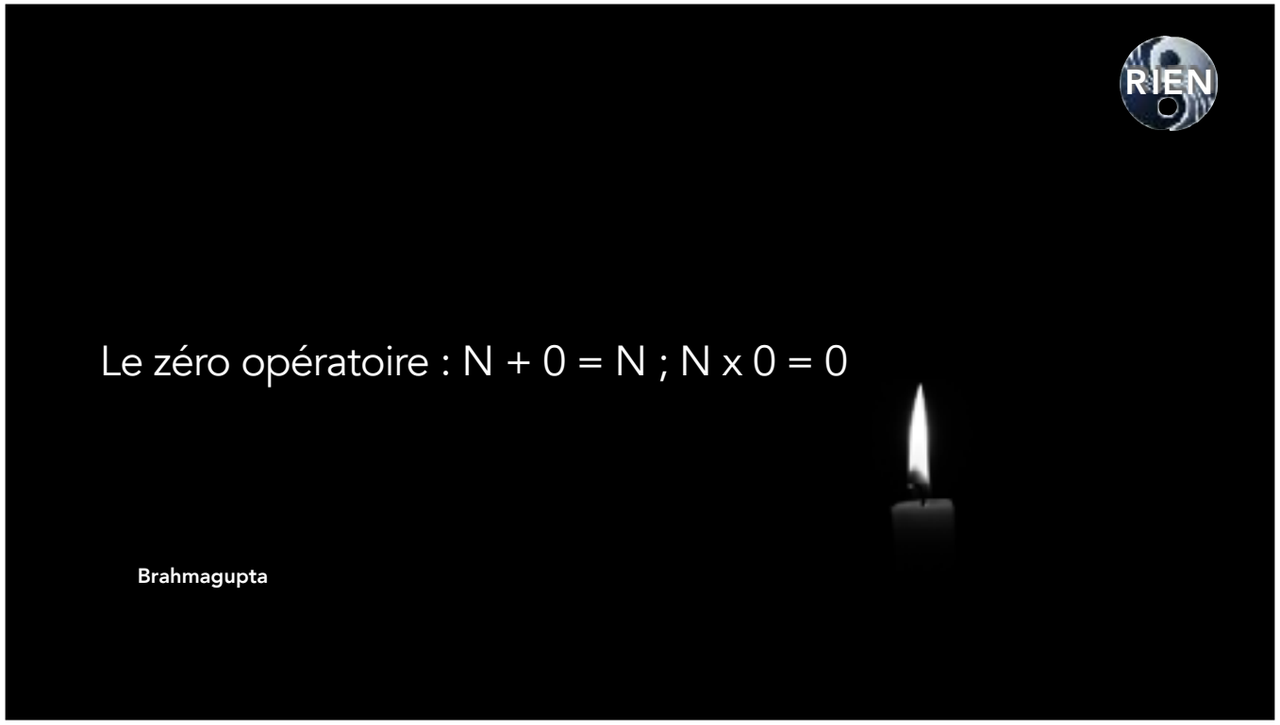
Ce pose alors la question suivante : comment représenter l'absence d'une boule ?
Par un espace vide ? par un marqueur quelconque, un symbole qui désigne un vide ou une absence ?

Notre ami indien propose un graphisme de forme ovale et l'appelle zéro, enfin il l'appelle sunya qui en sanscrit signifie vide ou néant, qui est devenu sifr en arabe et zephrium en latin médiéval.

Le zéro est ainsi ce *quelque chose* qui signifie rien, ou plutôt *l'espace vide* d'une unité manquante.

On peut dès lors représenter de façon non ambigüe n'importe quel nombre lisible facilement à comparer au même nombre écrit en chiffres romains MMXCVII.

Mais là n'est pas le seul apport du *rien* en arithmétique.



Le zéro est aussi doté de toutes les propriétés d'un nombre : le signe zéro symbolise la valeur du nombre nul, concept à la base de l'algèbre actuelle. Et comme par magie, cette avancée apparemment triviale permet de faire les calculs les plus complexes avec un crayon et du papier et avec des règles de base de l'addition et de la multiplication
N+0 = N et Nx0 = 0

Pourquoi Aristote a-t-il ignoré la contribution de l'intervenant indien ? Parce que l'idée ne vient pas du monde grec ? Parce qu'il est beaucoup trop désintéressé des préoccupations d'ordre pratique ? Parce qu'il n'en a pas eu connaissance, l'intervenant indien n'ayant en fait pas assisté à la conférence ou parce qu'il a présenté sa contribution en sanskrit que personne parmi les participants ne parlait.

Et puis Archimède n'avait-il pas rappelé qu' *Additionnez un nombre à lui-même maintes fois, celui-ci peut devenir aussi grand que voulu*, or 0+0 = 0 ... troublant, non ? Encore plus troublant l'apparition de l'infini ($1/0 = \infty$), un infini que les mathématiciens fréquentent avec aisance mais qui effraie les physiciens .... encore aujourd'hui !

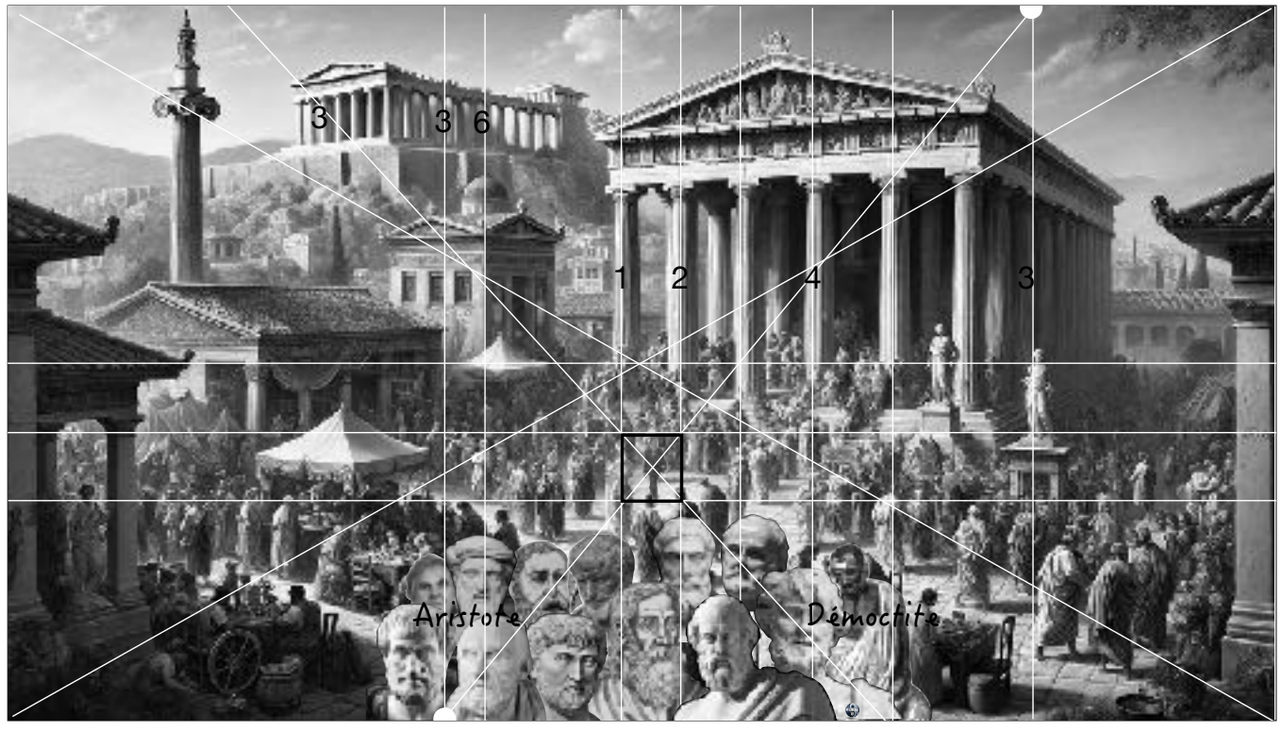
Les règles de l'arithmétique selon Brahmagupta dans le Brâmasphutasiddhânta (628 de notre ère)
- Une dette moins zéro est une dette
- Un bien moins zéro est un bien
- Zéro moins zéro est nul
- Une dette retranchée de zéro est un bien
- Un bien retranché de zéro est une dette
- Le produit de zéro par une dette ou par un bien est zéro

- Le produit de zéro par lui-même est nul
- Le produit ou le quotient de deux bien est un bien
- Le produit ou le quotient de deux biens est un bien
- Le produit ou le quotient de deux dettes est un bien
- Le produit ou le quotient d'une dette par un bien est une dette
- Le produit ou le quotient d'un bien par une dette est une dette

La photo de groupe.
De gauche à droite:
- Deuxième rang : Pythagore, Héron d'Alexandrie, Parménide, Epicure, Heraclite, Bhramagupta
- premier rang : Aristote, Zénon de Citium, Lucrèce, Philon de Byzance, Démocrite, Platon

Le banquet de Platon.

Vous êtes en droit de vous demander pourquoi avoir consacrer ce premier cours à l'antiquité qui ne nous a pas appris grand chose, pour ne pas dire rien appris, sur le vide. Je pense que l'exercice était néanmoins un passage obligé d'abord pour démontrer que, hors de la physique au sens galiléen du terme, on peut raconter tout et son contraire sur les choses de la nature. Pour autant, aurait-il fallu ne rien dire sur le vide que l'antiquité a maltraité … de notre point de vue actuel ? Peut-être pas. La science ne progresse-t-elle pas en émettant des hypothèses que des méthodes scientifiques rigoureuses doivent prouver exacte ou non. Le vide n'est-il pas l'espace où les physiciens rangent leurs plus belles hypothèses ? Certes le progrès peut être lent, mais c'est ainsi que va la physique. L'histoire que je raconterai la semaine prochaine en est encore une nouvelle preuve.


3
3
6
1
2
4
3
Aristote
Démocrite