

Avant d'aborder le concept de vide dans le domaine de l'astronomie, il est utile de rappeler ce que cette notion commune signifie dans le langage commun.

Définition courante

Larousse : *Qui ne contient rien, ni objet ni matière.
Espace assez vaste qui ne contient rien.*

Qui ne contient rien : bouteille vide, vide sanitaire.

- Le « rien » peut être restrictif : un emballage sous vide contient quelque chose, mais est « vide » d'air. Le terme exact serait un objet emballé sous pression réduite.
Le vide juridique est une absence de dispositions légales...
- Le « rien » peut être abstrait : une question vide de sens, sans intérêt.

Le vide a un sens figuré : avoir la tête vide, faire le vide autour de soi, laisser un grand vide après un départ, avoir un passage à vide, regarder dans le vide...

Laissons de côté le sens figuré. Arrêtons-nous au sens plus physique. La bouteille d'eau vide contient en fait de l'air, à raison de $2,5 \cdot 10^{19}$ molécules par litre ! La bouteille est vide d'eau. On restreint la matière absente à l'eau.

Une petite citation de Raoul Ponchon, pour montrer que l'exemple ci-dessus marche aussi bien avec de l'absinthe qu'avec de l'eau :

« Quand mon verre est vide, je le plains. Quand mon verre est plein, je le vide. »

La notion de vide est aussi culturelle. Pour nous, le vide est l'absence de quelque chose. La bouteille vide est un emballage qui ne contient rien (pas d'eau, ou pas d'absinthe). Pour un Taoïste, le vide est une potentialité. Quelque chose qui attend d'être rempli, d'être réalisé (*Plénitude du vide*).

A noter au passage que les mathématiques utilisent également la notion de vide (ensemble vide...).

Définition physique

Etat correspondant à l'absence de toute particule.

Cette définition est passablement différente de la première. Même si l'on arrivait à exclure tous les atomes d'un contenant ou dans un lieu de l'espace, il resterait parcouru par du rayonnement, de la lumière, qui sont des particules (les photons). Sans entrer dans les détails, le nombre de particules élémentaires connues est très élevé. Toutes ne sont pas de la matière.

De même, des « évènements » peuvent se produire dans ce vide de particules. L'énergie, le champ électrique ou le champ magnétique par exemple peuvent varier. Ces champs n'ont pas besoin de support matériel pour exister.

A notre connaissance donc, ce vide, absence de particule élémentaire et d'évènement, n'existe pas. Il correspondrait plutôt à ce que l'on appelle le néant.

Par excès de langage, nous appelons vide (physique), un espace où la matière est très fortement raréfiée, avec possibilités d'interactions et présence de rayonnement.

Le vide sur Terre

Le vide s'exprime en termes de pression d'air résiduelle, en Pascal, unité officielle de pression.

La pression moyenne de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer est de 1 013 hPa (environ 100 000 Pa).

On utilise également historiquement des unités telles que le bar ou le mm de mercure :

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 1\,013 \text{ hPa} \\ 1\,013 \text{ hPa} &= 760 \text{ mm de mercure (760 Torr)} = \text{pression atmosphérique normale} \end{aligned}$$

Pour « faire le vide », on prend une enceinte étanche, et on en retire l'air à l'aide d'une pompe à vide. Celles qui donnent les meilleurs « vides » sont très sophistiquées.

Le meilleur vide obtenu sur Terre est d'environ 10^{-8} Pa, ce qui correspond à dix millièmes de milliardième de la pression atmosphérique au niveau de la mer. Ce vide est obtenu sur des volumes extrêmement petits, et à des températures frôlant le zéro absolu.

Si l'on pousse un peu les calculs, on s'aperçoit que cet ultravide contient encore 2 millions de particules de matière par centimètre cube.

Pour fixer les idées, le gaz situé entre les étoiles ne contient en moyenne qu'un seul atome par centimètre cube. On est loin, sur Terre, de pouvoir reproduire des phénomènes ou des expériences sur cette matière diluée interstellaire, capable de produire des molécules complexes.

Le vide quantique

La physique quantique définit le vide comme l'état d'énergie minimale de la théorie.

Le vide quantique n'est pas le néant. L'énergie qu'il contient déclenche des matérialisations spontanées et fugaces de particules et de leurs antiparticules associées (selon la célèbre loi d'Einstein : $E = mc^2$). Ces couples particules – antiparticules, virtuelles ou réelles, s'annihilent presque immédiatement après leur création, formant un bouillonnement d'évènements complexes et encore mal connus.

Le célèbre principe d'indétermination de Heisenberg (conséquence de la dualité onde - particule) montre qu'il est impossible de connaître avec une certitude absolue la valeur de l'énergie à l'échelle quantique à un moment donné. Cela veut dire en un peu plus clair, qu'il est possible d'emprunter de l'énergie au vide pendant un temps très court (et fabriquer des

particules avec). Ce phénomène est à la base de ce que l'on appelle les « fluctuations quantiques du vide ».

Ces fluctuations seraient à l'origine des très subtiles et très faibles différences de la densité de matière issue du Big Bang, et auraient engendré plus tard les galaxies.

Le vide en astronomie

Voyons quelques exemples de quantités de matière par unité de volume dans différentes situations. Tout est ramené à un nombre de particules (atome, molécules...) par cm^3 .

Dans l'atmosphère qu'on respire

$2,5 \cdot 10^{16}$ particules par centimètre cube

Le meilleur vide sur terre

$2 \cdot 10^6$ particules par centimètre cube

Nébuleuses

100 à 10 000 particules par centimètre cube

Vide interstellaire

1 à 10 particules par centimètre cube

Les nuages de gaz et poussières sont donc beaucoup plus « vides » que ce que l'on peut obtenir sur Terre sur des faibles volumes.

Les nébuleuses sont extrêmement étendues et le peu de densité de matière se traduit paradoxalement, sur des volumes mesurés en al^3 , par des quantités énormes de matière capables d'engendrer, grâce à la gravité, des milliers ou des millions d'étoiles.

Le vide interstellaire quant à lui, n'est pas assez dense pour former des étoiles.