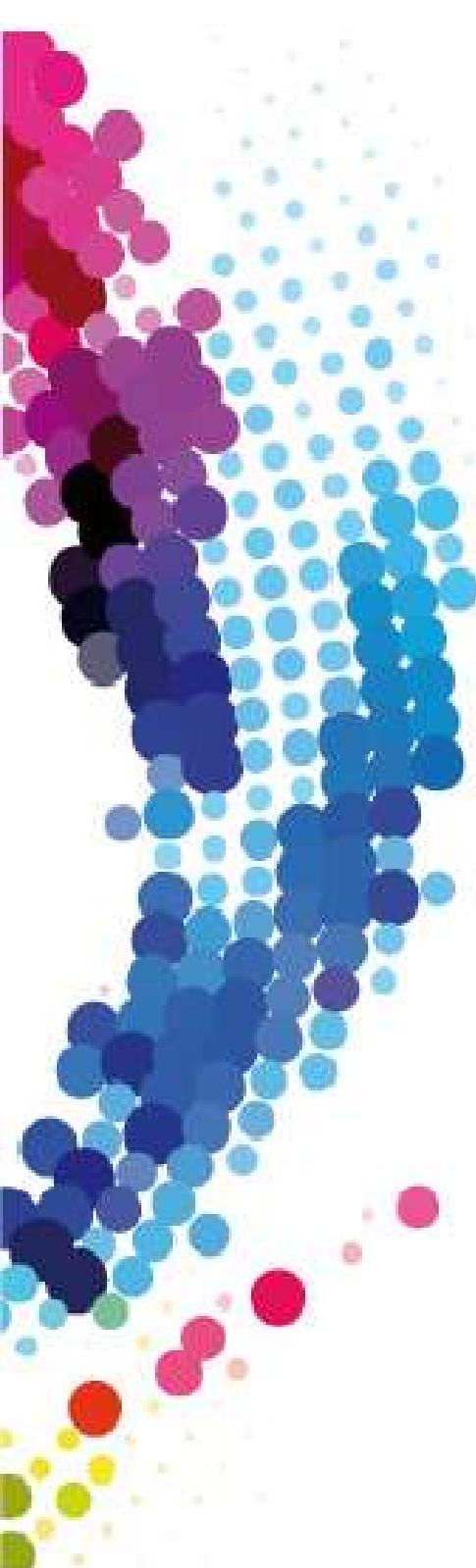


# Une histoire de Froid



## Contenu de cet échange sur le Froid

- Comment nos ancêtres voyaient le froid ?
- Peut-il faire de plus en plus froid sans limite ?
- Les étapes principales dans l'histoire du froid
- Comment a-t-on pu fabriquer du froid ?
- A la recherche du graal
- Les applications actuelles des grands froids

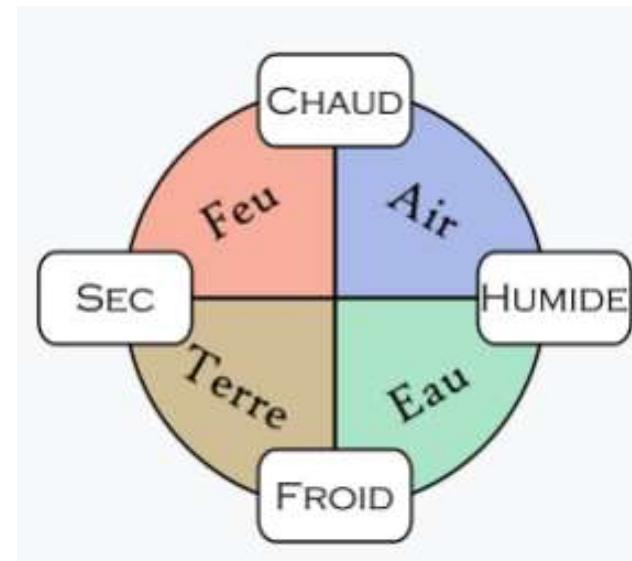
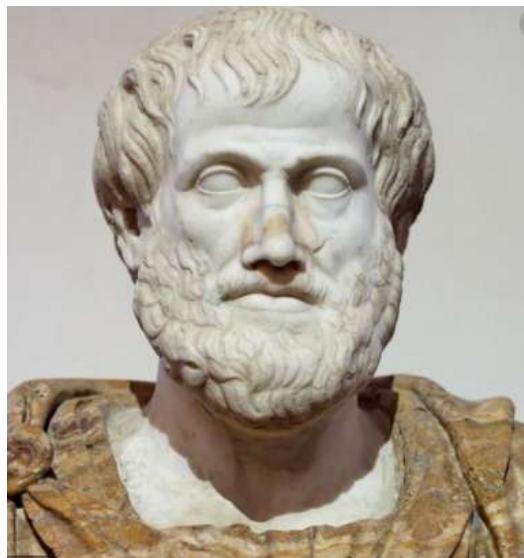
## Nos ancêtres et le froid

- D'après vous, pour nos ancêtres éloignés, le froid c'était quoi ?
  - Jusqu'au 16eme siècle !



## Nos ancêtres et le froid

- Nos ancêtres pensaient que le froid était une substance, qui pénétrait la matière pour la transformer.
- Pour Aristote (350 avant JC), le froid était un état des choses fondamentales



## Nos ancêtres et le froid

- D'après vous, le froid, c'était utile ?

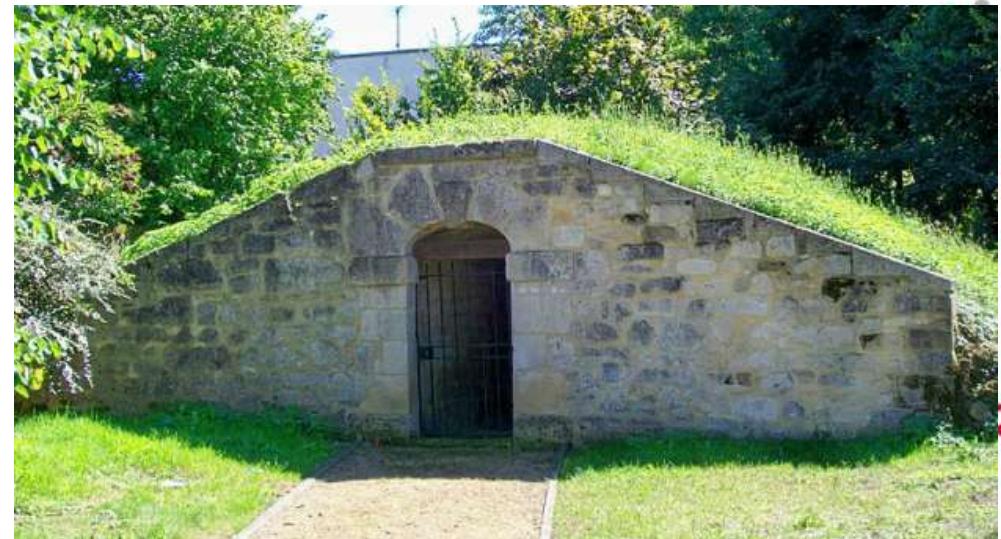
## Nos ancêtres et le froid

- Oui ! Pour conserver par exemple les aliments quand il fait chaud !
  - En Iran, en 6eme siècle avant JC, on construisait des « yakhtchal », sorte de glacière, pour conserver en été les produits fragiles !

Yakhtchal en Iran (Perse)



Glacière en France



## Nos ancêtres et le froid

- D'après vous, de quand date le premier système de « climatisation » ?

## Nos ancêtres et le froid

- 1620 !!!!

- Le Physicien Hollandais Cornelis Drebbel arrive à refroidir le palais de Westminster pour le roi Jacques 1<sup>er</sup> !

Des centaines de  
containers en verre emplis  
**de glace et de sel**

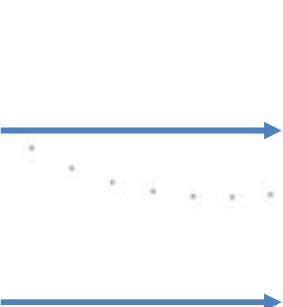
Ajouter du sel sur de la  
glace permet de  
descendre à -19 °, le  
point de fusion de la  
glace est abaissé  
fortement.



Air chaud



Air refroidi



Salle du Palais  
de  
WestMinster

## Nos ancêtres et le froid

- En 1650, un physicien, Robert Boyle, tente de prouver que le froid n'est pas une substance :
  - Un hiver, Il pèse un tonneau d'eau
  - Il laisse ce tonneau geler la nuit
  - Le matin, il pèse de nouveau.
    - ~ Résultat : aucune modification de poids !!
  - Il en conclut que le froid n'est pas une substance, et propose ....
    - ~ Devinette : D'après-vous, quelle est la proposition de Robert Boyle ?



## Nos ancêtres et le froid

- Robert Boyle propose que
  - La chaleur est un forme de mouvement, qui est de moins en moins actif au fur et à mesure qu'il y a refroidissement...
  - Mais, pour aller beaucoup plus loin il lui faut un instrument de mesure précis qu'il n'a pas.
  - Quel est cet instrument ?

## Nos ancêtres et le froid

- Le thermomètre !!!
  - Au 17eme et 18eme siècle, les verriers de Venise commencent à fabriquer des thermomètres à alcool précis..

En 1742, **Anders Celsius** propose une échelle pour se retrouver :

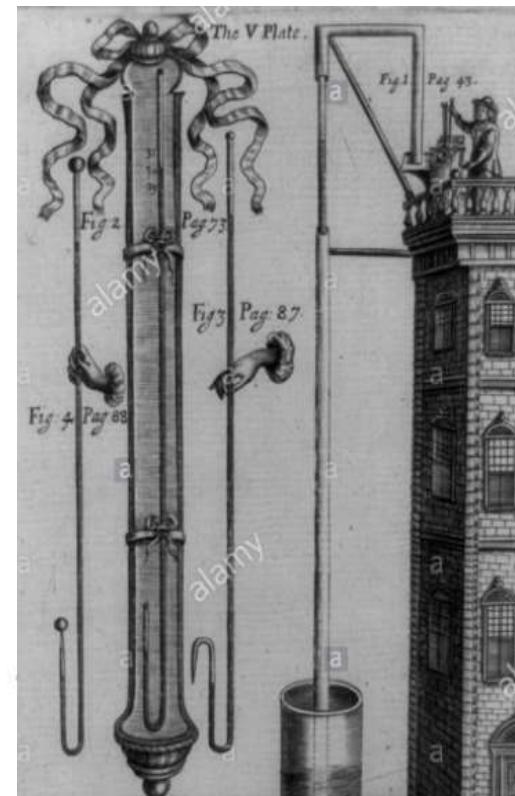
Un point bas : la température de l'eau qui gèle.

Un point haut : la température de l'eau qui bout.

Il divise ces deux points par 100, et on obtient la référence que tout le monde, en Europe, connaît le degré Celius.

Il fait 25°C, allons à la plage !!

- D'après-vous, le degré Celius est-il la seule référence pour mesure une température, froide, chaude ?
  - Connaissez-vous d'autres « sortes » de degré ?



## La prise de conscience du froid

- Oui !

- Aux Etats Unis, on utilise le degré Fahrenheit.

- ~ En 1724, Gabriel Fahrenheit propose un autre référence, toujours très utilisée aux USA :

- Le degré Fahrenheit

- ~ Calculer un degré Fahrenheit à partir d'un degré Celsius :

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

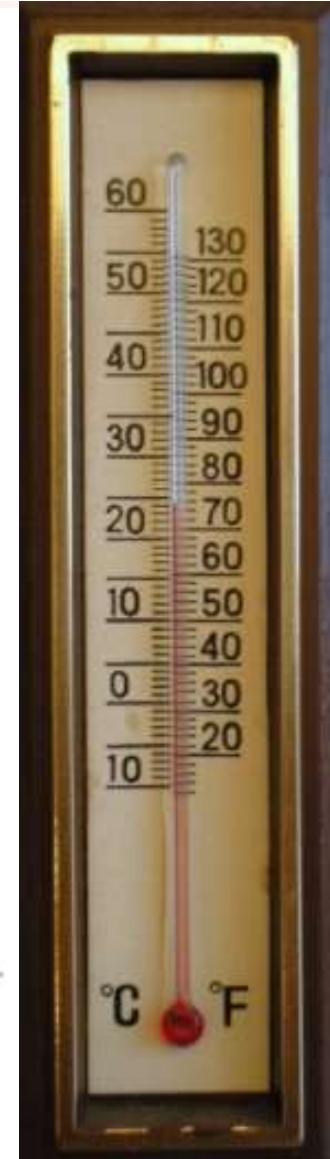
---

- ~ Ou, plus simplement :

- Degré F = (Degré C \* 1,8) + 32

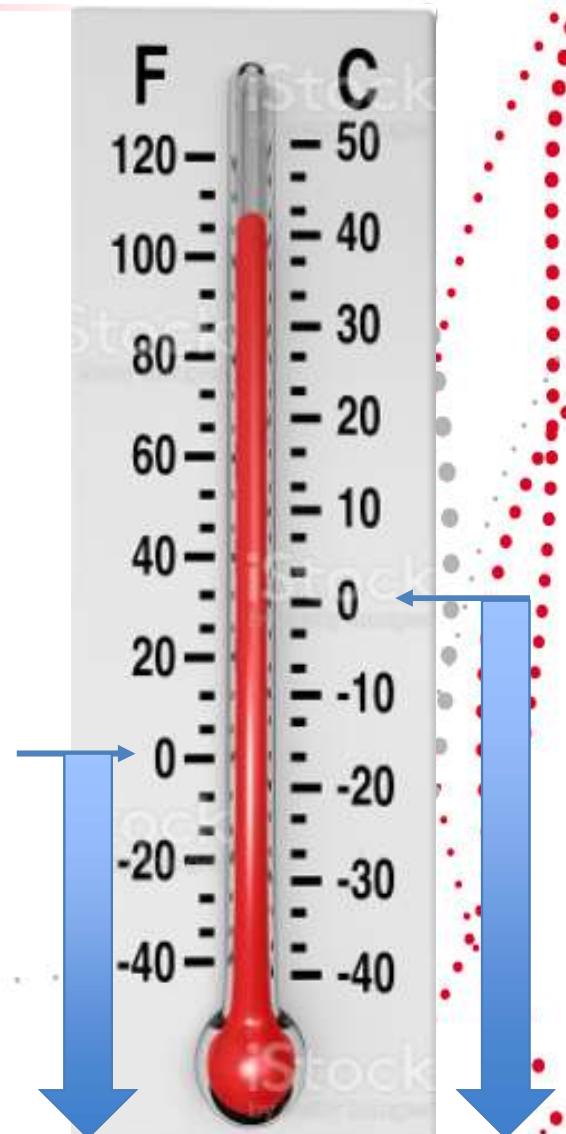
- ~ Et passer d'un degré Fahrenheit au degré Celsius :

- Degré C = (Degré F – 32) / 1,8



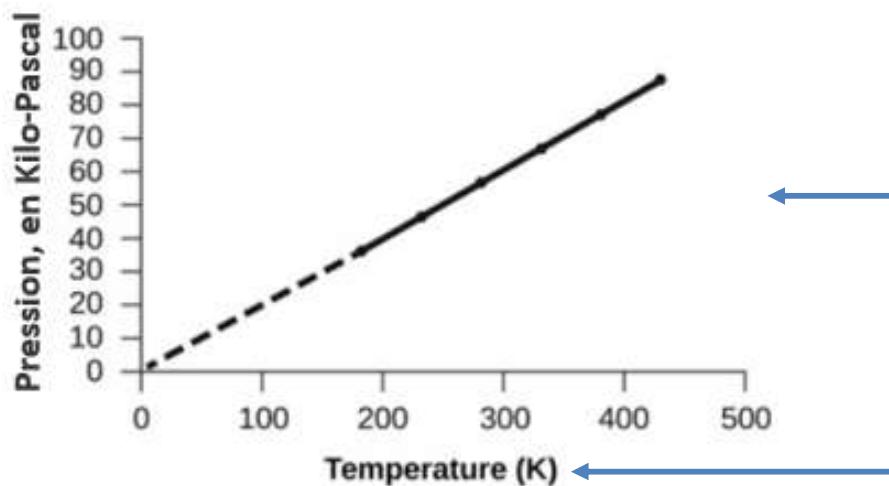
## La prise de conscience du froid

- Sur ce vrai thermomètre, on peut voir que le zéro Celsius est beaucoup plus « chaud » que le degré Fahrenheit.
- On voit, à droite, qu'il y a des valeurs négatives au dessous des deux zéro (Fahrenheit et Celsius)
- Question :
  - Autant, on peut augmenter en température sans limite, mais..
  - Peut-on descendre sans limite ??



## Peut-on refroidir sans limite ?

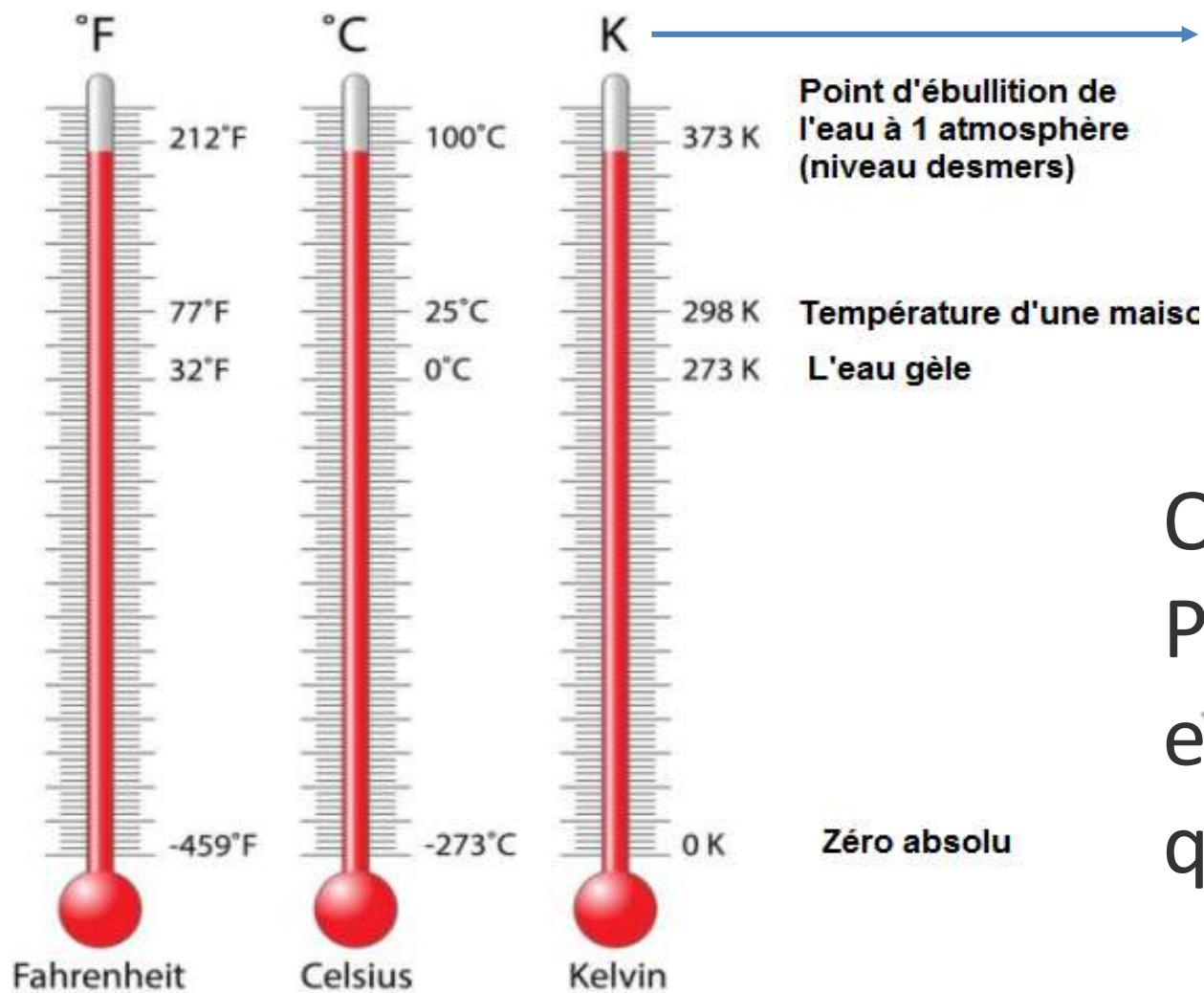
- C'est une question que s'est posée, à la fin du 17eme siècle, le Français Guillaume Amontons.
  - Il découvre qu'en refroidissant un volume d'air, sa pression (la force qu'il exerce sur les parois du conteneur) , diminue.
  - Il se pose cette question :
    - ~ Si la pression tombait à zéro, qu'en serait-il de la température ?
  - Il établit ainsi une relation entre la pression et la température.
  - Ainsi, Amontons propose l'idée d'un « zéro absolu », où, tout, finalement, serait chaud au dessus de cette valeur.



Sur ce schéma, le « zéro » des températures correspond à quoi ? Que veut dire le K ?

## Peut-on refroidir sans limite ?

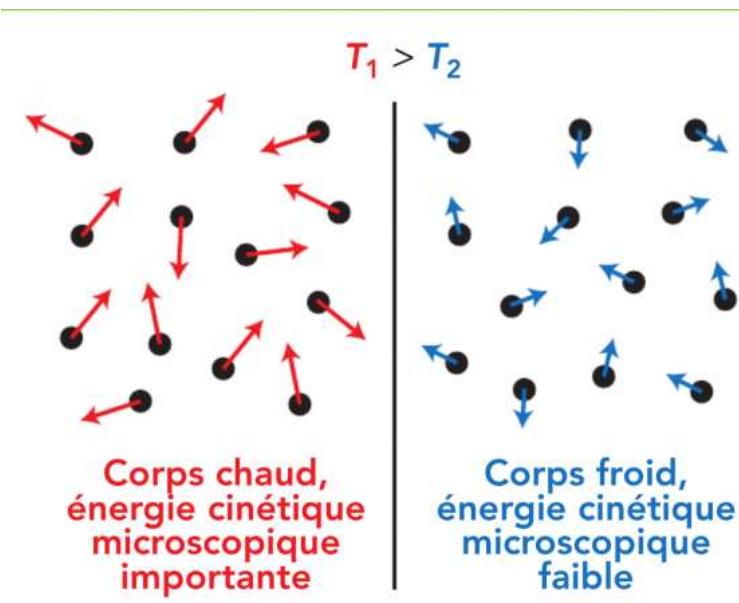
- On a donné le nom de Kelvin (Physicien anglais), la référence absolue de la mesure des températures



Question :  
Peut-on descendre encore plus bas que le zéro absolu ?

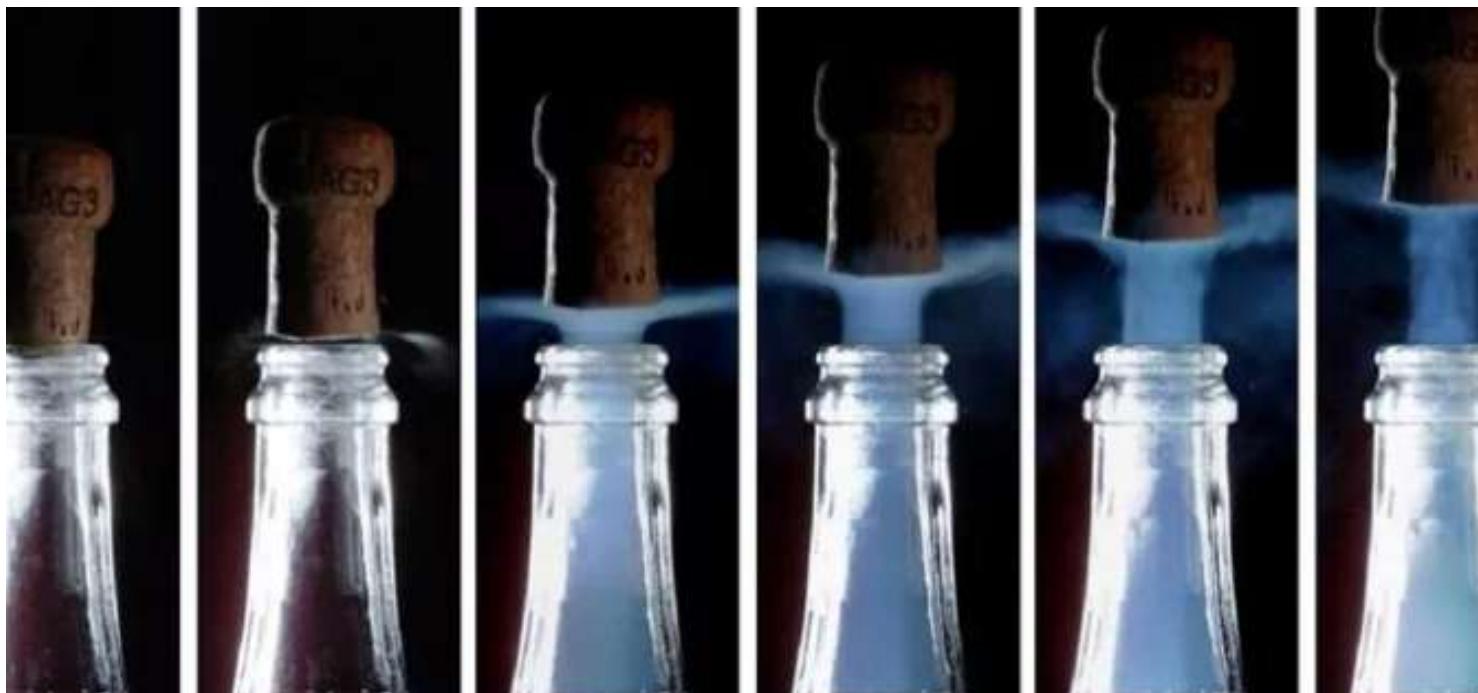
## Peut-on refroidir sans limite ?

- Pour les physiciens, on ne peut pas descendre en dessous du zéro absolu (-273,15° Celsius, ou 0 degré Kelvin) car, cela correspondrait à une **immobilité totale des atomes**.
- Ainsi, moins les atomes sont agités, plus leur température baisse.



## Créer du froid, expériences chez soi

- On se rappelle que Guillaume Amontons avait trouvé une relation entre pression et température.
- Expérience de la bouteille de champagne qu'on ouvre :
  - Avez-vous déjà observé le nuage blanc qui apparaît sur le goulot de la bouteille de champagne que l'on ouvre ?
  - D'après-vous, que se passe-t-il ci-dessous ?



## Créer du froid, expériences chez soi

- Lorsque l'on ouvre une bouteille de champagne (ou autre vin effervescent !) :
  - Le gaz (CO2) dans le col de la bouteilles est très comprimé.
  - A l'ouverture, le gaz se détend très rapidement (la pression chute), le CO2 sous forme gazeuse gèle, provoquant cette « neige ».
- Prenons une bouteille de champagne stockée à température ambiante (20°C), ouvrons la.
  - D'après-vous, quelle est la température au niveau du col lorsque le nuage se forme ???

- -90 ° C !!!!!

- Le CO<sub>2</sub> gèle à -78° !
- Et l'humidité présente dans l'air à 0° !



Le CO<sub>2</sub> refroidit l'air

↳ L'air se condense ...

↳ D'où le « nuage blanc »

## Créer du froid, expérience chez soi

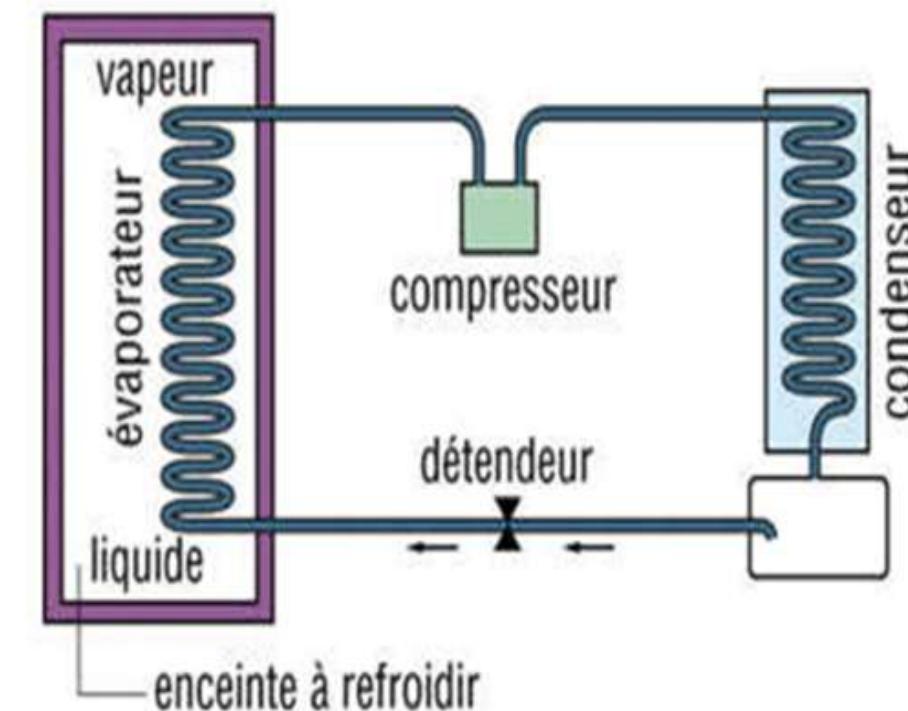
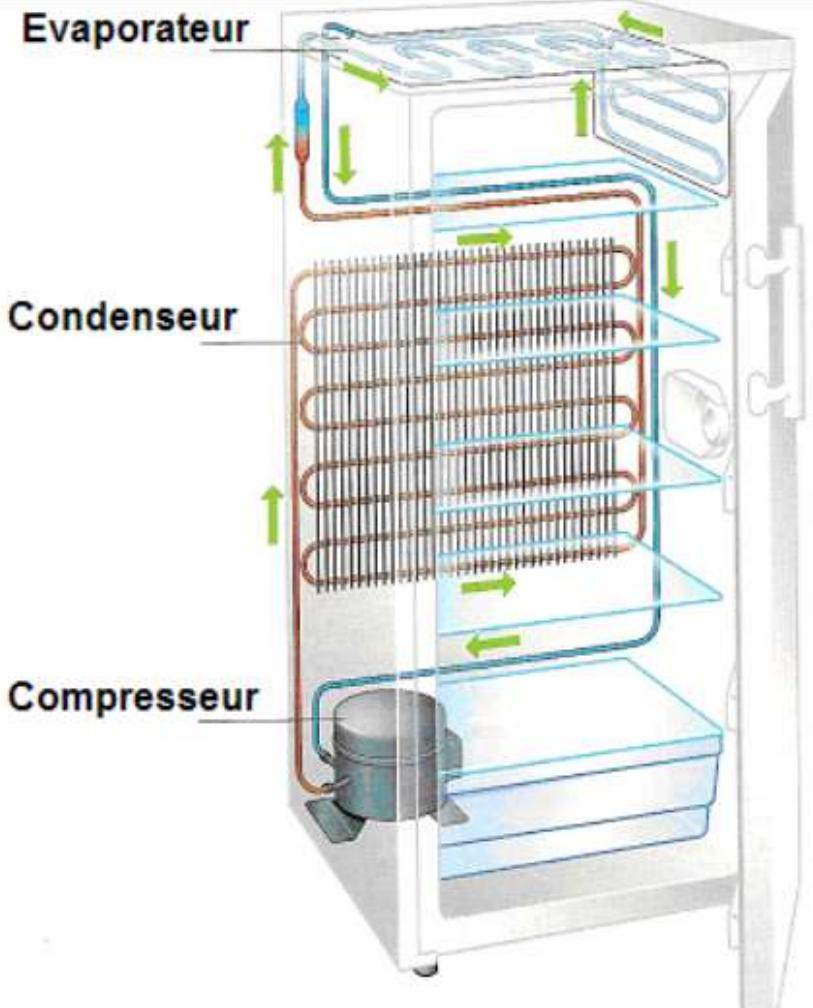
- Autre expérience (Demandez aux parents !!) :
  - Prenez une bombe de laque par exemple, et appuyez commencez à la vider
  - Que remarquez-vous pour la température de la bombe ?



## Créer du froid, expériences chez soi

- La bombe refroidit car le gaz se détend et fournit « un travail » en « poussant ».
- Fournissant un travail, il perd de « l'énergie » interne qui est justement mesuré par sa température.
- Ainsi, lorsqu'il y a détente d'un gaz, il y a refroidissement.
- Chez vous, vous avez assurément tous un appareil qui n'arrête pas de détendre un gaz, quel est il?

## Le réfrigérateur !! Le congélateur !



## Petit retour sur l'histoire du froid

- La conquête des grands froids a été une grande bataille que se sont livrés beaucoup de scientifiques.
- Faraday, qui, en 1823, découvre par hasard que la décompression soudaine du gaz ammoniac crée un grand froid.
- Les -130°C sont atteint au milieu du 19eme siècle
- A partir de 1880, on vend plus de froid fabriqué que de froid naturel
  - Qui était extrait des lacs gelés et envoyés dans les pays chauds

## Petit retour sur l'histoire du froid

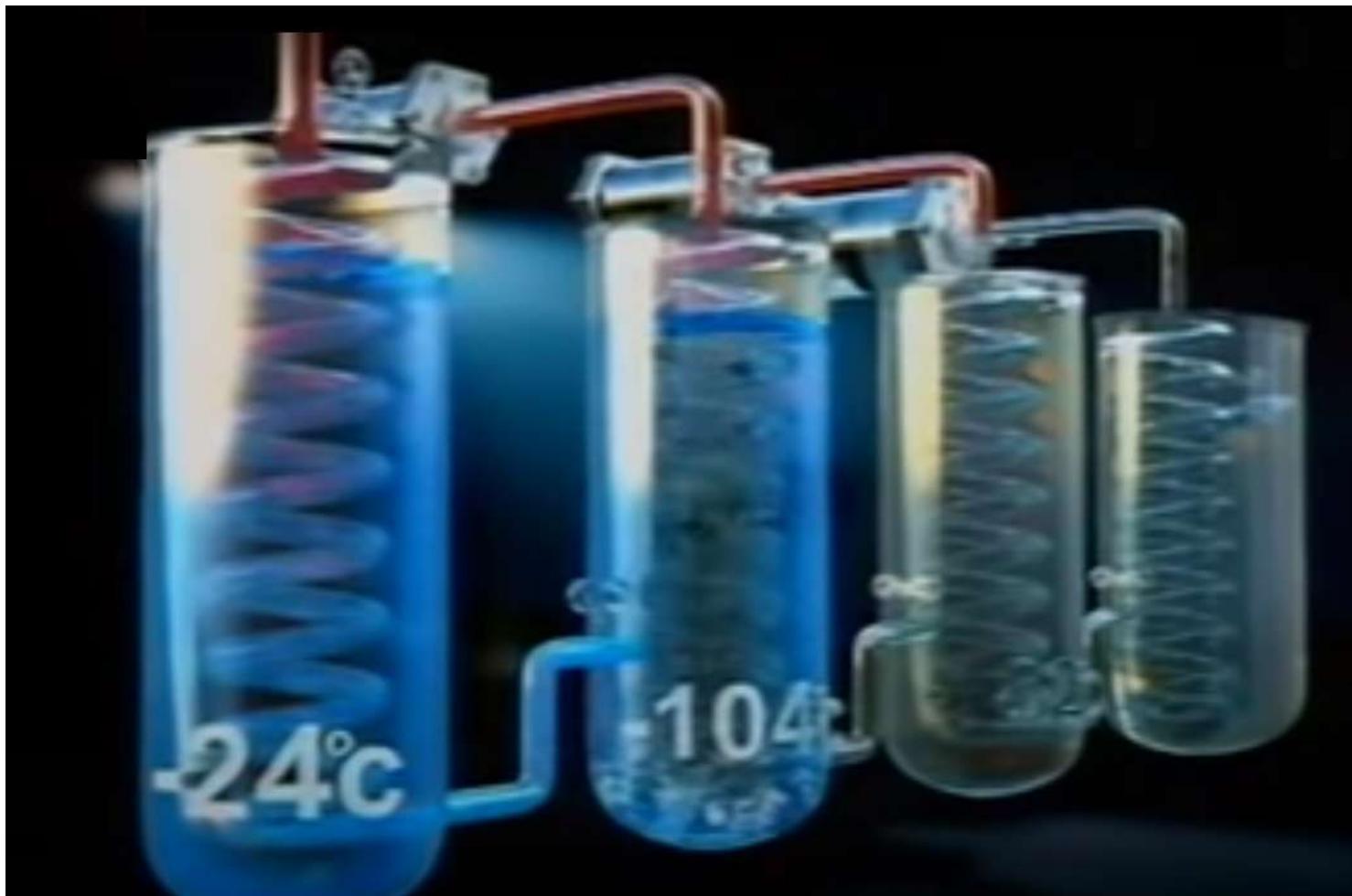
- En 1877, le Français Louis Paul Cailletet liquéfie l'oxygène à -182°C
- Puis il liquéfie l'azote, à -196°C
- En 1898, James Dewar liquéfie l'hydrogène, à -250°
- James Dewar croit alors que le dernier gaz vient d'être liquéfié (Hydrogène), mais on découvre à l'époque un nouveau gaz qui se liquéfie à 5° au dessus du zéro absolu, donc encore plus froid
- Quel est ce gaz, très très rare sur terre, mais très présent dans le soleil ???

# Petit retour sur l'histoire du froid

- L'hélium !
- Il est liquéfié par en 1908 par Kamerlingh Onnes, à -268 ° C, soit 5° au dessus du zéro absolu
- Mais comment a-t-on pu descendre à ces températures aussi basses ?

## Petit retour sur l'histoire du froid

- L'idée est de descendre en température par étape en utilisant plusieurs gaz en cascade qui se liquéfient à des températures de plus en plus froides.



## Comment obtenir de tels froids ?

- 1 On comprime un 1er gaz, on le détend, dans un serpentin réfrigéré, il se liquéfie, et devient très froid
- 2 Ce gaz liquéfié pénètre dans un autre vase, il sert alors de réfrigérant à un 2eme gaz.
- 3 On comprime alors ce deuxième gaz et on le détend dans le serpentin réfrigéré.
- Ce 2eme gaz se liquéfie alors et tombe à une température encore plus basse.
- Ce deuxième gaz liquide refroidit alors le gaz suivant, qui est comprimé puis détendu, et tombe encore à une température plus basse.
  - Et on arrive à l'hélium liquide, qui est impossible, lui, de rendre solide, même en s'approchant encore plus du zéro absolu.

## L'utilisation des grands froids

- D'après-vous, dans quels secteurs ou domaines utilise-t-on les grands froids ?

## L'utilisation des grands froids

- On utilise le froid pour la conservation des aliments
  - Des mammouths vieux de 50000 ans ont été retrouvés dans le permafrost, avec leurs organes !
  - C'est bien que le froid conserve !



## L'utilisation des grands froids

- Pour l'alimentaire

- La congélation

- ~ Passage des aliments à  $-18^{\circ}$  pour conserver nos aliments
    - On le fait tous les jours !

- La surgélation

- ~ Passage à  $-50^{\circ}$  afin que le cœur du produit passe à  $-18^{\circ}$  en une heure
    - Utilisé dans l'industrie alimentaire



## L'utilisation des grands froids

- Domaine médical (La cryothérapie) :

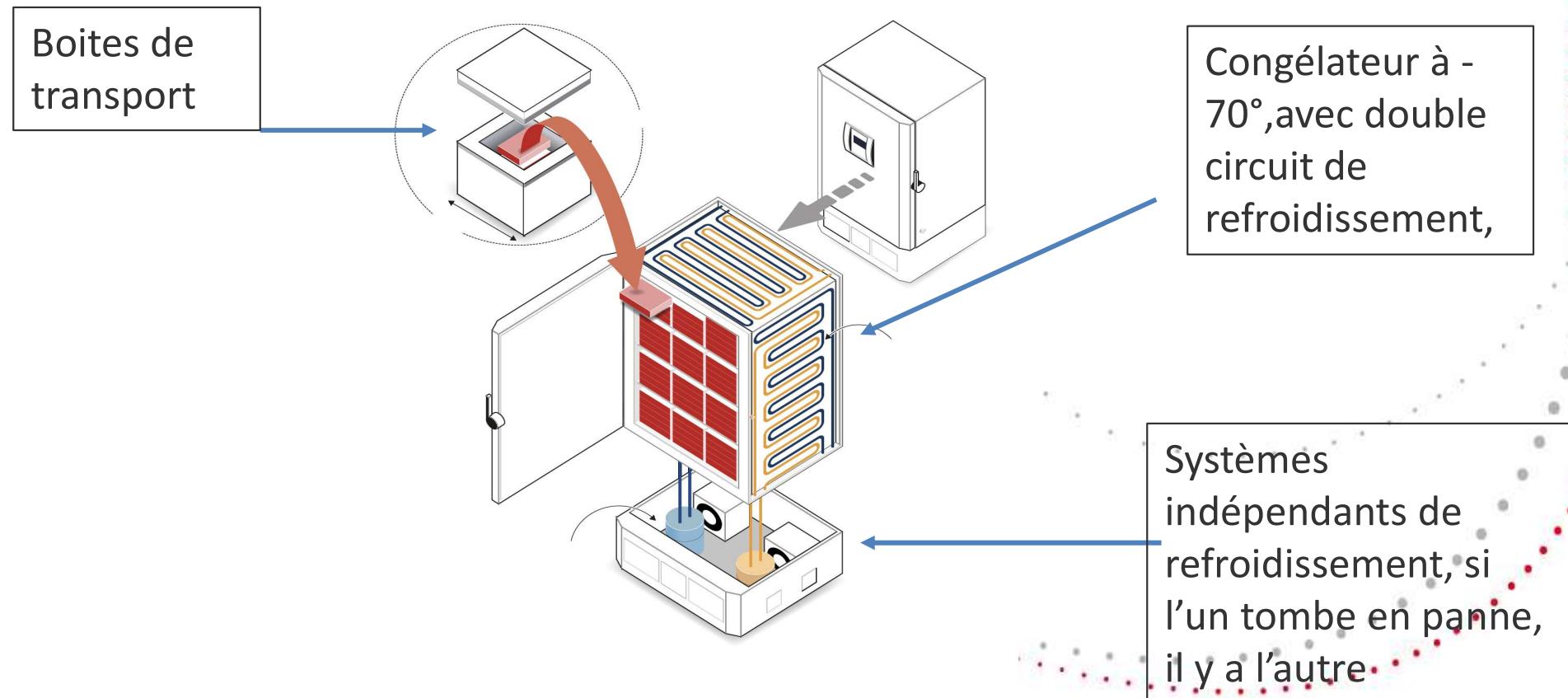
- Par exemple, pour brûler des verrues!
    - ~ A l'azote liquide (-196°C)
    - ~ Au protoxyde d'azote (-89°), c'est le gaz que l'on trouve dans les petites bombes en pharmacie !
  - Avec l'azote liquide (-196°) :
    - Pour brûler certains cancers
    - Pour conserver des tissus, ovules, embryons, moelle osseuse, etc..

Mais il faut, pour chaque tissu, descendre en température à des vitesses différentes, alors c'est impossible de conserver intact un corps entier !!!



## L'utilisation des grands froids

- Médical :
  - Pour la conservation des vaccins, dont ceux contre le COVID !!

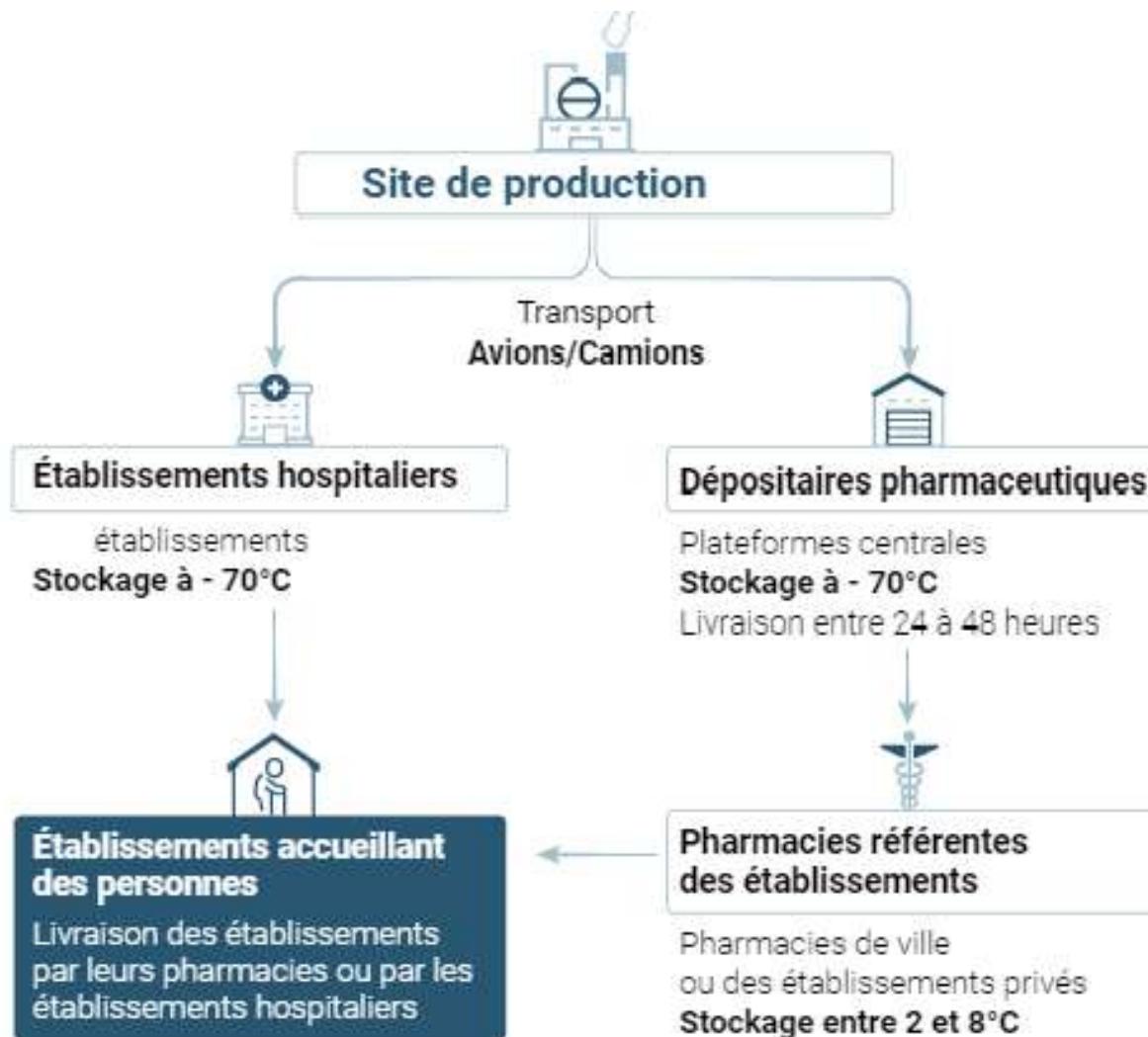


## L'utilisation des grands froids

- Médical : respect de la chaîne du froid
  - Il est nécessaire de conserver ces températures à -70° pendant les transports et le stockage.
  - Ainsi, il est ajouté dans les boîtes contenant les fioles de vaccin, du CO2 décomprimé, donc très froid, qui se transforme en blocs solides très froids. On choisit ce gaz, car il passe de l'état solide à gazeux directement, sans passer par l'état liquide, qui pourrait endommager les vaccins.
  - Chaque boîte de vaccin affiche sa température interne avec une alarme si la température limite est dépassée

## L'utilisation des grands froids

- La chaîne du froid dans le domaine du vaccin



## Utilisation des grands froids

- Médical : L'hélium liquide (-279°C, ou un peu plus de 4° Kelvin) est utilisé dans les IRM ( Imagerie par Résonance Magnétique), qui permet d'étudier finement l'intérieur du corps.
- La particularité de l'hélium liquide est qu'il n'oppose plus aucune résistance au passage d'un courant électrique, il devient « supraconducteur ».
- Cette caractéristique est utilisée dans les électro-aimants des IRM



## Utilisation des grands froids

- Pour les travaux publics :
  - Pour creuser des tunnels sous les fleuves par exemple !
    - ~ On congèle les sols et on peut travailler !
    - ~ Souvent, avec de l'azote liquide !



## Utilisation des grands froids

- Au final, presque tous les secteurs de l'industrie utilisent les grands froids.
- Vous en connaissez d'autres ?

Merci !!!

---