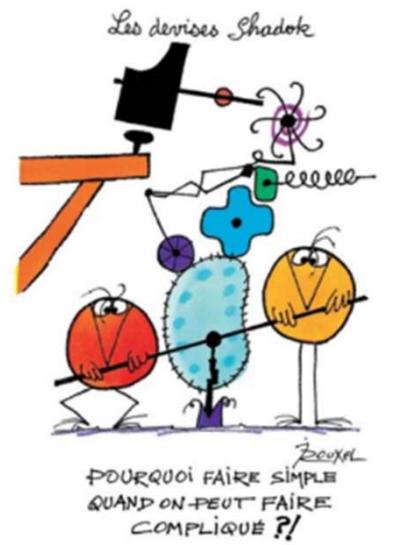


# L'Art du Rien :

## Exploration des Mystères du Vide ...



# L'Art du Rien :

## Exploration des Mystères du Vide ...

Partie 2 : Le concept scientifique du vide et ses applications  
=> Compléments d'informations



### Informations complémentaires :

- **Appellation vide primaire / vide secondaire :**

Les termes de *vide primaire* et *vide secondaire* proviennent du fait que pour obtenir un vide poussé ou l'ultravide, on doit utiliser deux pompes à vide (de conceptions différentes) : une première (*pompe primaire*) puis une seconde (*pompe secondaire*).

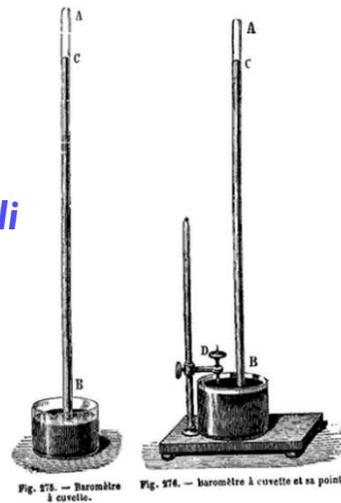
- **« Être » sous vide :**

- Dans une enceinte à vide : le corps humain va « émettre » tant de particules, que le vide ne pourra se faire.
- Dans l'espace, c'est le manque d'oxygène (anoxie) qui posera problème.  
1<sup>ers</sup> effets à partir de 1500-2000 m d'altitude

Informations complémentaires :

- Niveau de vide dans les parois d'une bouteille isotherme :  
Entre  $10^{-6}$  et  $10^{-3}$  mbar, valeurs théoriques selon l'IA...
- Pression limite du Baromètre de Toricelli

**Baromètre de Toricelli**  
(Cuve ouverte)



**Baromètre de Boyle**  
(Tube à siphon)



Fig. 280. — Baromètre à siphon ordinaire.



# L'Art du Rien :



## Exploration des Mystères du Vide ...

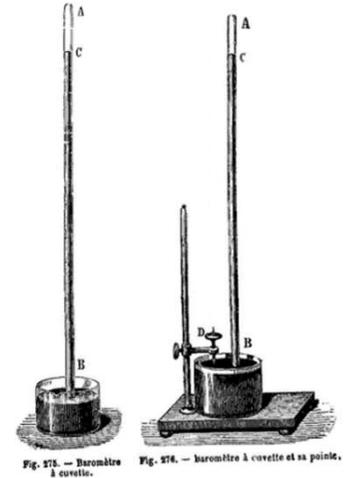
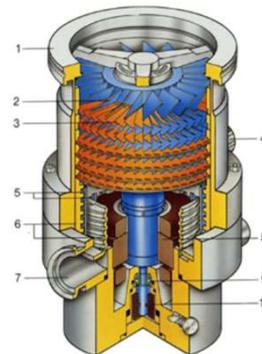
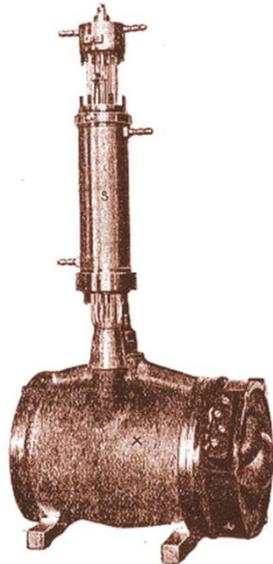
### Partie 3 : Créer et contrôler le vide



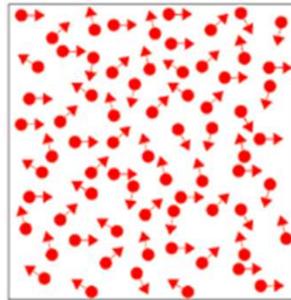
# L'Art du Rien : Exploration des Mystères du Vide ...

## Partie 3 : Créer et contrôler le vide

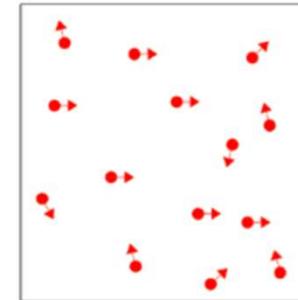
- I. Créer le vide : Comment fait-on?
- II. Contrôler le vide : Comment mesurer?
- III. Les évolutions technologiques pour créer et mesurer le vide



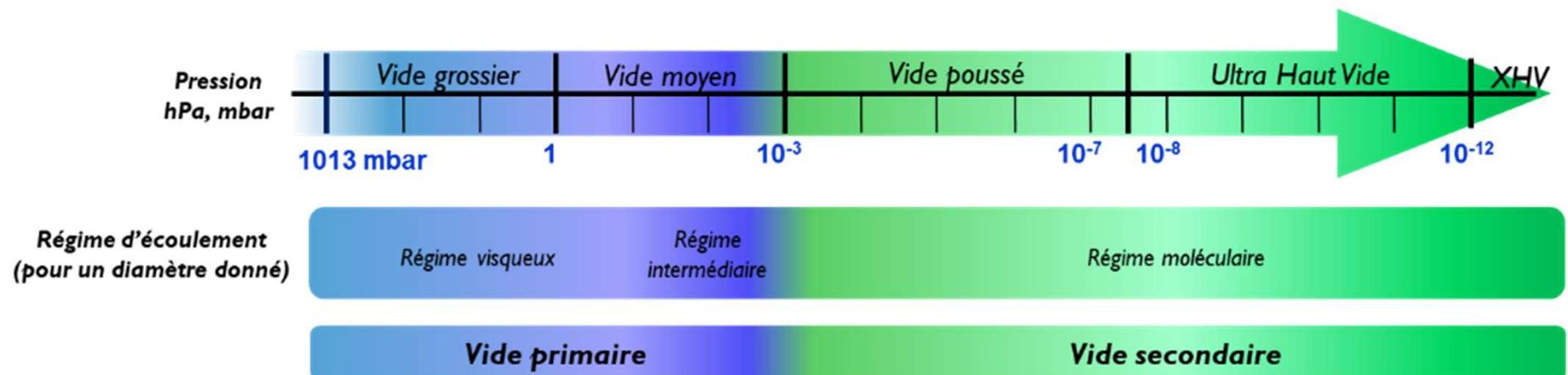
### I. Créer le vide : Comment fait-on?



Les chocs entre molécules dominent.

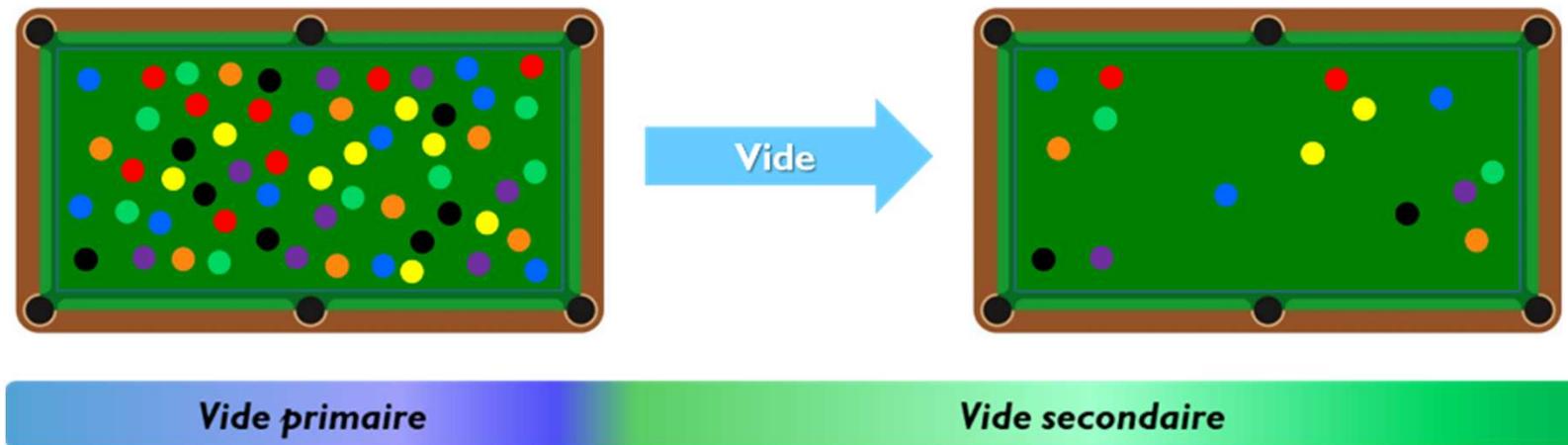


Les chocs molécules - paroi dominent.



- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?

Une **pompe à vide** est un moyen permettant de faire le vide, c'est-à-dire d'extraire ou de piéger l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close, afin d'en diminuer la pression.



### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?

Une **pompe à vide** est un type de pompe permettant de faire le vide, c'est-à-dire d'extraire ou de piéger l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close, afin d'en diminuer la pression.

- Les « familles » de pompes à vide

➤ Les pompes à transfert de flux : « tout ce qui rentre (*aspiration*), sort quelque part (*refoulement*) »



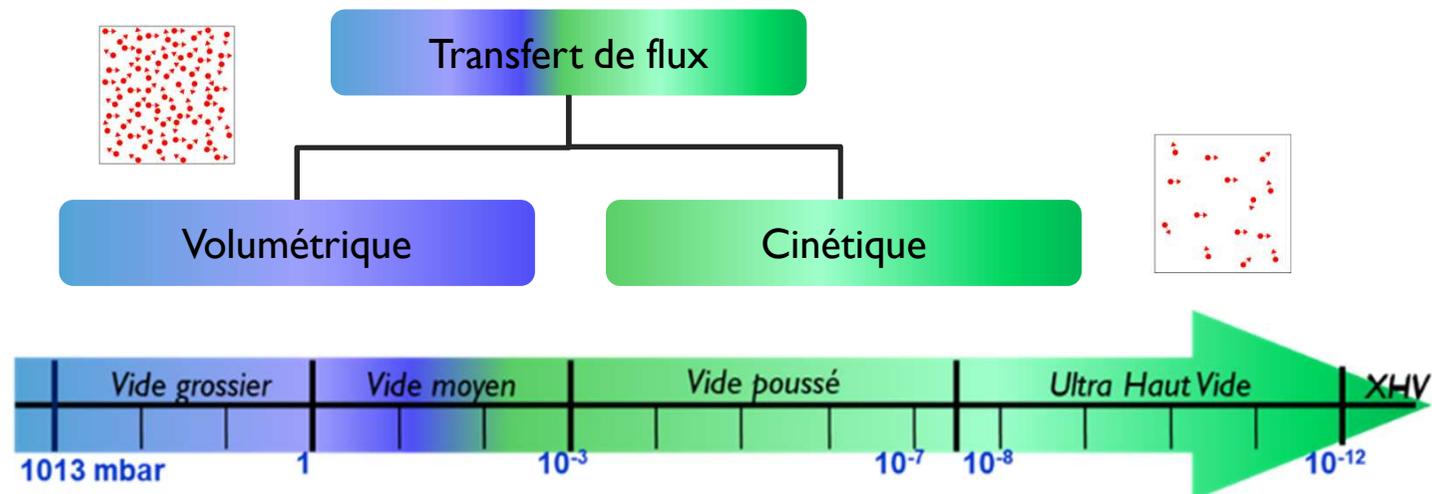
### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?

Une **pompe à vide** est un type de pompe permettant de faire le vide, c'est-à-dire d'extraire ou de piéger l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close, afin d'en diminuer la pression.

- Les « familles » de pompes à vide

➤ Les pompes à transfert de flux : « tout ce qui rentre (*aspiration*), sort quelque part (*refoulement*) »



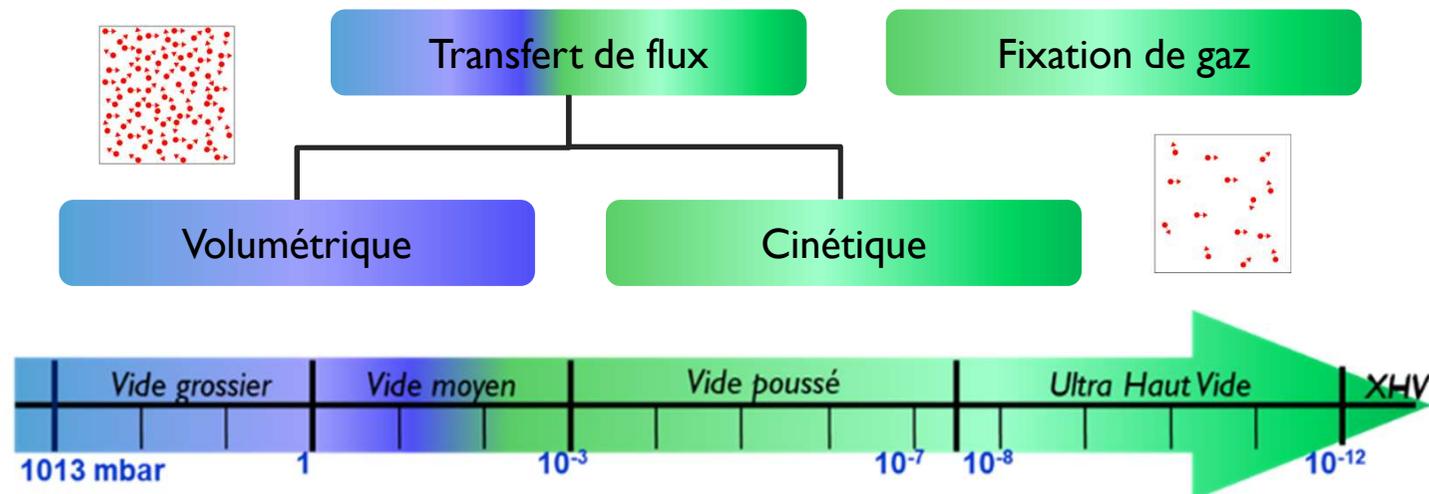
### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?

Une **pompe à vide** est un type de pompe permettant de faire le vide, c'est-à-dire d'extraire ou de piéger l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close, afin d'en diminuer la pression.

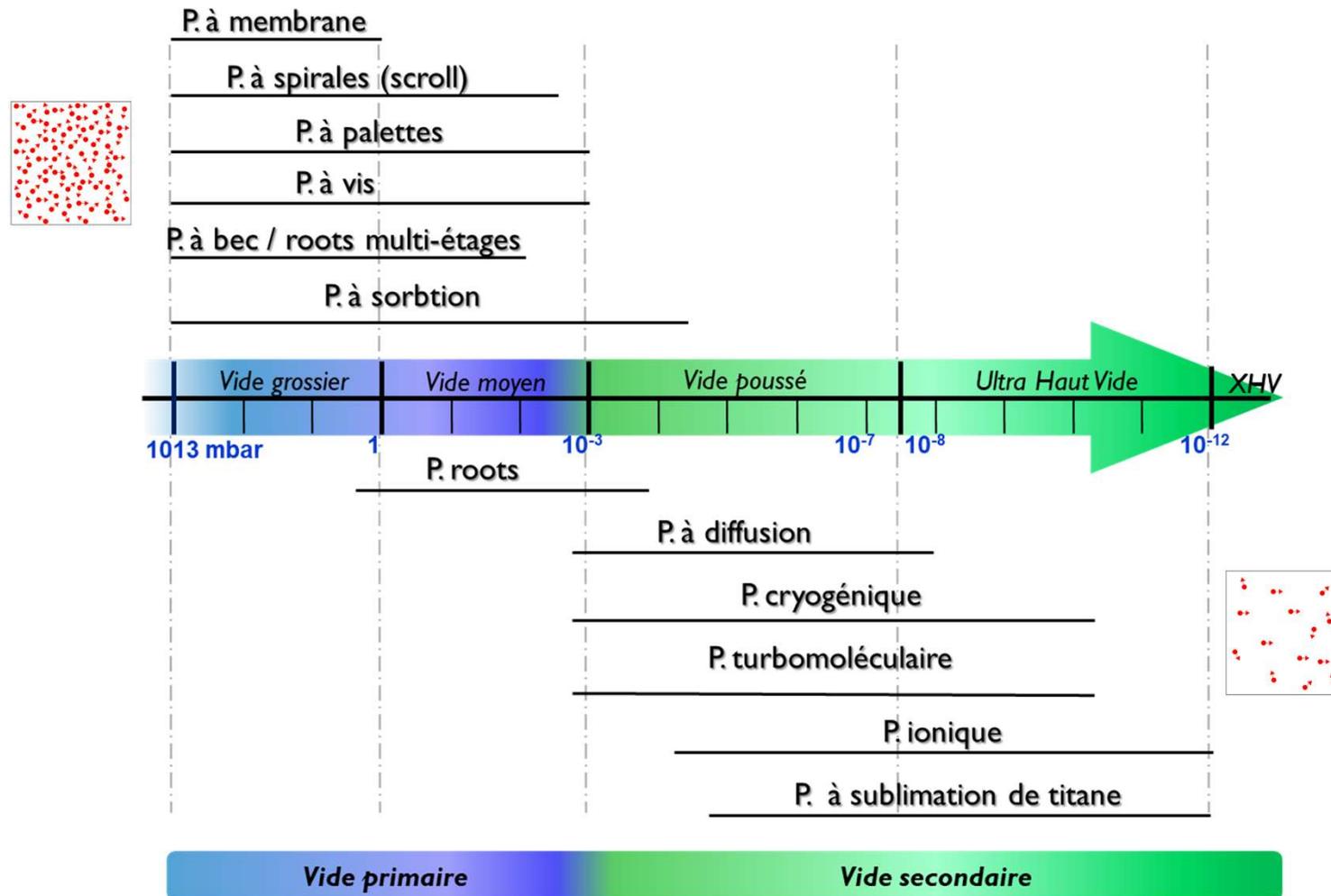
- Les « familles » de pompes à vide

- Les pompes à transfert de flux : « tout ce qui rentre (*aspiration*), sort quelque part (*refoulement*) »
- Les pompes à fixation de gaz : « piégeage des molécules de gaz »

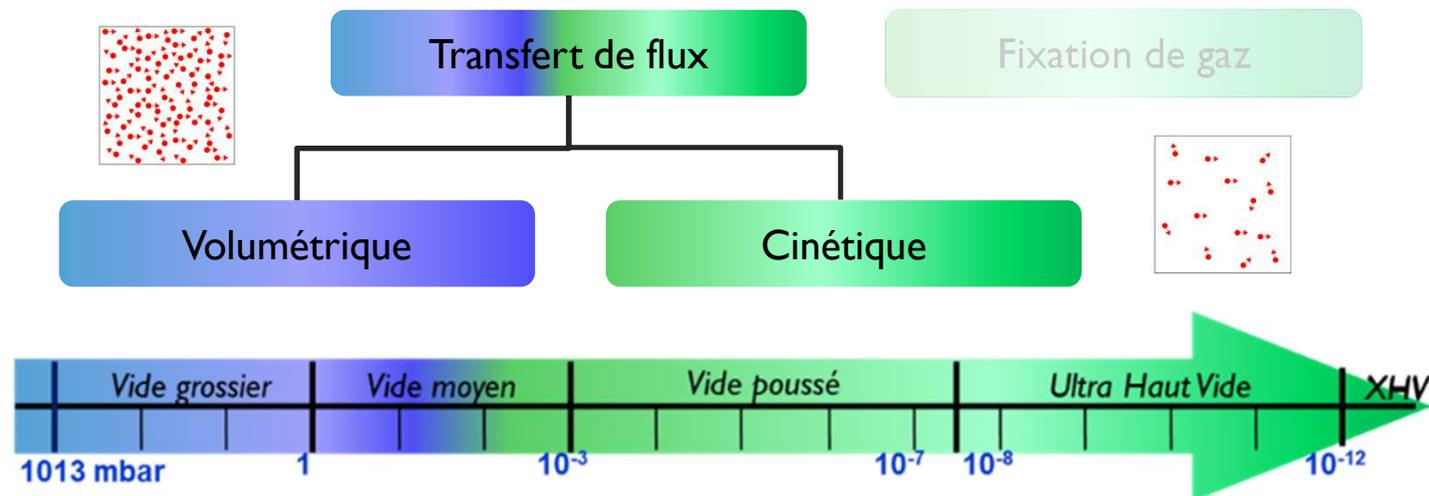


### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Les « familles » de pompes à vide



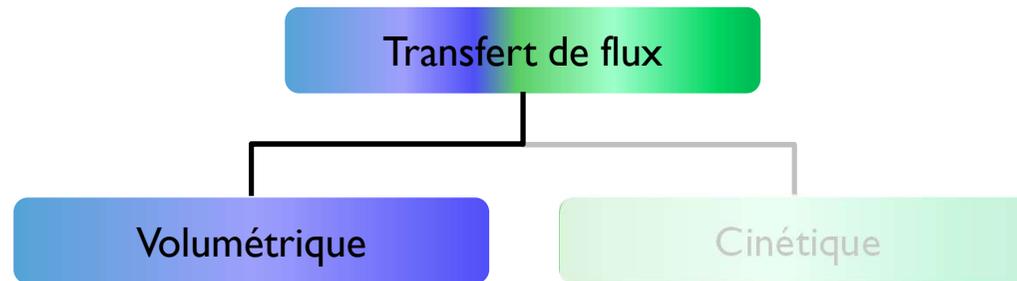
- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?
  - Les « familles » de pompes à vide
    - Les pompes à transfert de flux : « tout ce qui rentre, sort quelque part »
    - Les pompes à fixation de gaz : « piégeage des molécules de gaz »



### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide

- Les pompes à transfert de flux volumétrique



- Pompe à membranes
- Pompe à pistons
- Pompe à palettes
- Pompe à spirales
- Pompe à becs
- Pompe à vis
- Pompe Roots

Vide primaire

Vide secondaire

### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

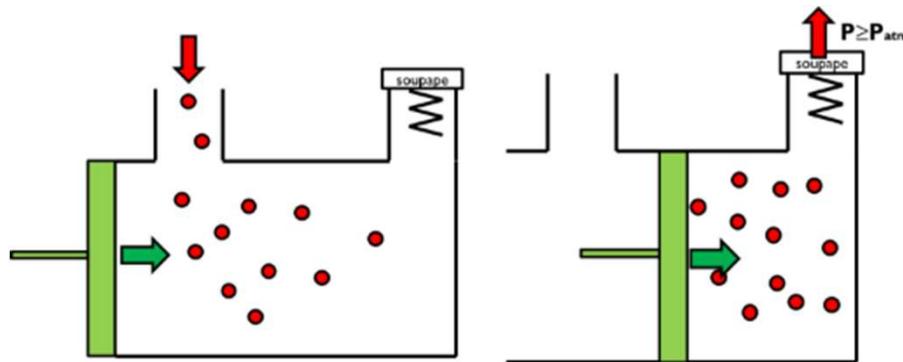
- Le fonctionnement des pompes à vide

- Les pompes à transfert de flux volumétrique

**Principe de fonctionnement** : admettre un gaz dans un volume à basse pression. Le gaz est emprisonné dans le corps de la pompe et le volume (V) dans lequel il est contenu est diminué afin d'augmenter la pression (P) du gaz jusqu'à une valeur supérieure à la pression atmosphérique.

Quand  $P \geq P_{atm}$ , la soupape s'ouvre pour évacuer le gaz.

Cette compression est accompagnée d'un dégagement de chaleur qui doit être évacué pour éviter la surchauffe de la pompe.



Loi de Boyle-Mariotte :

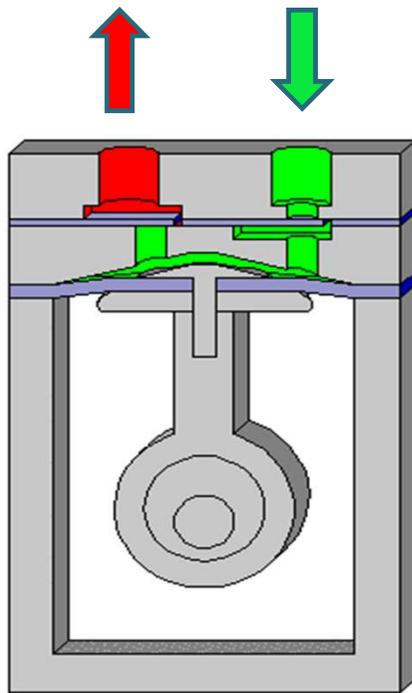
A température constante, **PV= constante**

Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe à membranes

Transfert de flux  
Volumétrique



<http://www.labplant.co.uk/laboratory-pumps.html>

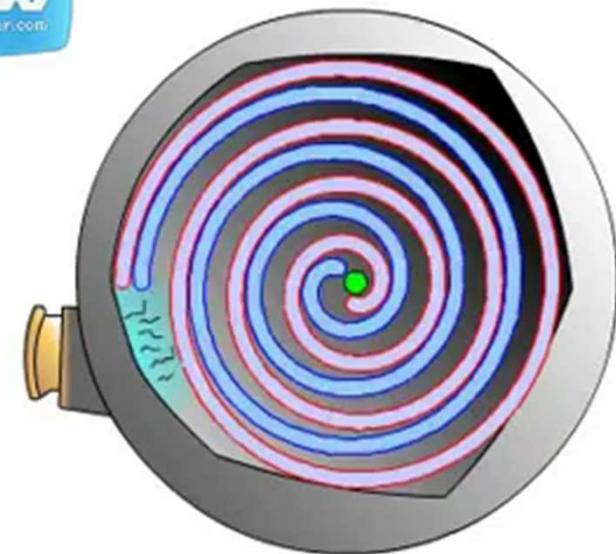
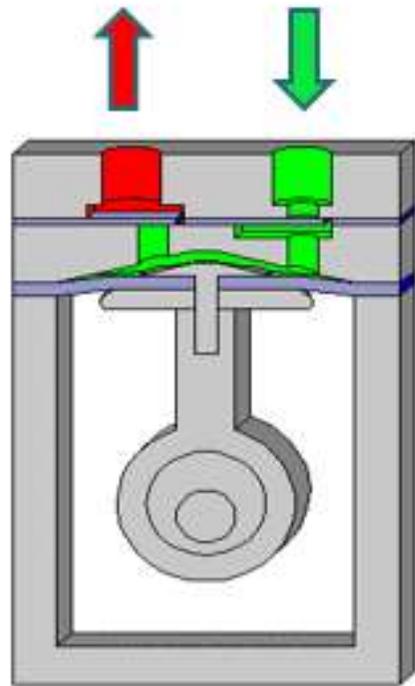
Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe à membranes

Transfert de flux  
Volumétrique

- La pompe à spirales



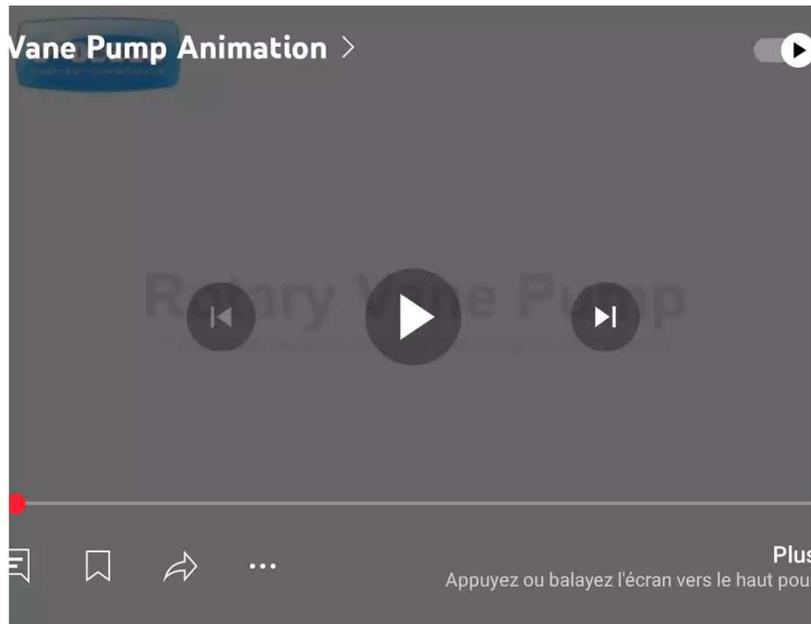
<http://www.labplant.co.uk/laboratory-pumps.html>

Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe à palettes

Transfert de flux  
Volumétrique

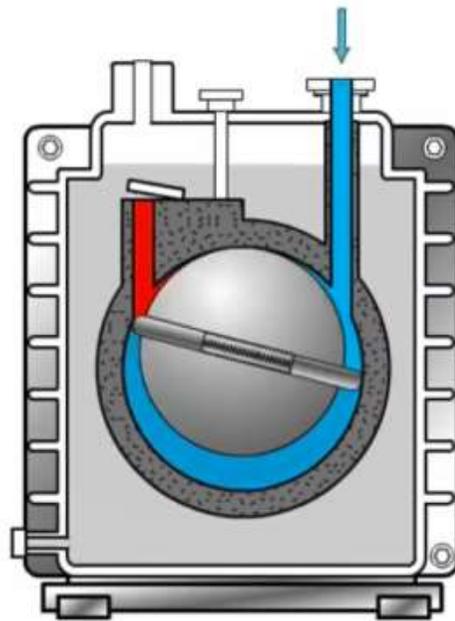


<https://www.youtube.com/watch?v=AFHogF-9eGA>

Vide primaire

Vide secondaire

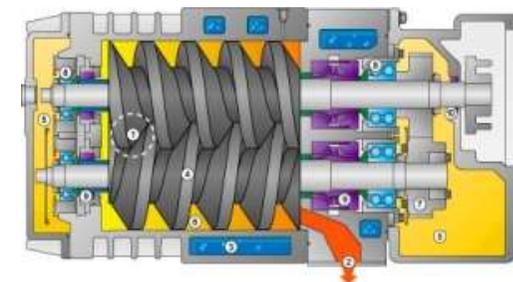
- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe à palettes



<https://www.youtube.com/watch?v=AFHogF-9eGA>

Transfert de flux  
Volumétrique

- La pompe à vis



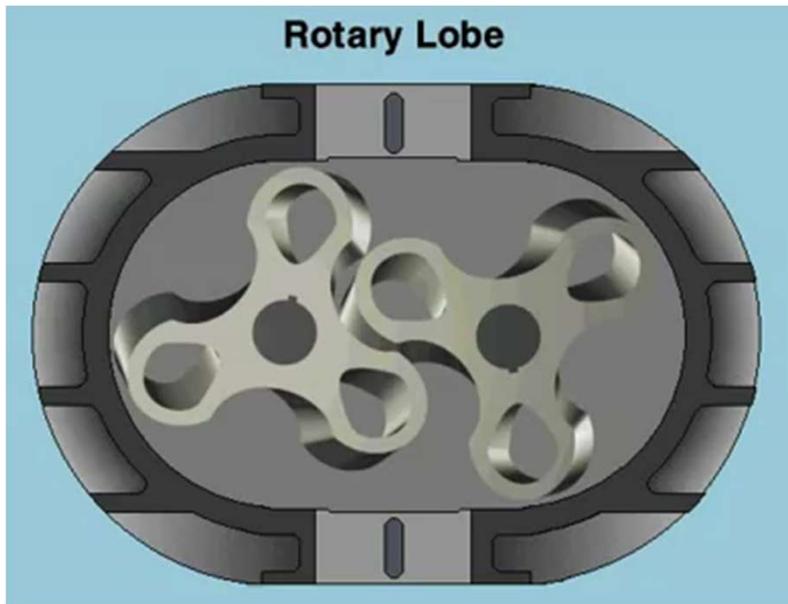
Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe Roots

Transfert de flux  
Volumétrique

- La pompe multi-roots



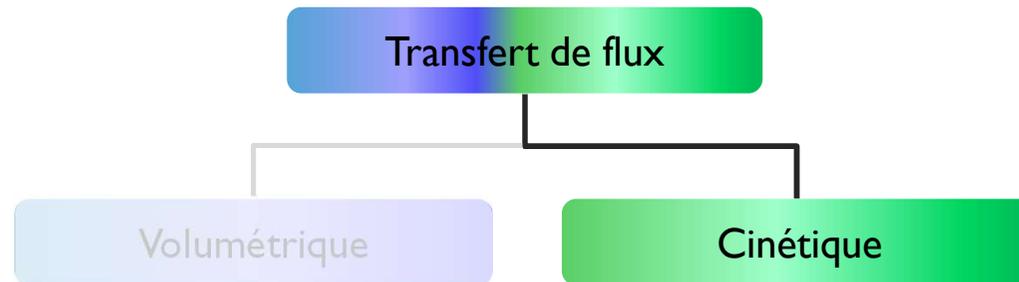
Vide primaire

Vide secondaire

### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide
  - Les pompes à transfert de flux cinétique

**Principe de fonctionnement** : la pompe transfère hors du système ce qui arrive *par hasard* (en fonction des mouvements naturels des molécules) à son entrée, comparable à un « clapet anti-retour »



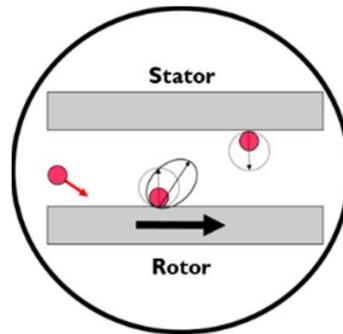
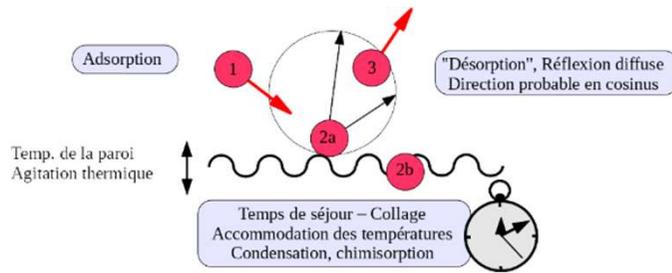
- Pompe moléculaire
- Pompe turbomoléculaire
- Pompe à diffusion

Vide primaire

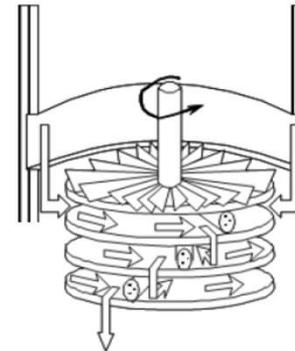
Vide secondaire

### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide
  - La pompe moléculaire

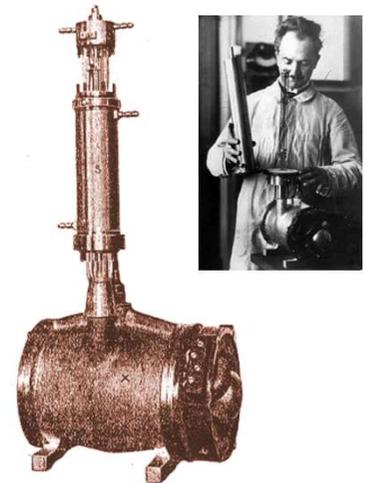
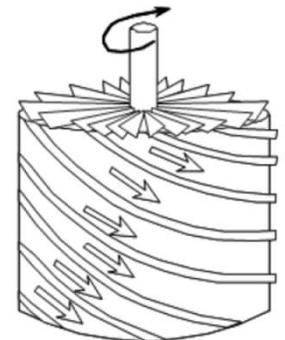


**Gaede**



Transfert de flux  
Cinétique

**Holweck**

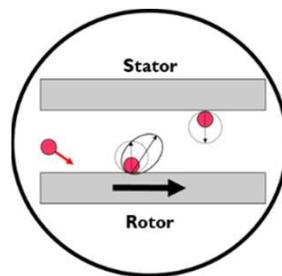
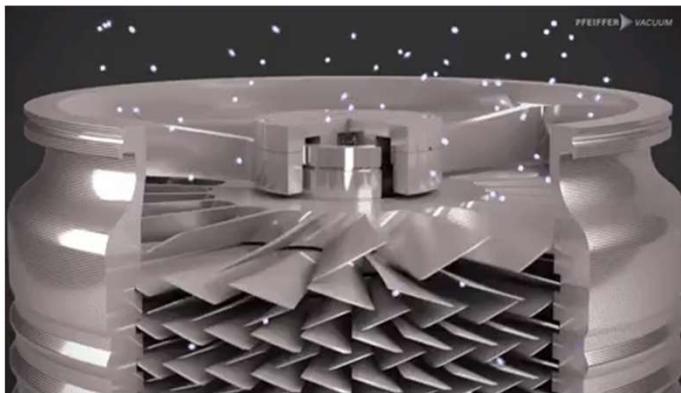


Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe turbomoléculaire

Transfert de flux  
Cinétique



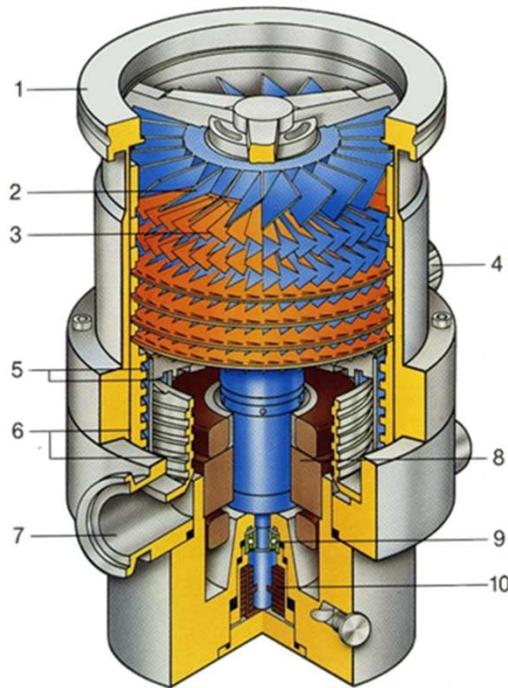
<https://www.youtube.com/watch?v=f1SErZyhMe4&pp=ygUXcG9tcGUgdHVyYm9tb2zDqWNlbGFpcmU%3D>

Vide primaire

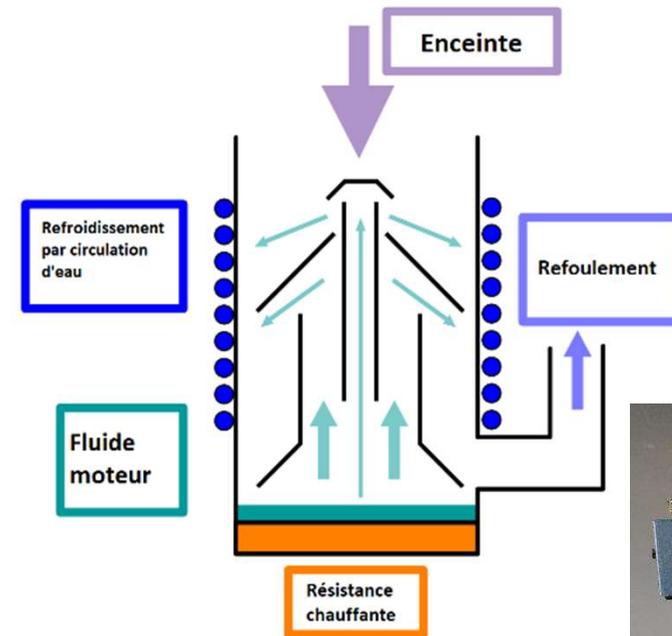
Vide secondaire

### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide
  - La pompe turbomoléculaire



- La pompe à diffusion

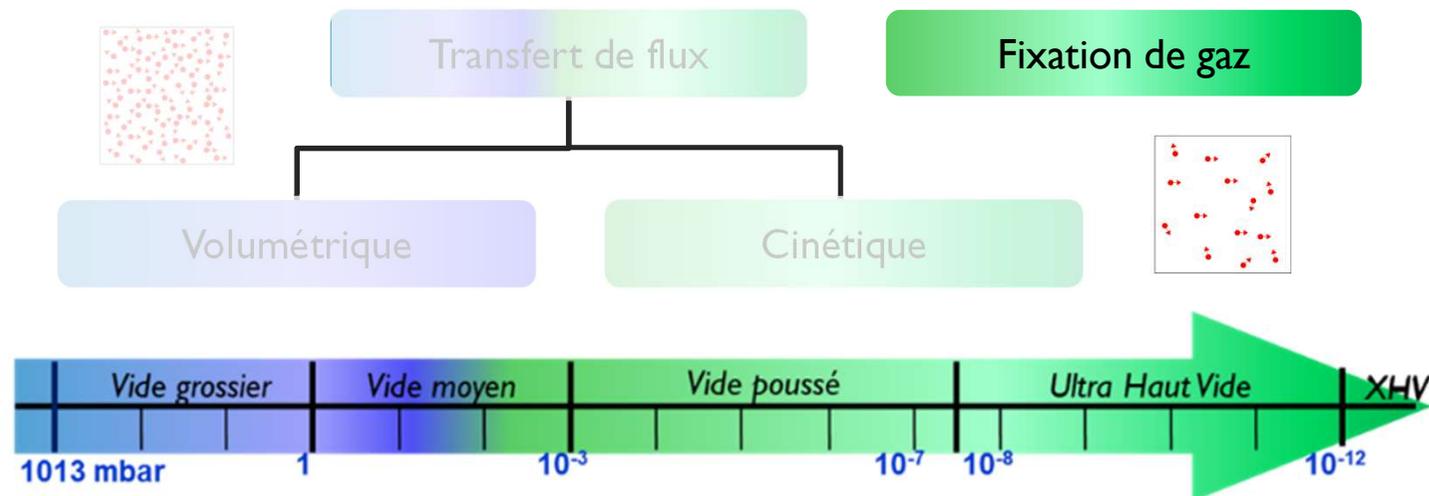


Transfert de flux  
Cinétique

Vide primaire

Vide secondaire

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Les pompes à vide : qu'est ce que c'est?
  - Les « familles » de pompes à vide
    - Les pompes à transfert de flux : « tout ce qui rentre, sort quelque part »
    - Les pompes à fixation de gaz : « piègeage des molécules de gaz »



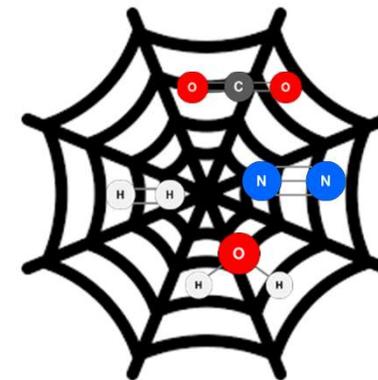
### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide
  - Les pompes à fixation de gaz

**Principe de fonctionnement** : « piéger » les molécules chimiquement ou réduire leur vitesse en abaissant la température.

Fixation de gaz

- Pompe ionique
- Pompe cryogénique
- « Sublimateur de titane »
- NEG

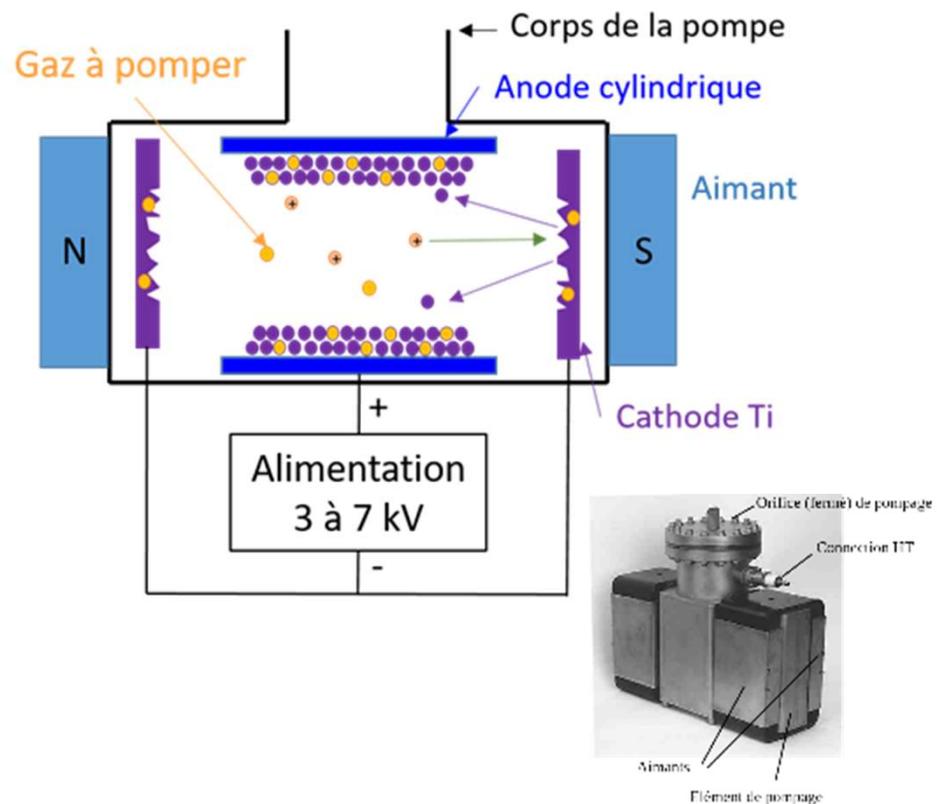


Vide primaire

Vide secondaire

Fixation de gaz

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - La pompe ionique

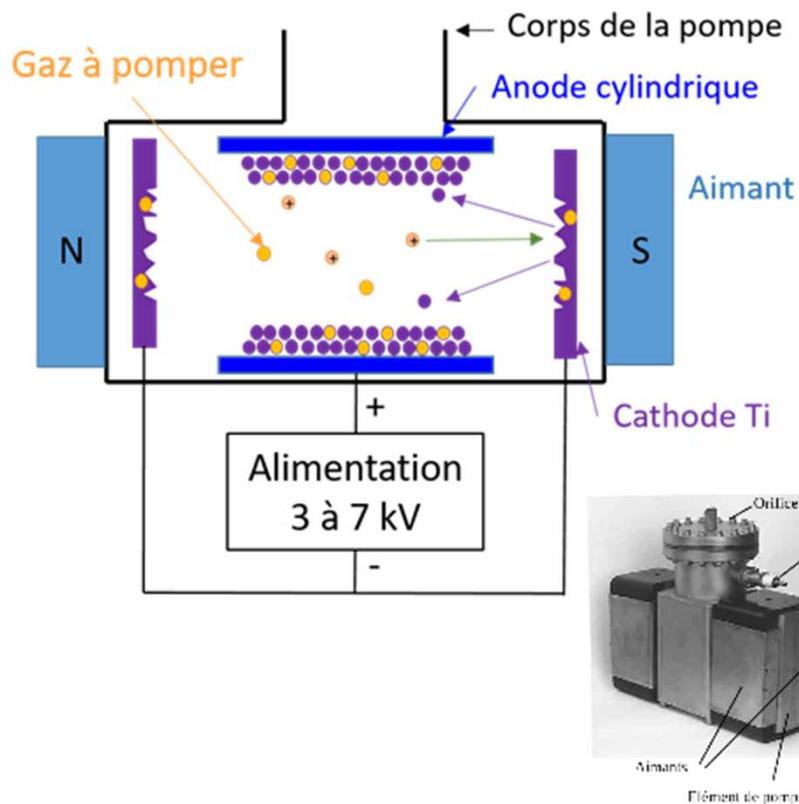


Vide primaire

Vide secondaire

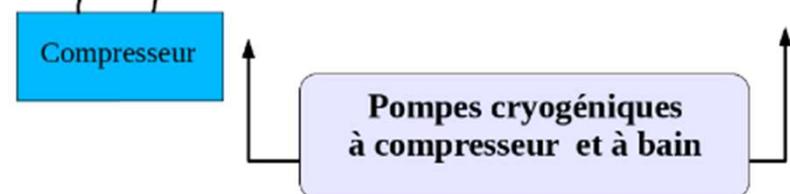
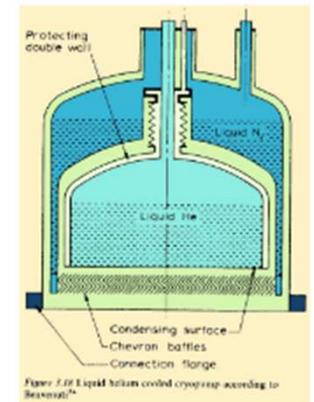
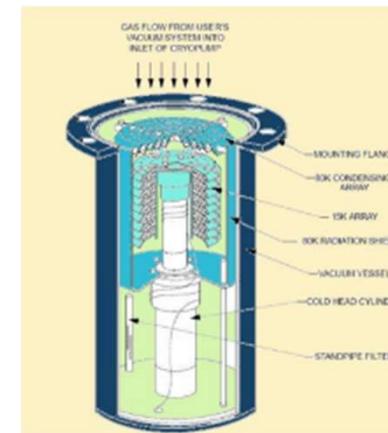
### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Le fonctionnement des pompes à vide
  - La pompe ionique



Fixation de gaz

- La pompe cryogénique



Vide primaire

Vide secondaire

Fixation de gaz

- I. Créer le vide : Comment fait-on ?
  - Le fonctionnement des pompes à vide
    - Le sublimateur de titane

Pompage par adsorption (dépôt d'un film de titane)



Chemisorbed molecules

(b)

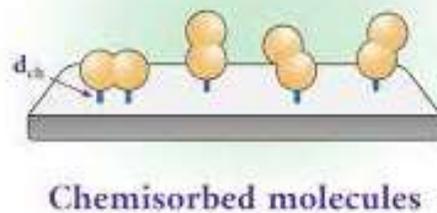
Vide primaire

Vide secondaire

### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

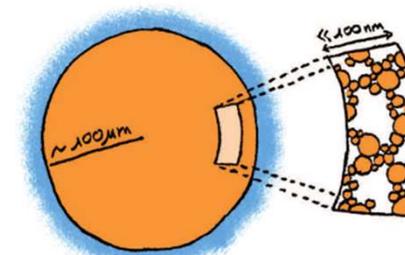
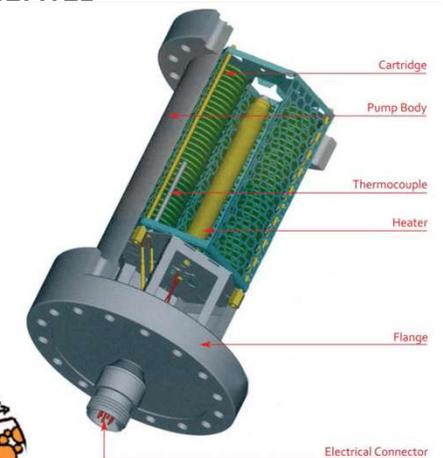
- Le fonctionnement des pompes à vide
  - Le sublimateur de titane

Pompage par adsorption (dépôt d'un film de titane)



- La pompe NEG (*Non Evaporable Getter*)

Alliages de Zirconium (Zr), Titane (Ti) et Vanadium (V) en cartouches de frittés poreux ou sous forme de couches minces déposées sur les surfaces internes

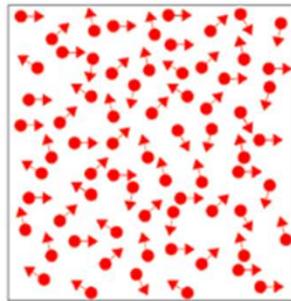


Vide primaire

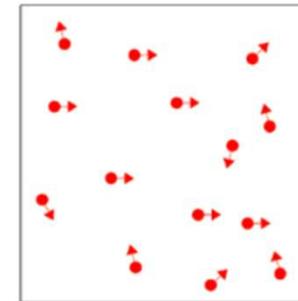
Vide secondaire

Fixation de gaz

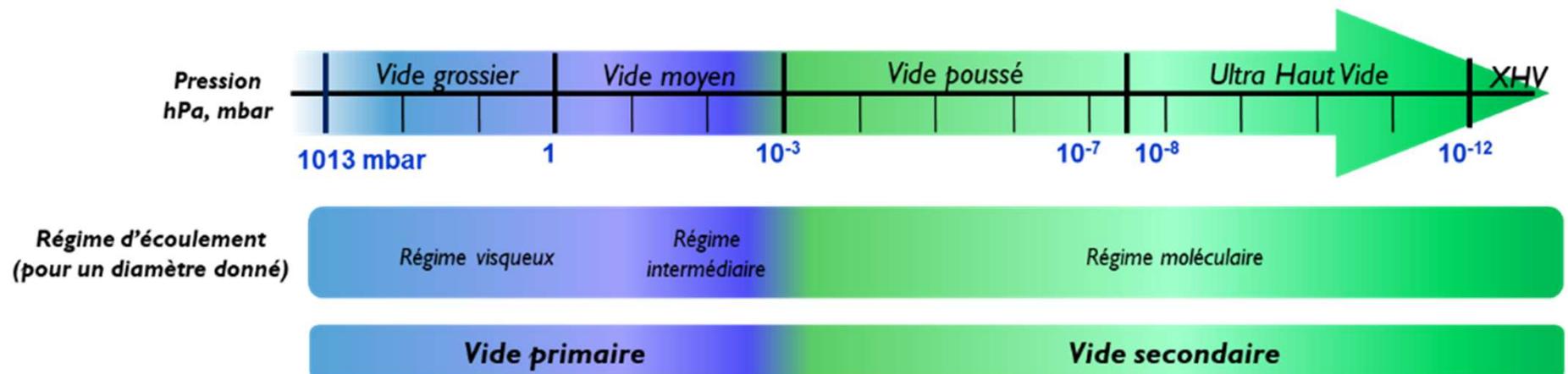
### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?



Les chocs entre molécules dominant.



Les chocs molécules - paroi dominant.



- II. Contrôler le vide : comment mesurer ?
  - Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?

Une jauge à vide est un capteur qui permet de déterminer la valeur de la pression.

### II. Contrôler le vide : comment mesurer ?

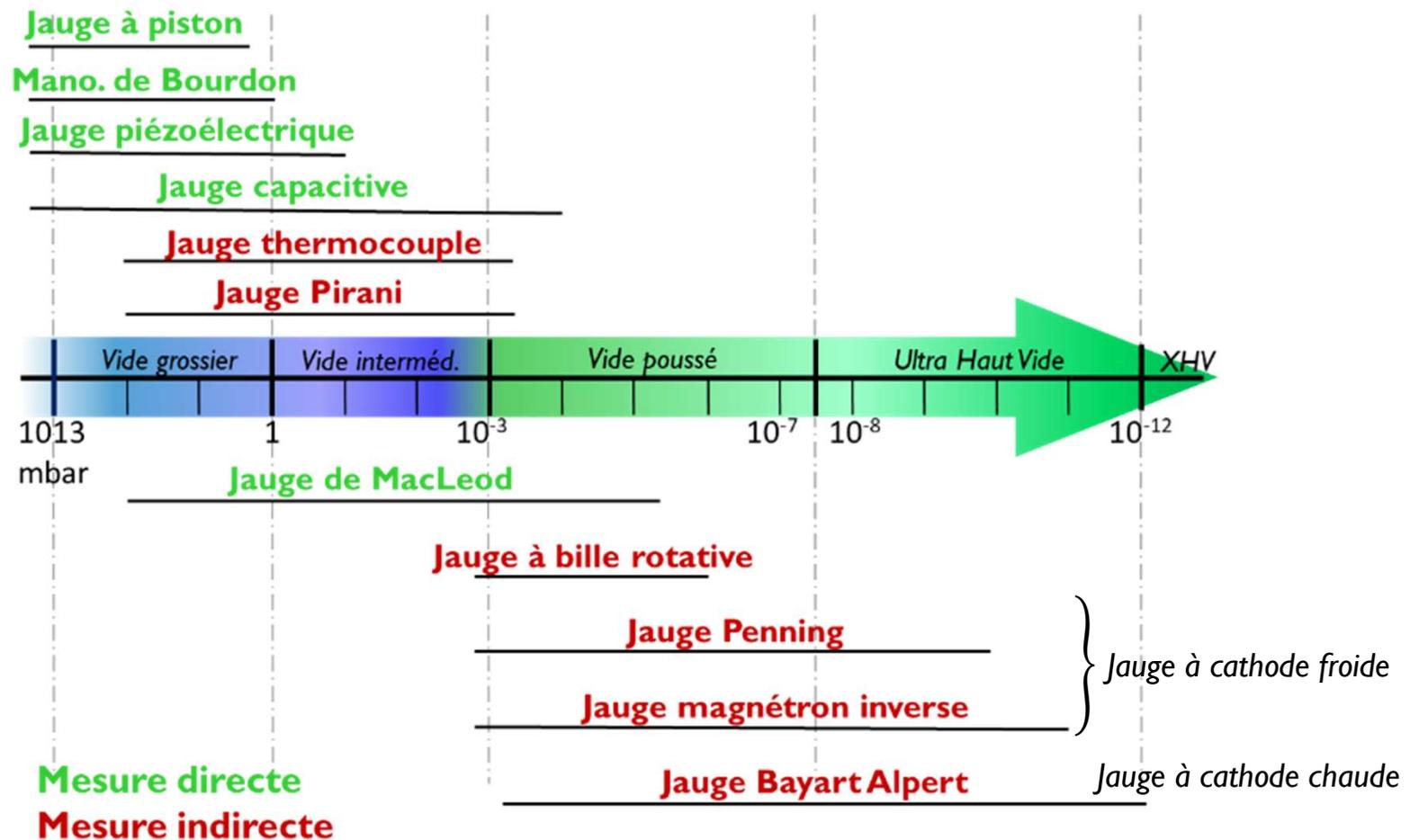
- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?

Une jauge à vide est un capteur qui permet de déterminer la valeur de la pression.

- Les « familles » de jauges à vide

- Mesure directe : mesure de la pression pour déplacement ou déformation mécanique (force exercée sur une surface)
- Mesure indirecte : mesure d'une grandeur proportionnelle à la pression (transfert de mouvement, dissipation thermique, ionisation)

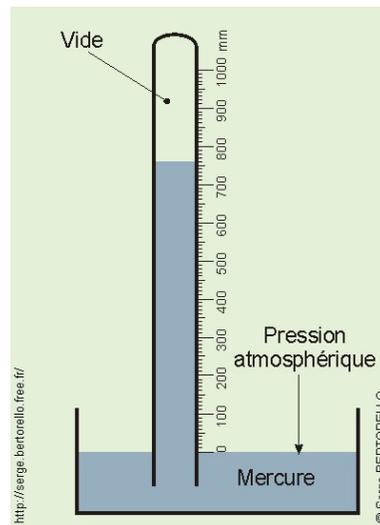
- II. Contrôler le vide : comment mesurer ?
  - Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?



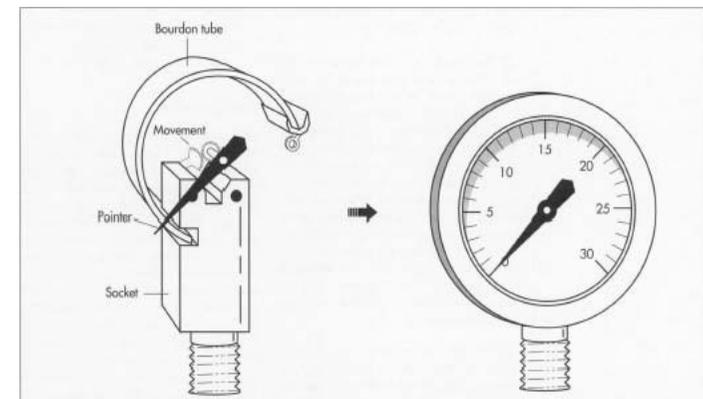
### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?
  - Les jauges à mesure directe, à déplacement / déformation

#### Baromètre de Torricelli



#### Manomètre de Bourdon



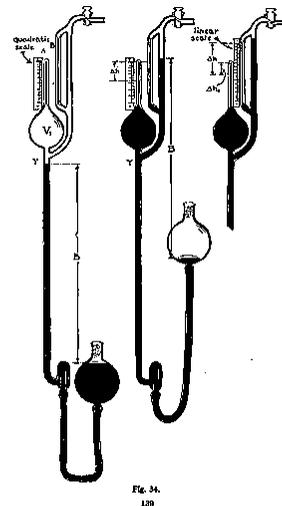
Vide primaire

Vide secondaire

### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?

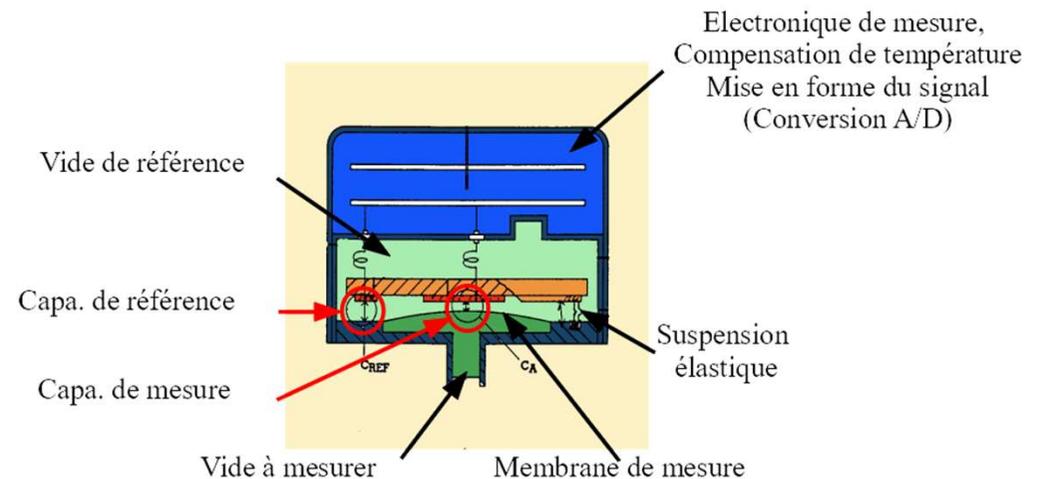
- Les jauges à **mesure directe**, à **déplacement** / déformation



#### **Jauge de MacLeod**

=> Loi de Boyle-Mariotte :

$$P_x \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$



#### **Jauge capacitive**

Vide primaire

Vide secondaire

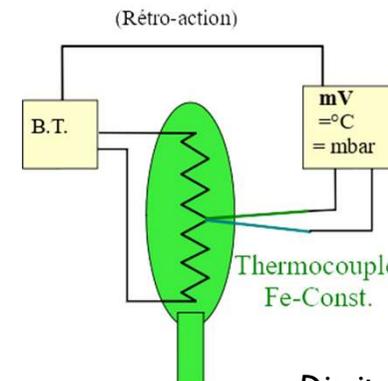
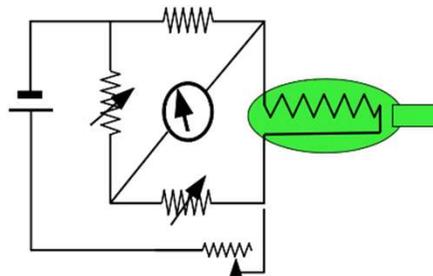
### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?
  - Les jauges à mesure indirecte, à dissipation thermique

#### Jauge Pirani et jauge Thermocouple



Dissipation thermique  
d'une résistance



Dissipation thermique  
mesurée par un thermocouple

Vide primaire

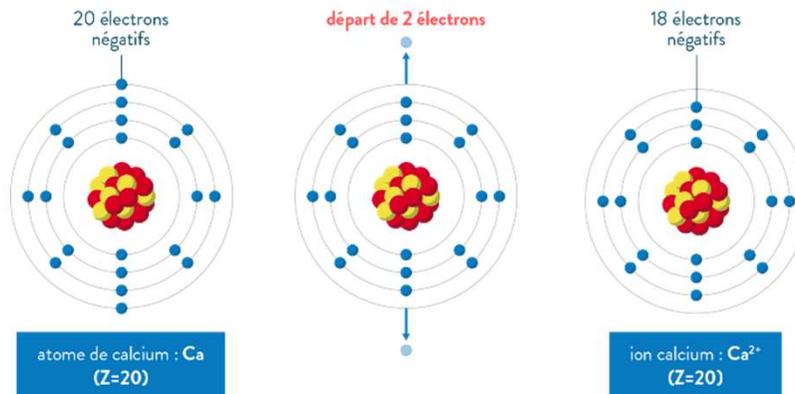
Vide secondaire

## II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

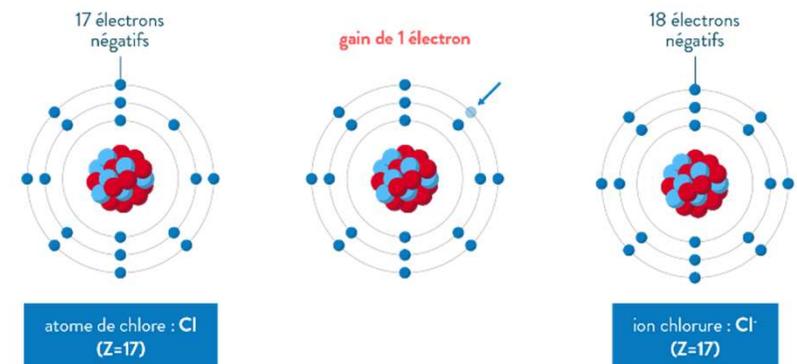
- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?
  - Les jauges à mesure indirecte, à ionisation

Qu'est-ce que l'ionisation? : ajouter ou enlever des charges à un atome ou une molécule électriquement neutre, qui devient ainsi un ion (chargé positivement ou négativement)

La formation de l'ion calcium



La formation de l'ion chlorure



Vide primaire

Vide secondaire

## II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

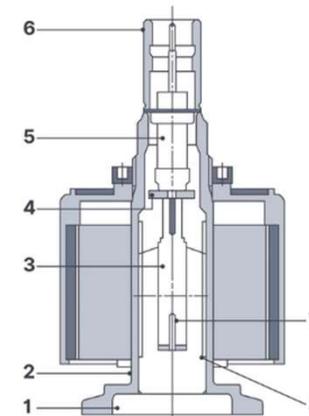
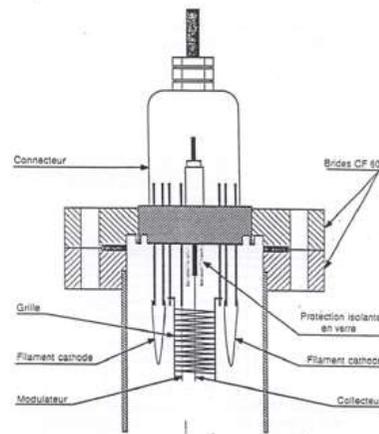
- Les jauges à vide : qu'est ce que c'est?

- Les jauges à **mesure indirecte**, à ionisation

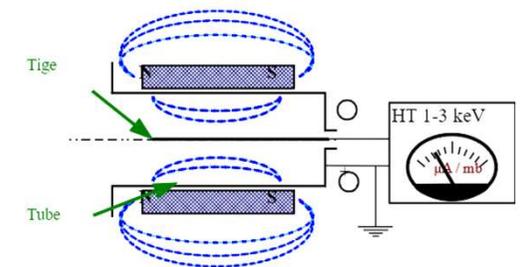
*Ioniser les molécules et les collecter revient à les « compter » !*



### Jauge à cathode chaude et à cathode froide



- 1. Petite bride DN 25 KF ; DN 40 KF
- 2. Corps
- 3. Anode annulaire avec broche d'allumage
- 4. Rondelle en céramique
- 5. Passage du courant
- 6. Bague de raccordement
- 7. Broche d'anode
- 8. Plaque cathodique

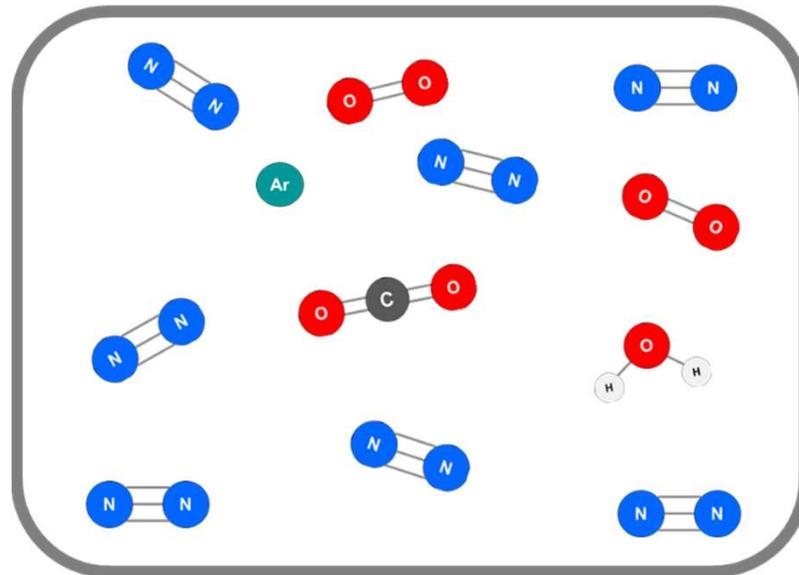


Vide primaire

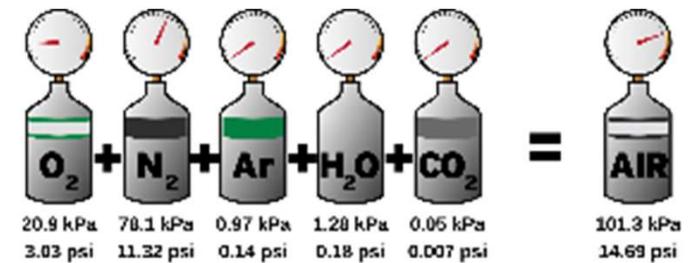
Vide secondaire

### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Le spectromètre de masse : qu'est ce que c'est?

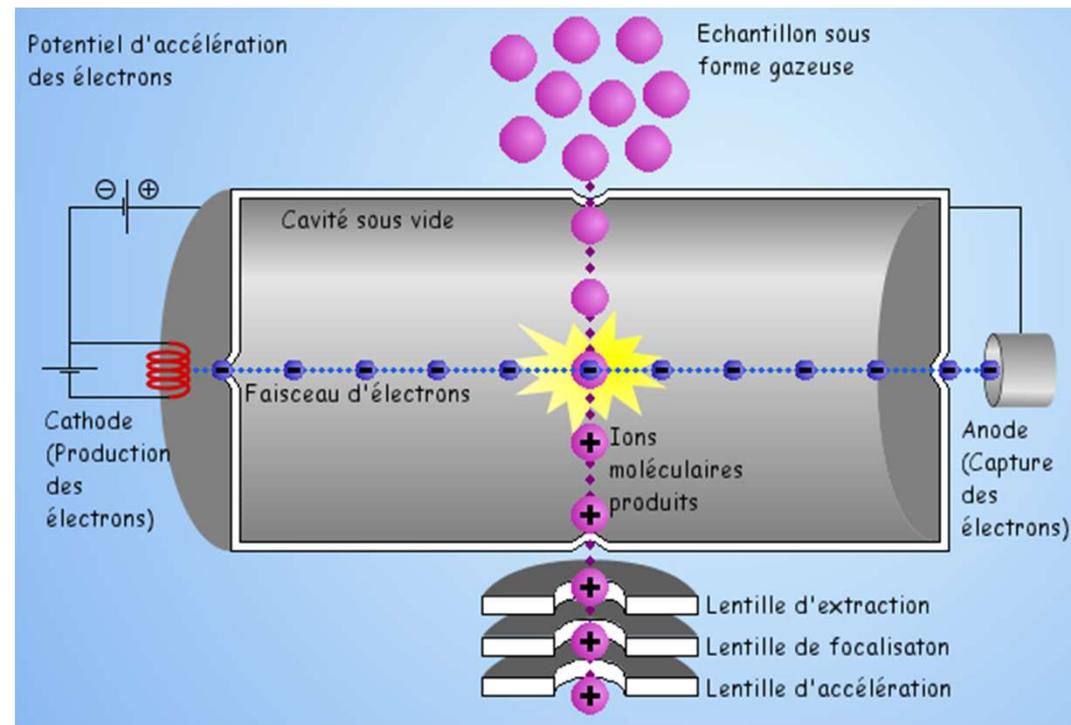


Loi de Dalton :  $P_{\text{totale}} = \sum P_{\text{partielles}}$



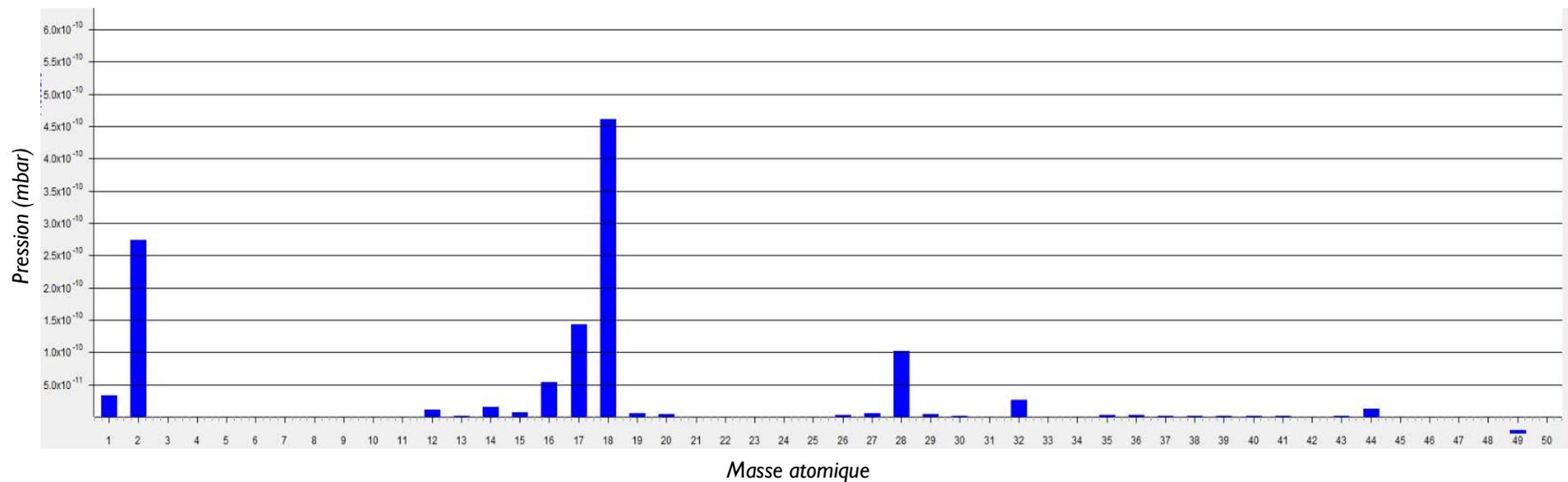
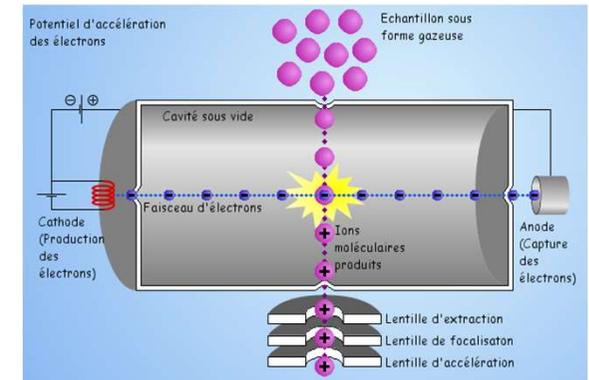
II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Le spectromètre de masse : qu'est ce que c'est?



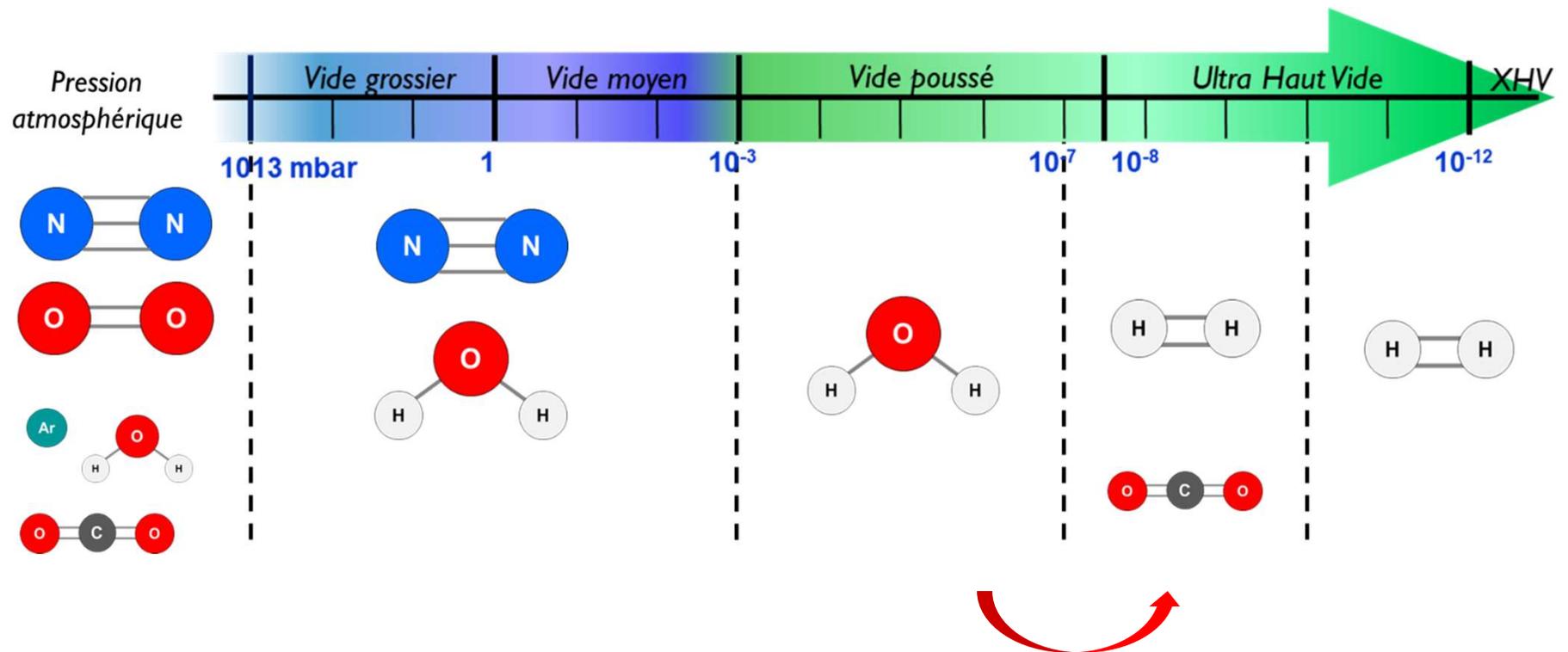
### II. Contrôler le vide : Comment mesurer ?

- Le spectromètre de masse : qu'est ce que c'est?



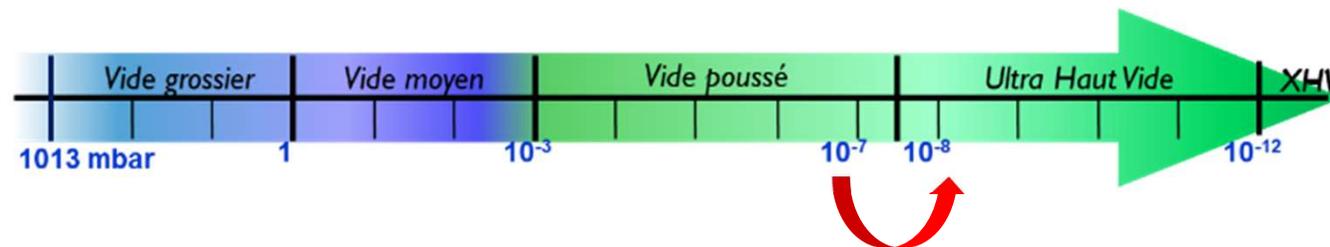
*Application* : outil de diagnostic permettant d'identifier la nature des gaz présents ou de détecter des fuites

### II. Contrôler le vide : Comment atteindre l'ultravide ?



### II. Contrôler le vide : Comment atteindre l'ultravide ?

- L'étuvage



Comment? => Chauffer entre 120 à 450 °C pendant quelques heures ou jours

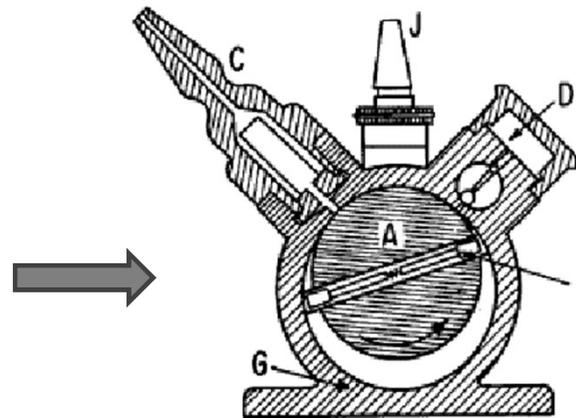
Pourquoi ? => Dégazer le film de vapeur d'eau recouvrant toutes les surfaces.



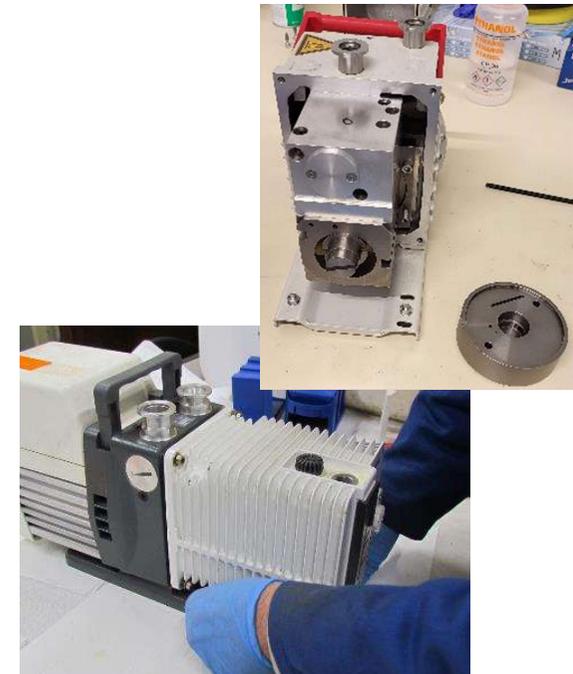
## III. Les évolutions technologiques pour créer et mesurer le vide



1654 : Expérience des hémisphères de Magdebourg avec une « pompe à air » (Otto VON GUERICKE)

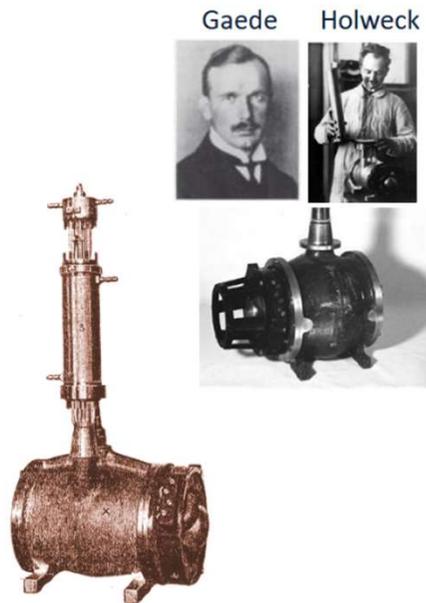


1907 : Première pompe rotative à joint d'huile (Wolfgang GAEDE)

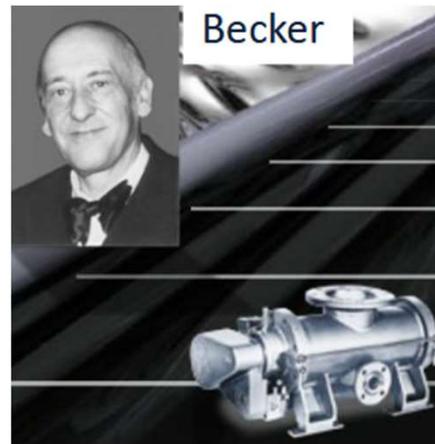


Aujourd'hui : pompe rotative à joint d'huile (pompe à palettes)  
Pression  $\rightarrow \sim 5 \cdot 10^{-3}$  mbar  
Débit : 1 à 300 m<sup>3</sup>/h

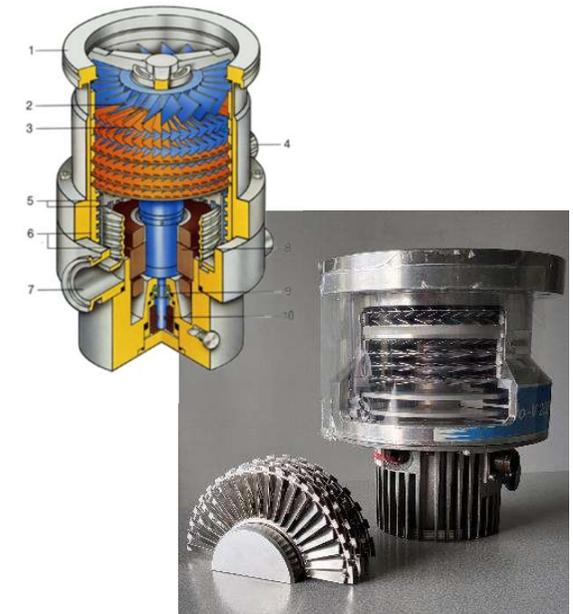
## III. Les évolutions technologiques pour créer et mesurer le vide



~1920 - 1930 :  
Pompe à parois mobiles  
(pompe moléculaire)  
(Wolfgang GAEDE &  
Fernand HOLWECK)

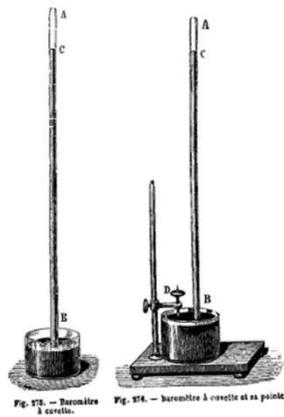


~1957 : Commercialisation des  
premières pompes  
turbomoléculaires  
(M. BECKER)



Aujourd'hui : pompe rotative à  
joint d'huile (pompe à palettes)  
 $10^{-4} < \text{Pression} < 10^{-10}$  mbar  
Débit : 50 à 2000 l/s

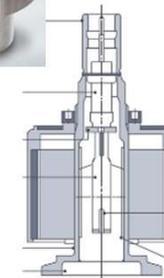
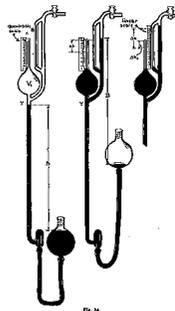
III. Les évolutions technologiques pour créer et mesurer le vide



~1644 :  
Baromètre de Torricelli



~1665 :  
Baromètre de Boyle



Aujourd'hui :  
Jauges à cathodes  
froides et chaudes  
→ ~ 10<sup>-9</sup> / 10<sup>-11</sup> mbar

Et demain ?

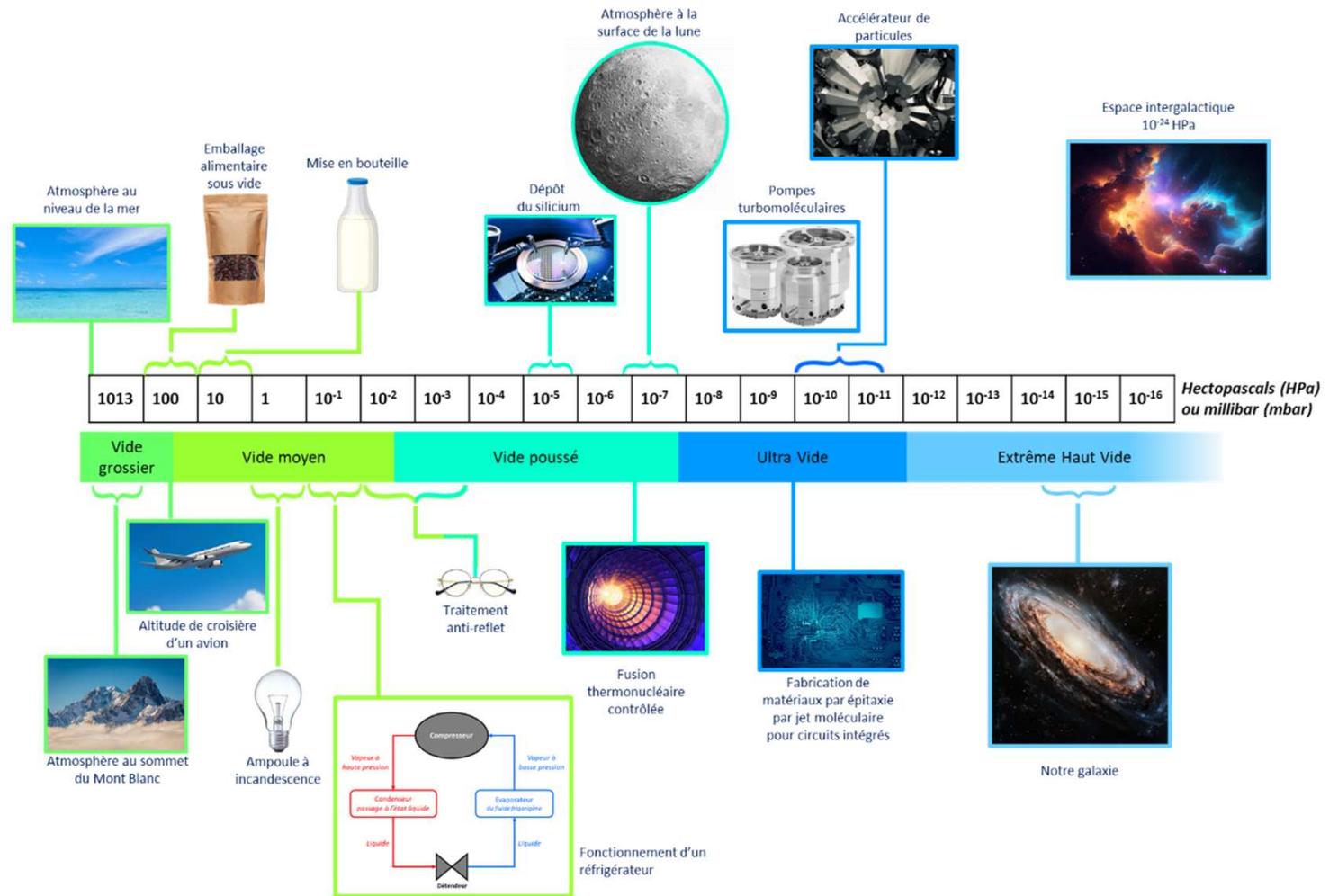
## Les devises Shadok



IL VAUT MIEUX POMPER MÊME S'IL NE SE PASSE  
RIEN QUE RISQUER QU'IL SE PASSE QUELQUE CHOSE  
DE PIRE EN NE POMPANT PAS.

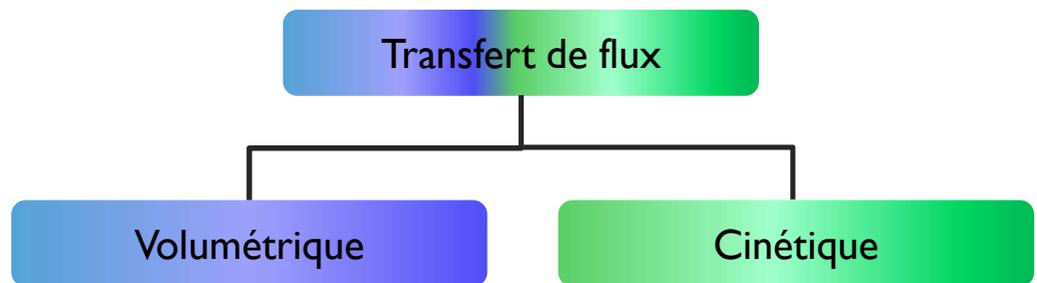
# L'Art du Rien : Exploration des Mystères du Vide ...

## Partie 3 : Créer et contrôler le vide



### I. Créer le vide : Comment fait-on ?

- Les « familles » de pompes à vide



- Pompe à membranes
- Pompe à pistons
- Pompe à palettes
- Pompe à spirales
- Pompe à becs
- Pompe à vis
- Pompe Roots

- Pompe moléculaire
- Pompe turbomoléculaire
- Pompe à diffusion

### Fixation de gaz

- Pompe ionique
- Pompe cryogénique
- « Sublimateur de titane »
- Pompe NEG