



Physique pour Tous !

Physique du quotidien

Zoom sur les phénomènes et objets qui animent nos cuisines



Eric Chabert



La cuisine

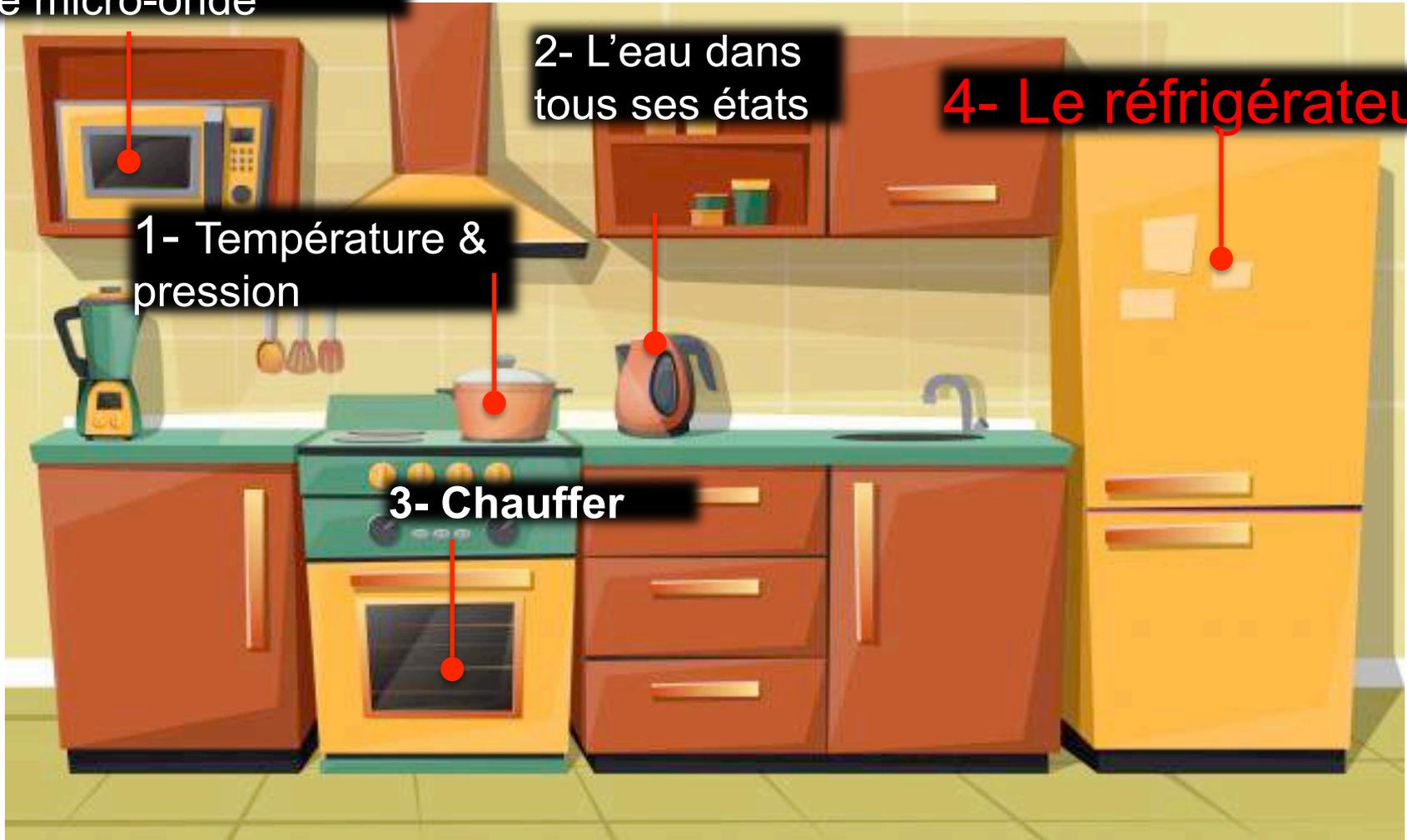
5- Le micro-onde

2- L'eau dans
tous ses états

4- Le réfrigérateur

1- Température &
pression

3- Chauffer



Mode d'emploi



Quiz en ligne

Sur le site www.menti.com
ou sur l'application *mentimeter*
Code à saisir



Partie plus "technique"
Public "scientifique"



PISTE ROUGE

Ce qu'il fallait retenir



**Idées d'expériences à faire
à la maison (ou à l'école)**

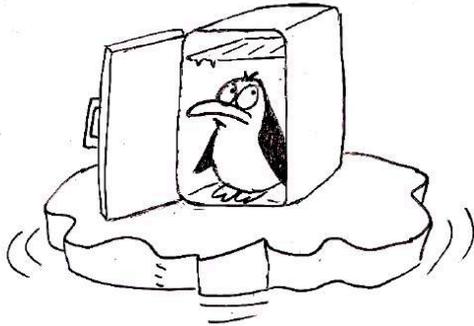


Interrogations "surprises"



Place aux questions à
la fin de chaque partie





Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte de mon réfrigérateur ouverte ?



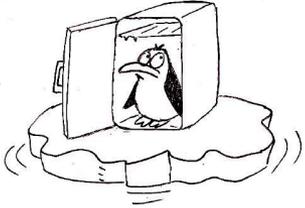
Comment décoder les « étiquettes » lors de l'achat d'un réfrigérateur ?



*du principe physique
à l'énergétique*



Menu du jour



Question: *Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte du frigo ouverte ?*

Partie générale

- Introduction
- La chaleur latente
- Le principe du réfrigérateur
- Questions sur son fonctionnement

Partie “technologique”

- Energétique
- Fluide frigorigène



Conserver des aliments

Sans intervention, les bactéries, champignons et microorganismes présents dans nos aliments pourraient se développer → intoxication alimentaire

Différents techniques sont utilisées:

1- la chaleur :

pasteurisation (85°C – 100°C), stérilisation (100°C), UHT(135°C), ...

2- le froid :

réfrigération, congélation, surgélation

3- autres techniques :

conditionnement sous vide, lyophilisation (congélation puis sublimation sous vide), déshydratation et séchage, fermentation, salage, confisage, saumurage, fumage ...



Le froid pour conserver

La réfrigération

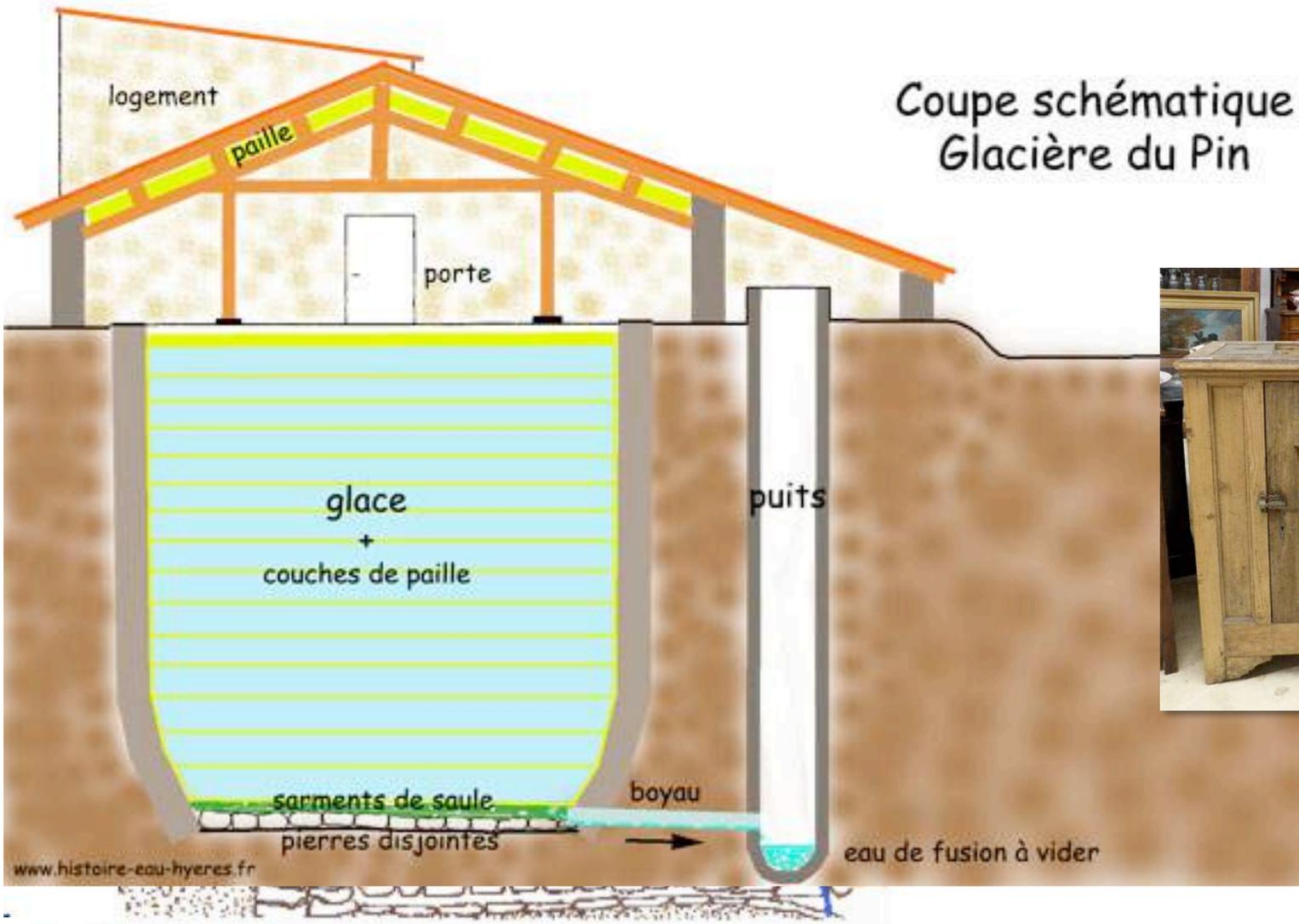
- À basse température, l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes sont ralentis.
- Prolonge la durée de vie des denrées alimentaires en limitant leur altération.

La congélation

- L'eau contenu dans les aliments passent à l'état solide.
 - L'eau est nécessaire pour certaines réactions biologiques.
- Ralentissement voire arrêt de l'activité microbienne et enzymatique.

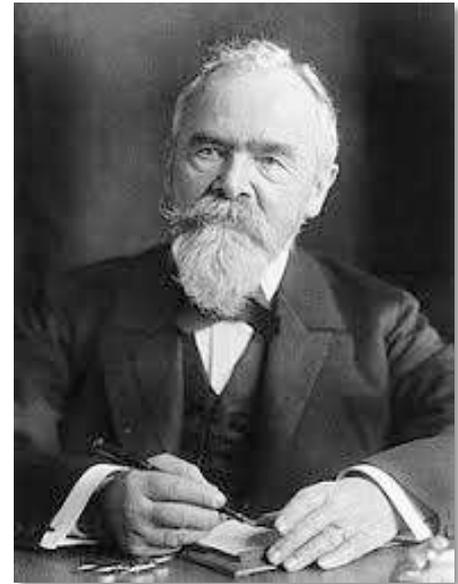


Le froid pour conserver

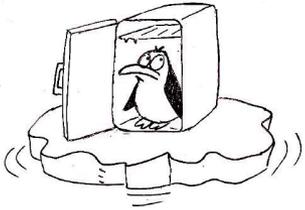


L'invention du réfrigérateur

- Plusieurs machines frigorifiques sont développées dans le courant du XIX^e
- *Carl von Linde* est l'inventeur du réfrigérateur domestique que nous connaissons (1876)
- 1912: 1ere commercialisation
- 1952: 1ers réfrigérateurs en France (1952, "Domelre")



Menu du jour



Question: *Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte du frigo ouverte ?*

Partie générale

- Introduction
- La chaleur latente**
- Le principe du réfrigérateur
- Questions sur son fonctionnement

Partie "technologique"

- Energétique
- Fluide frigorigène



Quiz

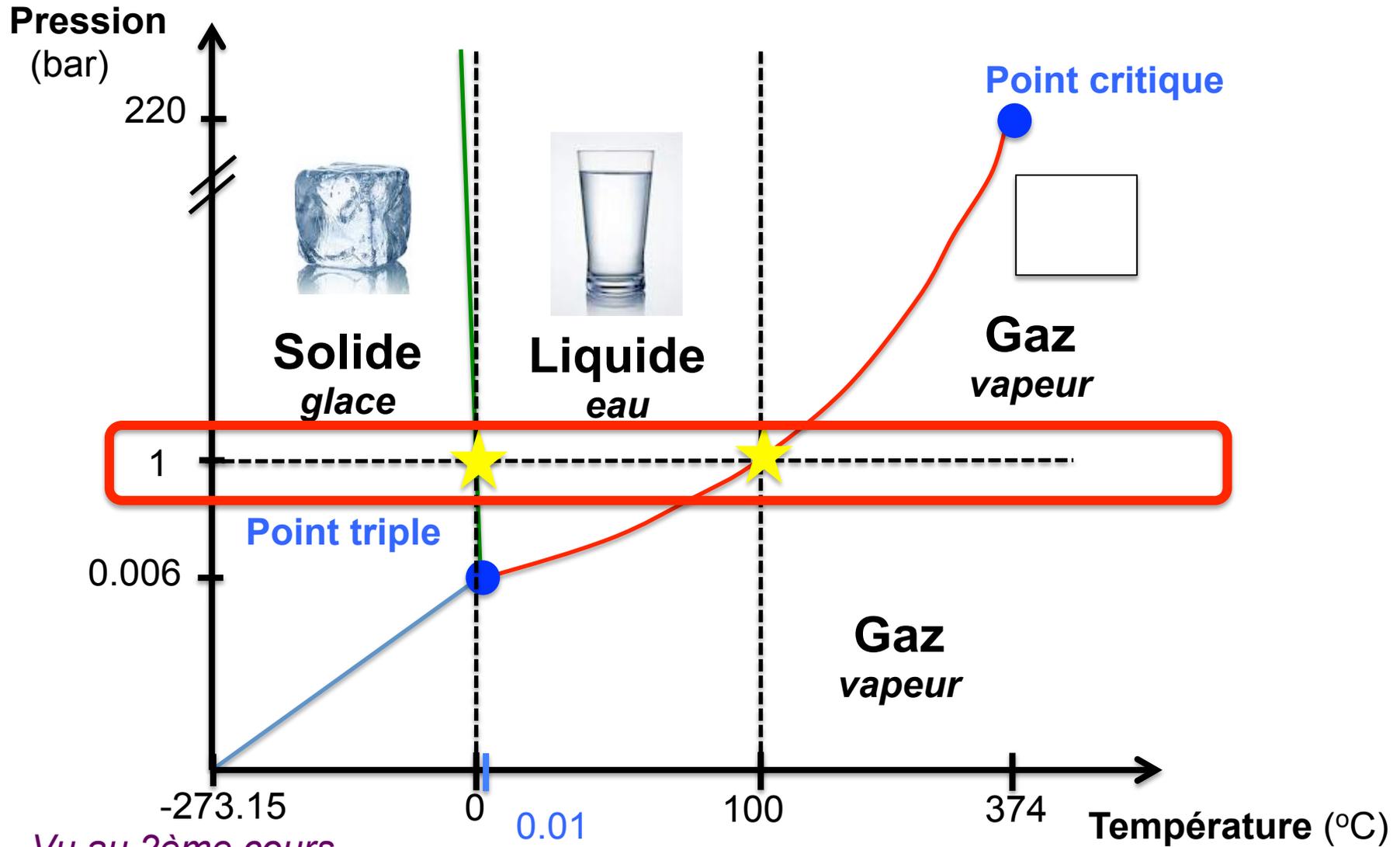
A quelle température sera ma boisson (20 cl, 20°C), si je laisse fondre un glaçon (2 cl, à -18°C) dedans ?



 **Mentimeter**



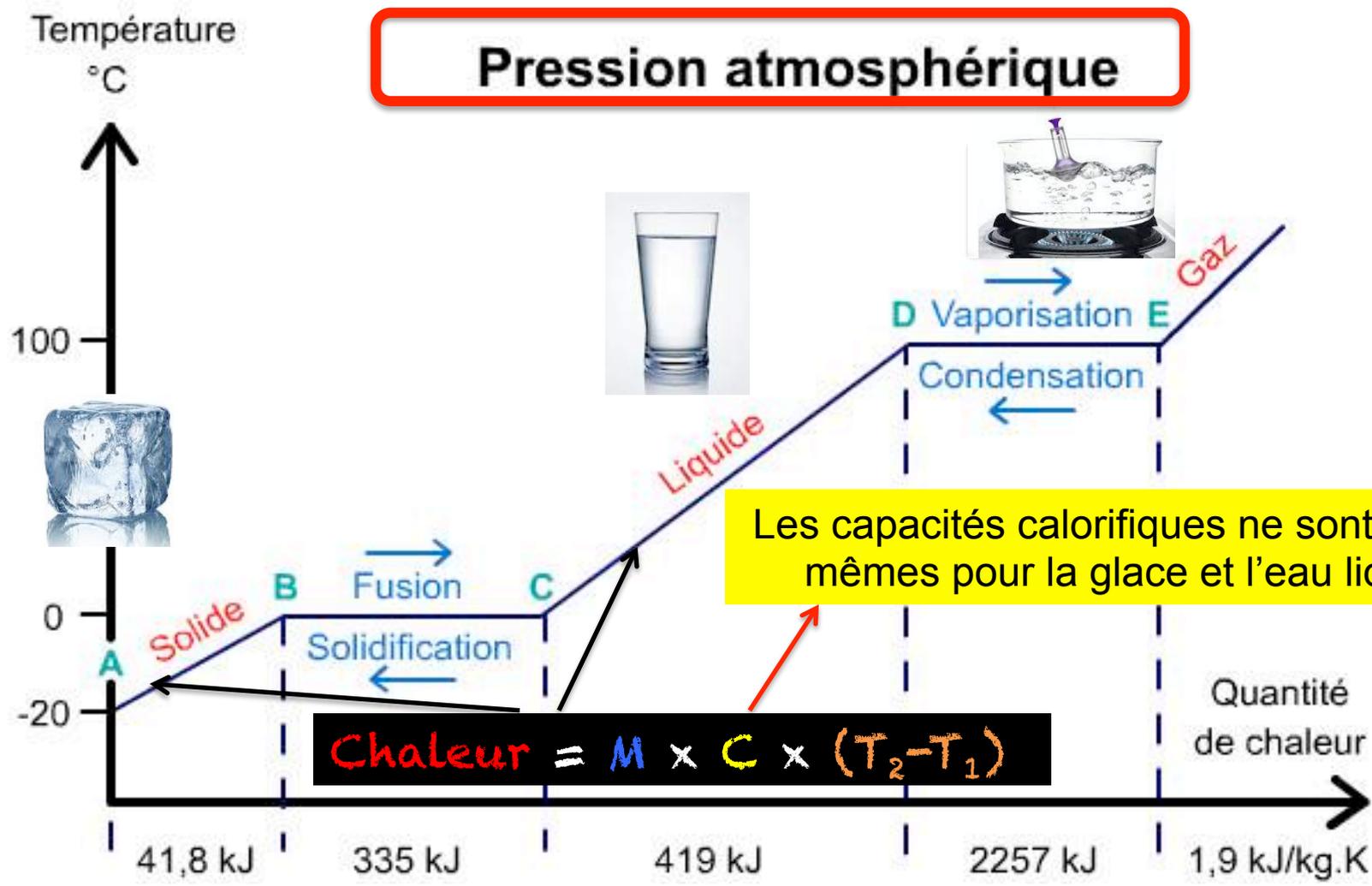
Les états de l'eau



Vu au 2ème cours



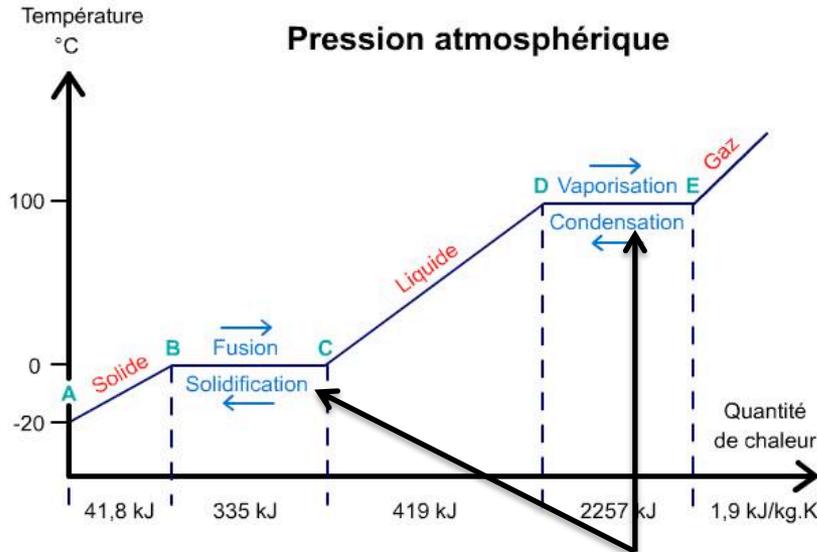
Changement d'état: bilan énergétique



Vu au 3ème cours



Faire fondre un glaçon



- Énergie nécessaire pour changer d'état: **chaleur latente**
→ l'énergie (chaleur) échangée sert à changer d'état tout en restant à température constante
- **Interprétation microscopique:**
 - On accroît le désordre
 - La distance intermoléculaire augmente (sauf glace → eau liquide)



Faire fondre un glaçon



Chaleur



-18°C

8°C



- Glaçon [-18-0°C]
- Transition
- Eau [0-8°C]

L'essentiel de l'énergie est utilisée pour transformer le glaçon en eau liquide.
→ On doit principalement le refroidissement au changement d'état et non à la température du glaçon !!





Masse du glaçon: $M = 25 \text{ g}$

La chaleur absorber par le glaçon sera:

- Pour réchauffer le glaçon

$$M \times C_{\text{glace}} \times \Delta T_{\text{glace}} = 0.025 \times 2 \times 2 = 0.1 \text{ kJoules}$$

- Pour transformer le glaçon en liquide

Chaleur latente: 335 kJ/kg

$$\rightarrow 0.025 \times 335 = 8.38 \text{ kJ}$$

- Pour réchauffer le glaçon fondu de 9°C :

$$M \times C_{\text{eau}} \times \Delta T_{\text{eau}} = 0.025 \times 4.2 \times 10 = 0.95 \text{ kJ}$$

- **Total:** $0.1+8.4+1 \sim 9.5 \text{ kJ}$

→ L'essentiel provient du changement d'état

La chaleur perdue par le verre d'eau 20 cl (200g) de 20°C à 9°C

$$\text{Chaleur} = M \times C \times \Delta T = 0.2 \times 4.2 \times 9 \sim 9.2 \text{ kJ}$$

→ le liquide pourrait refroidir à environ $9-10^{\circ}\text{C}$



Quiz: réponse



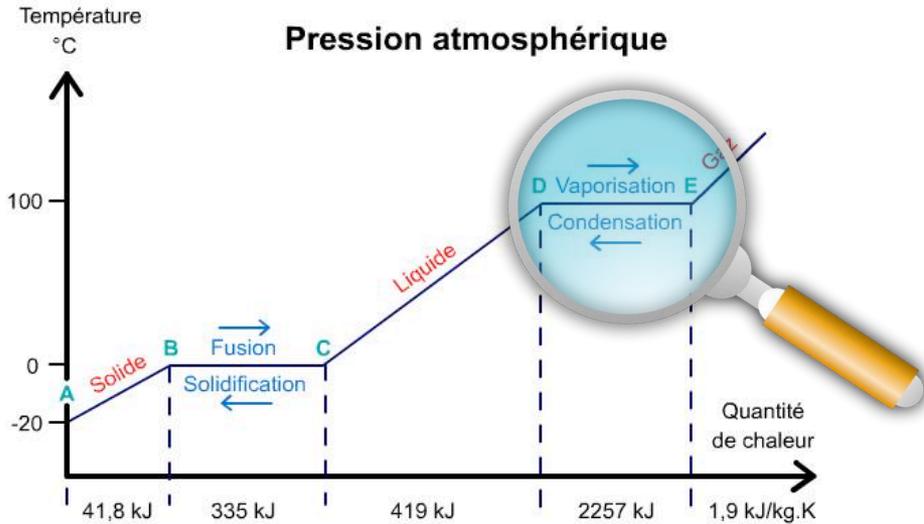
L'expérience montre une différence de température moins élevée.

Cela provient de plusieurs phénomènes:

- **Le verre** d'eau se refroidit également, il faut le prendre en compte (masse et capacité calorifique)
→ Environ – 20% sur la différence de température dans notre exemple
- Le changement d'état est relativement long et il y a un réchauffement au contact de **l'air ambiant** qui entre en concurrence (isolation thermique)
→ **Effet dominant**



Faire bouillir de l'eau



Chaleur



- Liquide [20-100°C]
- Liquide->gaz

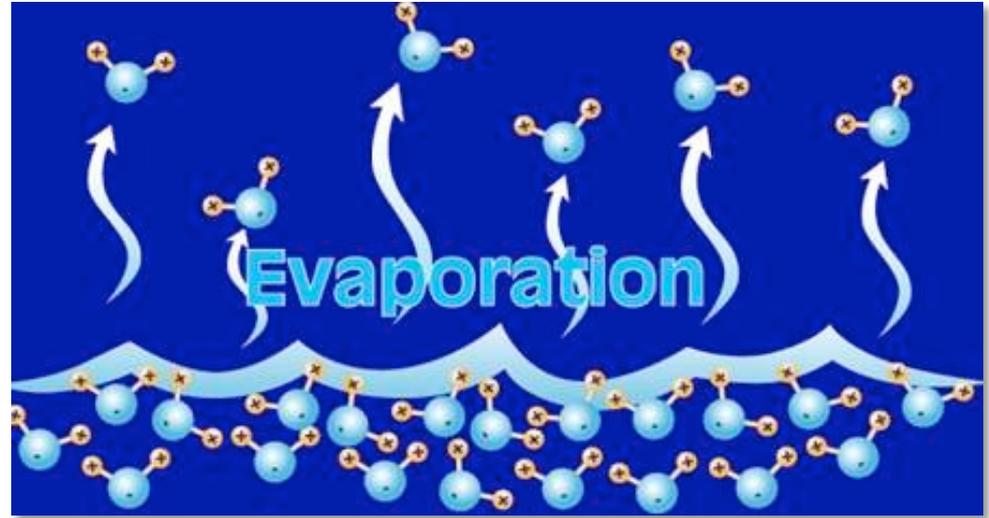
20°C

100°C

Il faudrait plus de 6 fois plus d'énergie (ou de temps à puissance constante) pour transformer l'eau en vapeur que pour porter l'eau à 100°C



Evaporation

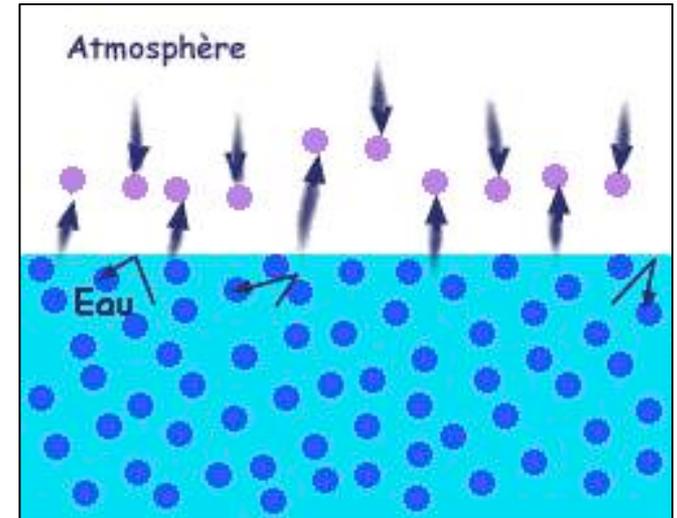
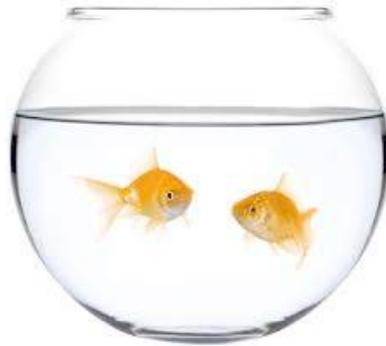


L'évaporation est un processus qui peut avoir lieu à **température ambiante**, pas uniquement à 100°C .

- Une partie des molécules d'eau (les plus énergétiques) proches de la surface peuvent "s'échapper" et passer dans le gaz
- Le liquide sera **refroidit**
- Augmentation de **l'humidité**



Gaz dissous dans l'eau



De manière similaire, une partie des molécules de l'air proches de la surface peuvent se dissoudre dans l'eau.

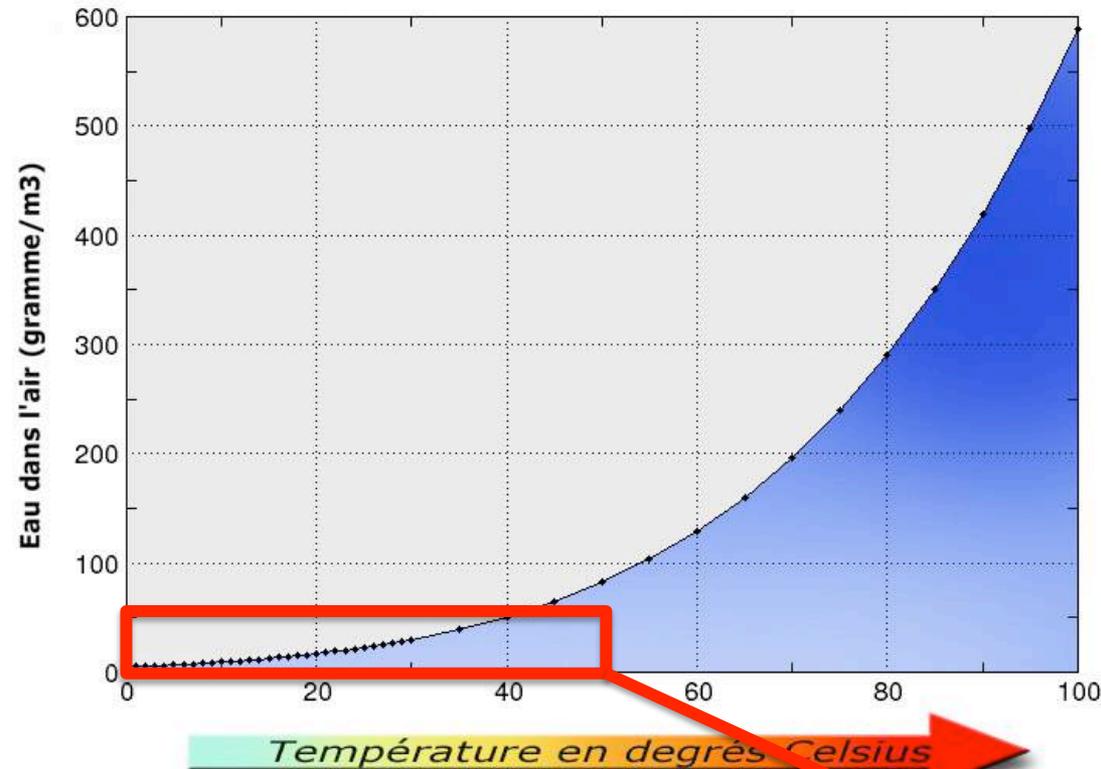
→ Oxygène utilisé par les animaux aquatiques

→ CO_2 dissous dans les boissons « pétillantes »

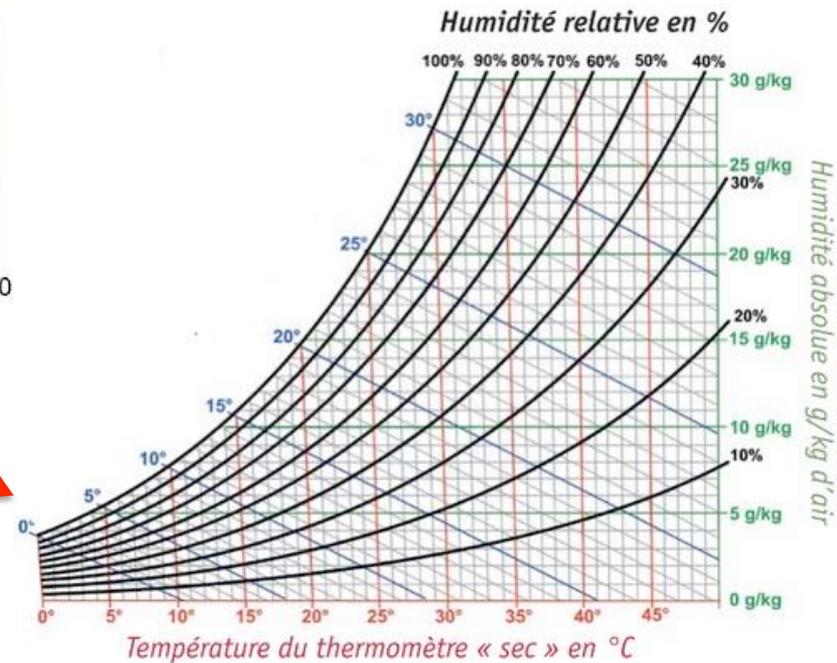
→ On peut atteindre un équilibre entre les 2 types d'échanges (saturation)



Humidité vs température



La quantité maximale d'eau pouvant être présente dans l'air augmente avec la température.



Le taux d'humidité relatif à une température donnée:
100% correspond à la saturation



Saturation

Dans une cuisine à 25°C, la saturation est de 20 g/kg.

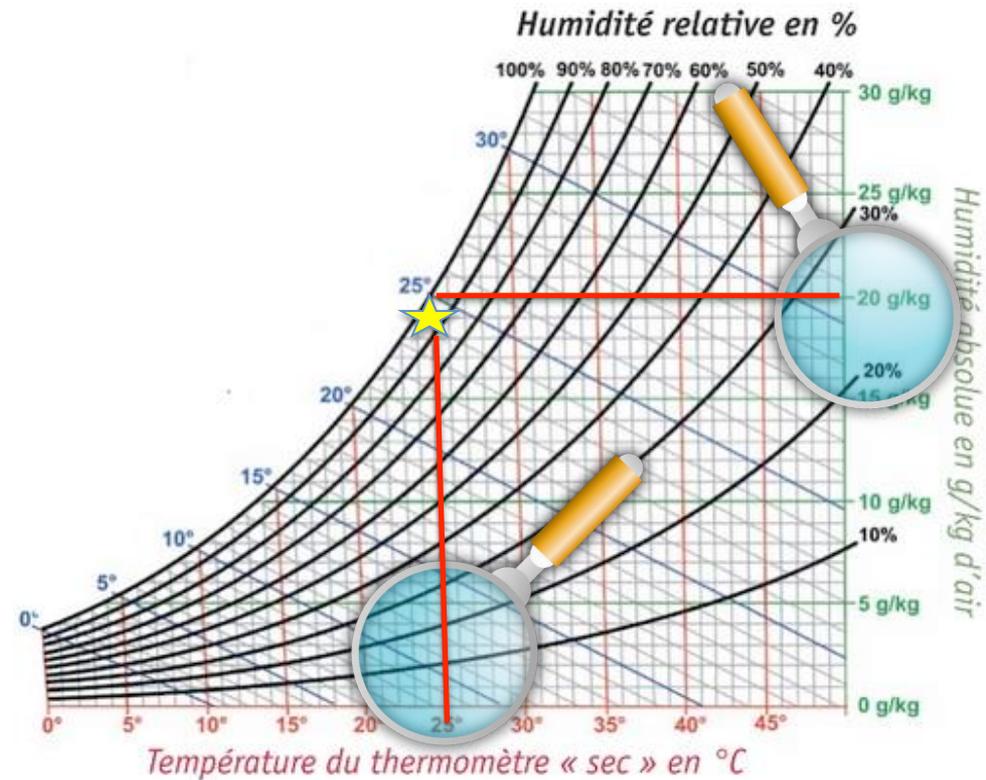
La masse d'air dans une cuisine de 30 m³(ex:12m x 2.5.m) serait de 36 kg.

On aurait donc **au maximum** 20 x 36 = **720 g**

→ Si je fais s'évaporer plus de 0.7 litre d'eau, je **sature l'humidité** de ma pièce

→ **Condensation**

→ Problème de "transpiration"



Saturation

Dans une cuisine à 25°C, la saturation est de 20 g/kg.

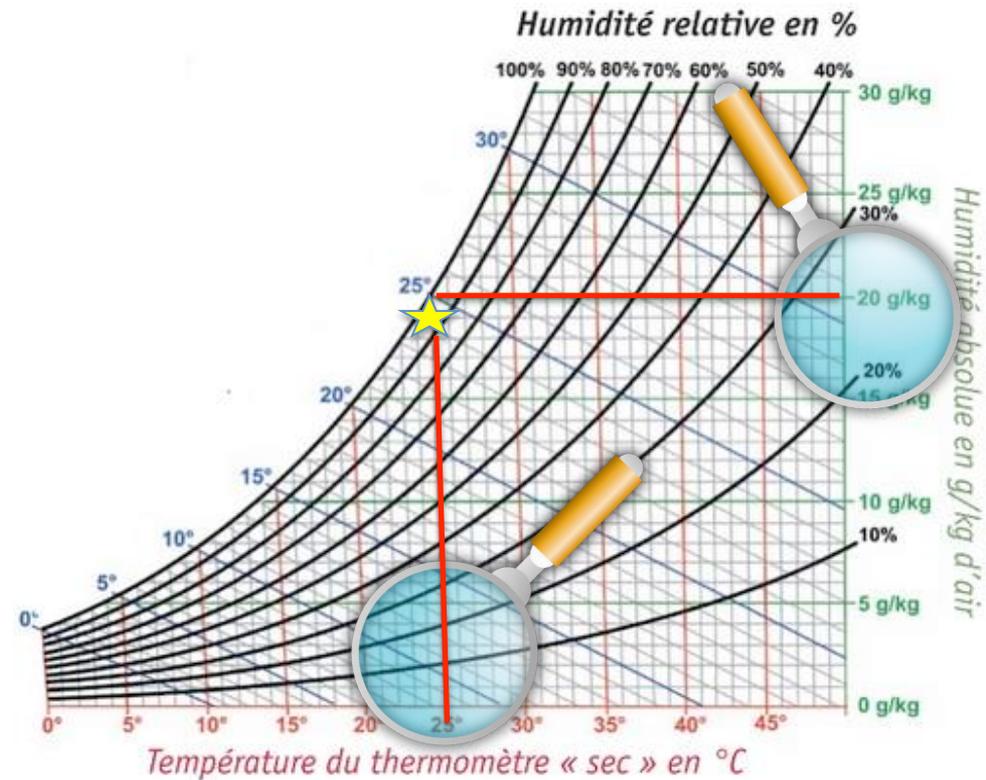
La masse d'air dans une cuisine de 30 m³(ex:12m x 2.5.m) serait de 36 kg.

On aurait donc **au maximum** 20 x 36 = **720 g**

→ Si je fais s'évaporer plus de 0.7 litre d'eau, je **sature l'humidité** de ma pièce

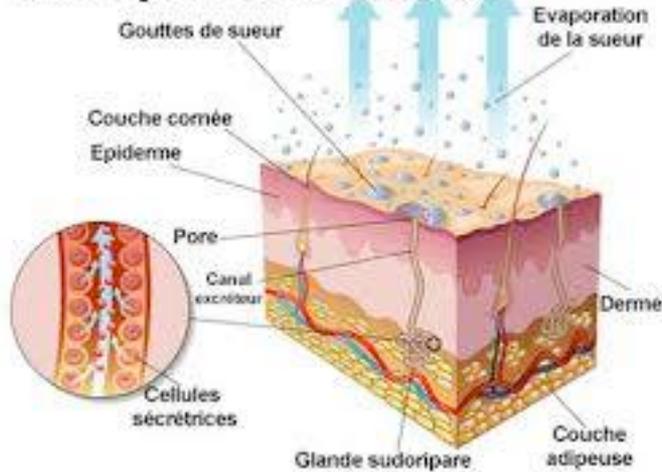
→ **Condensation**

→ Problème de "transpiration"



Transpirer pour se refroidir

Transpiration - Sweat



L'eau à la surface de la peau va s'évaporer.

Ce changement d'état va entraîner un **refroidissement de l'épiderme**

→ La transpiration joue un rôle de régulateur de température pour l'organisme

→ Cela explique notamment les frissons ressentis en sortant de la piscine



Transpirer pour ce refroidir

@https://entrainement-sportif.fr

Température de l'air	26°C	32°C	38°C
	0,05	0,1	0,2
	0,2	0,4	0,7
	0,4	0,7	1,0

Litre/heure

Sport	Intensité	Température ambiante (°C)	Taux de sudation approximatif (l/h)
Course à pied	Modérée	22	1.41
Cyclisme	Modérée	20	1.1
Football	Entraînement	25	1.0
Basket-ball	Entraînement	24	1.0
Water-polo	Entraînement	27	0.3

Les pertes hydriques dépendent de la **température extérieure** et de **l'intensité de l'activité pratiquée**.

La température interne du corps peut augmenter de plus d'1 degré pendant un effort soutenu.

Les pertes peuvent atteindre plus d'1.5 L/heure.

→ **Nécessité de se réhydrater !**



Quiz

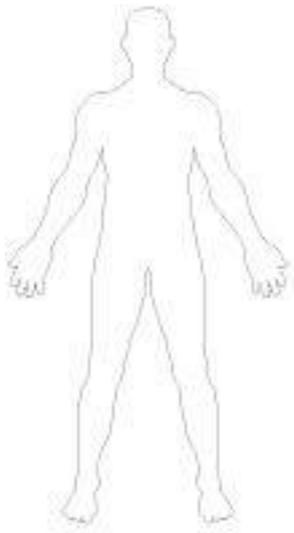
Dans le désert, peut-on refroidir des aliments sans appareil ?



 **Mentimeter**



Produire du froid dans le désert

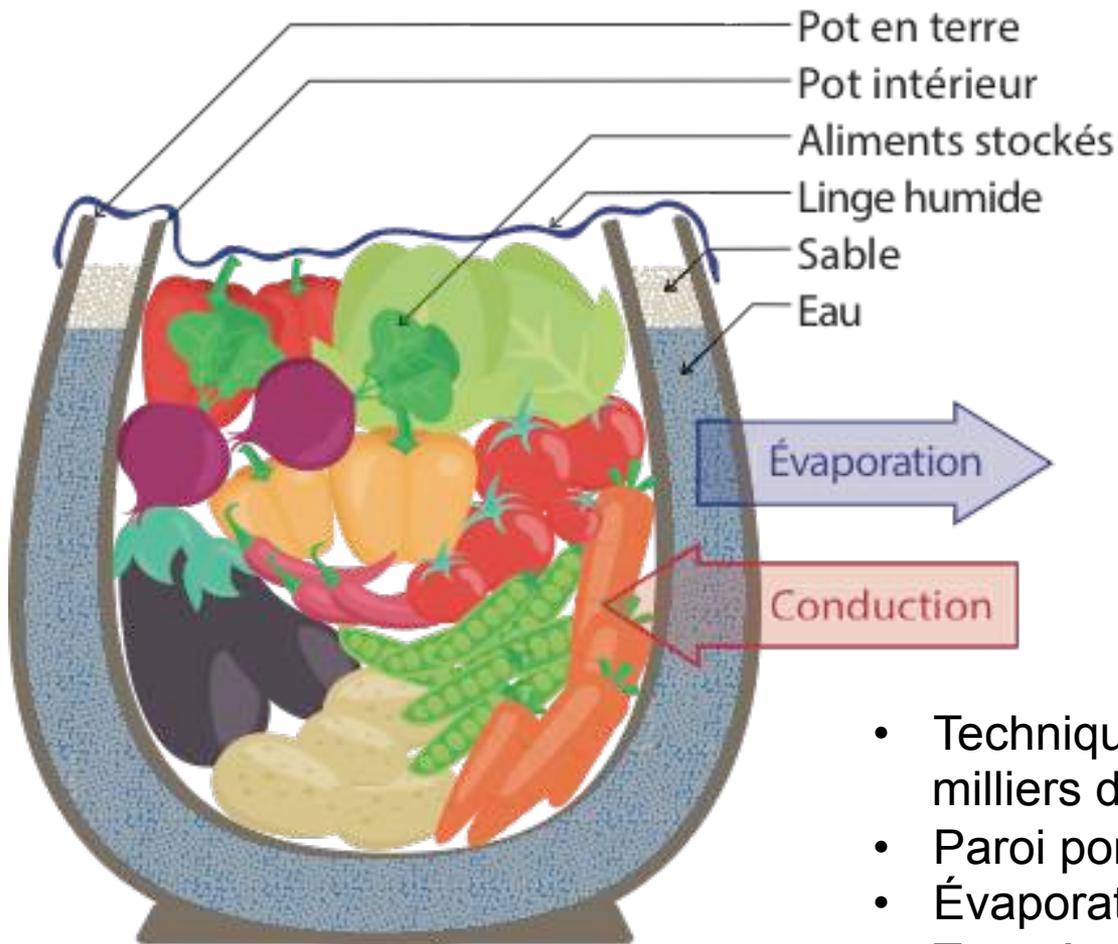


Pour refroidir 60 L d'eau d' $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, il faut
 $60 \times 4.18 = 250$ kJoules

D'un point de vue énergétique, l'évaporation
d'environ 10 cl d'eau est suffisant !



Zeer ou “frigo du désert”



Bojito espanol



Cruche en terre cuite poreuse

- Technique utilisée depuis plusieurs milliers d'années
- Paroi poreuse
- Évaporation
- Température abaissée de -5 a -20°C



Expériences



1)



2)



+ 1 couvercle + 1 thermomètre

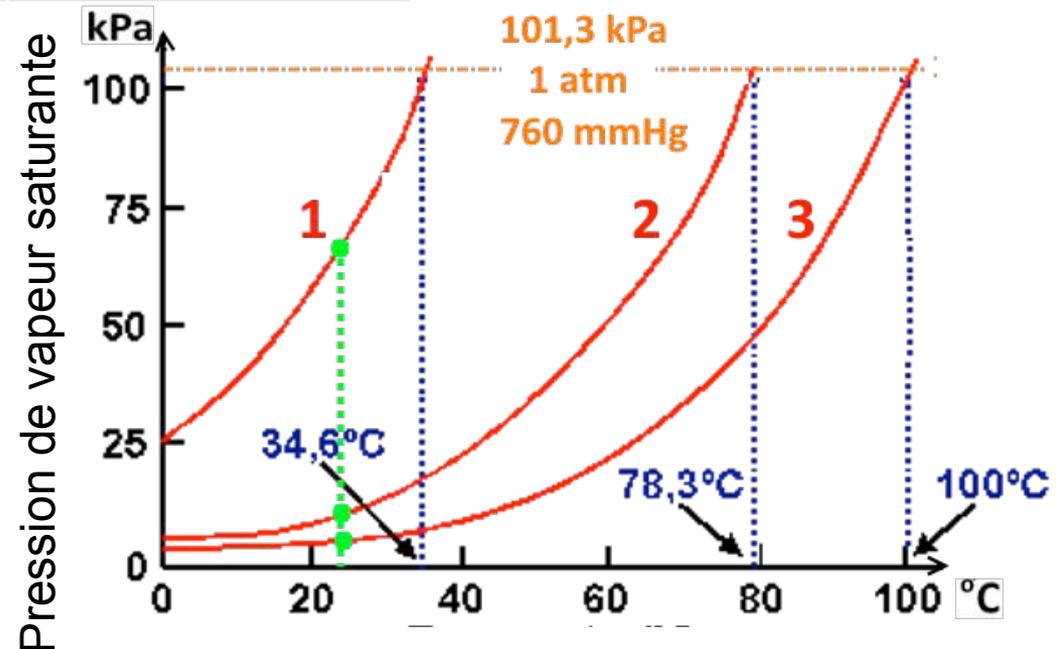


Expérience

Pourquoi utiliser de l'alcool ?

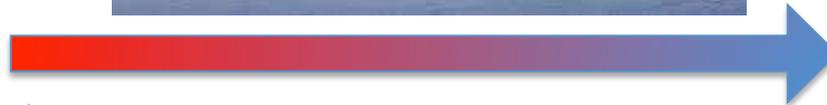
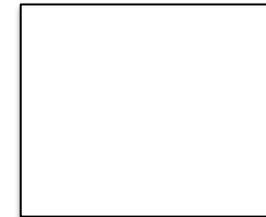
	Température d'ébullition	Chaleur latente [kJ/kg]
3- Eau	100°C	2264
2- Ethanol	78.3°C	855
1- Ether	34.6°C	360

Une plus grande quantité d'éthanol peut s'évaporer à température ambiante



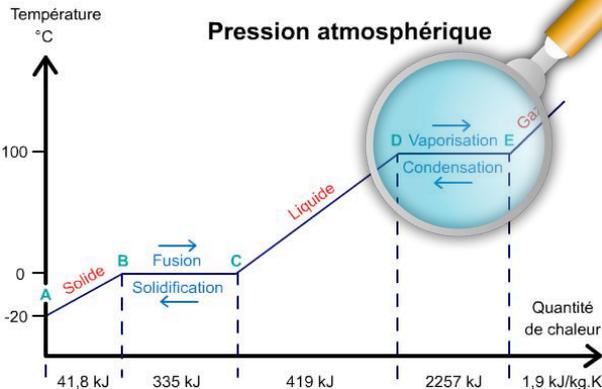
Transition liquide / gaz

Evaporation: le milieu environnant se *refroidit* en fournissant l'énergie nécessaire au changement d'état



Liquide

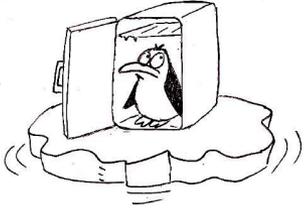
Gaz



Condensation: le milieu environnant se *réchauffe* en fournissant en récupérant de l'énergie



Menu du jour



Question: *Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte du frigo ouverte ?*

Partie générale

- Introduction
- La chaleur latente
- Le principe du réfrigérateur**
- Questions sur son fonctionnement

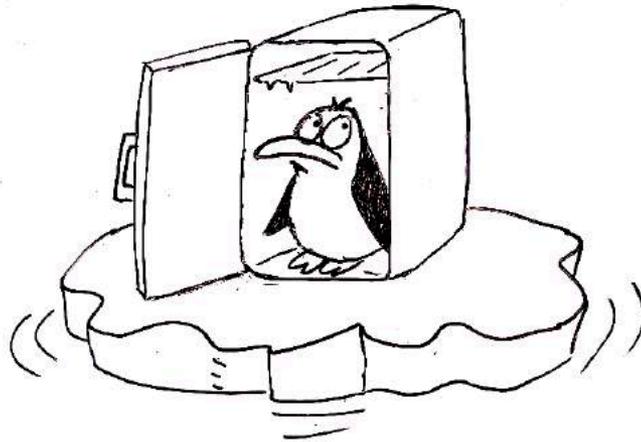
Partie "technologique"

- Energétique
- Fluide frigorigène



Quiz

Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte de mon réfrigérateur ouverte ?



 **Mentimeter**



Quiz

Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte de mon réfrigérateur ouverte ?

NON !

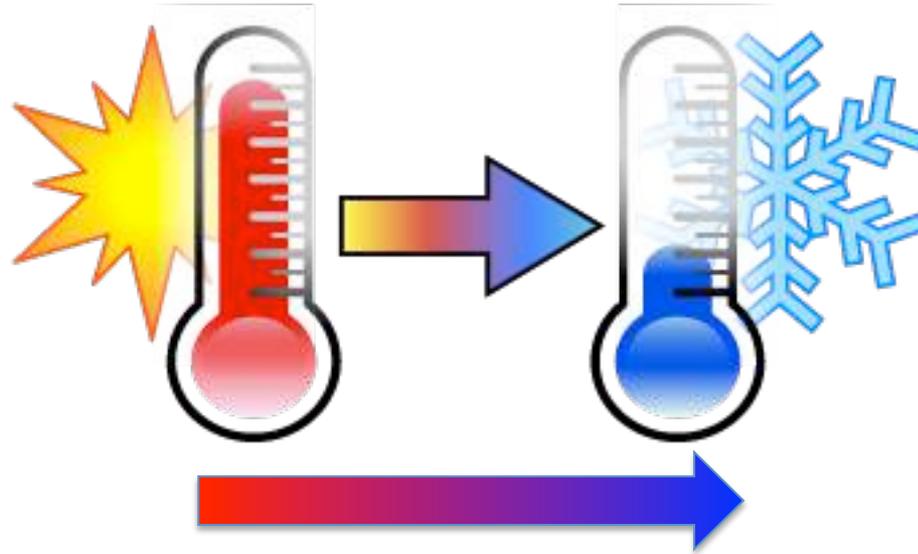
Le réfrigérateur fonctionne le principe d'une **pompe à chaleur**: il transfère de la chaleur d'un milieu (refroidissement) au profit d'un autre (réchauffement)



 **Mentimeter**



Chaleur



Spontanément, il y a un transfert de chaleur des corps chauds vers les corps plus froids.

→ **équilibre**: même température

“Comment refroidir un corps déjà “froid” ?”



Le “réfrigérateur” : *une pompe à chaleur*

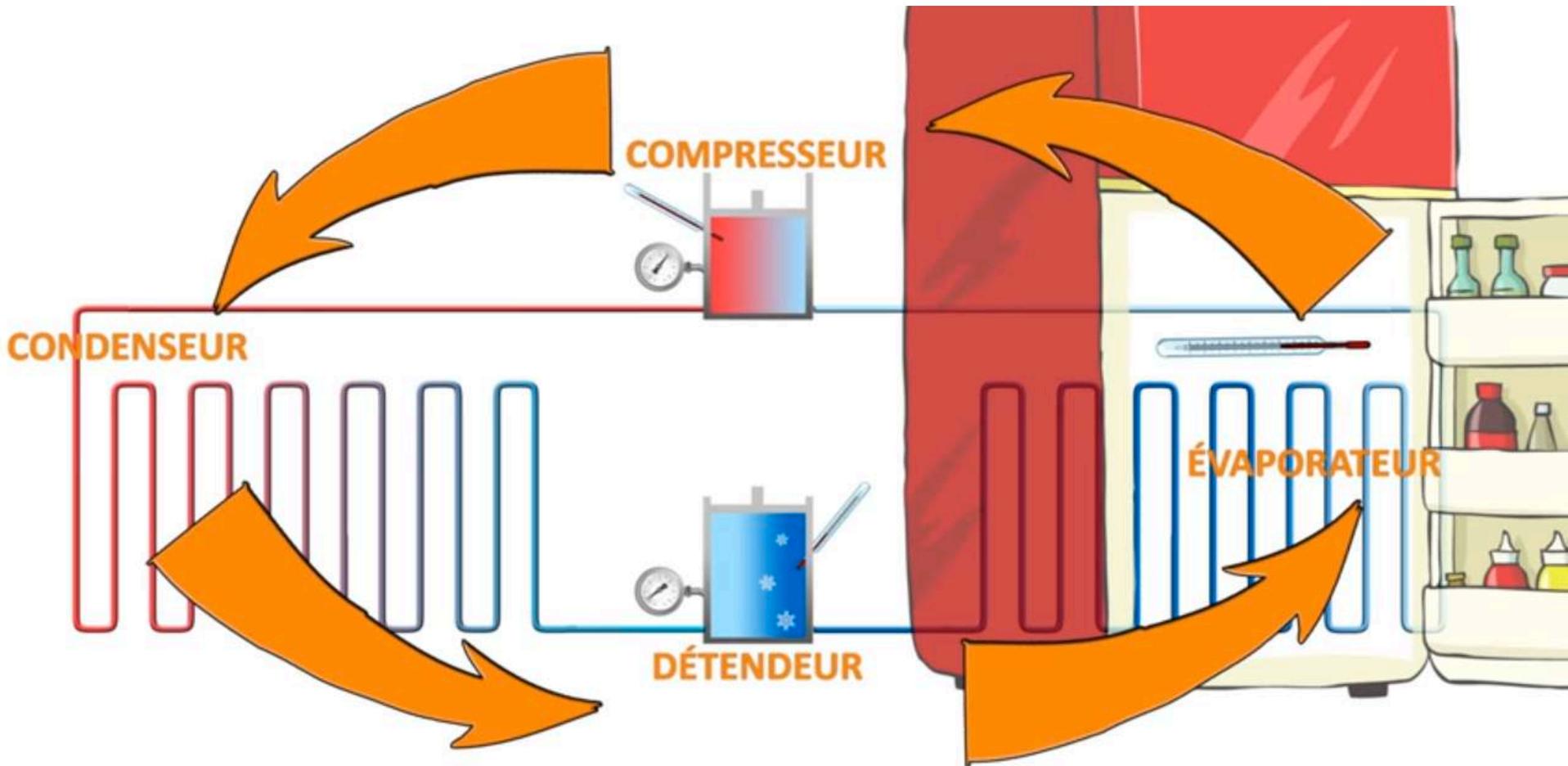
Refroidir l'intérieur du réfrigérateur
→ **Évaporation** d'un liquide (“réfrigérant”)



Réchauffer le reste de la pièce
→ **Condensation** d'un gaz (“réfrigérant”)



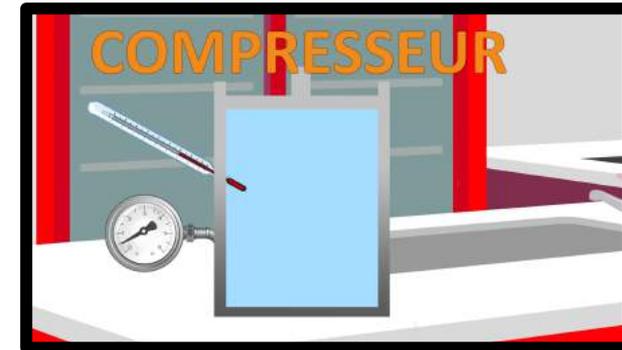
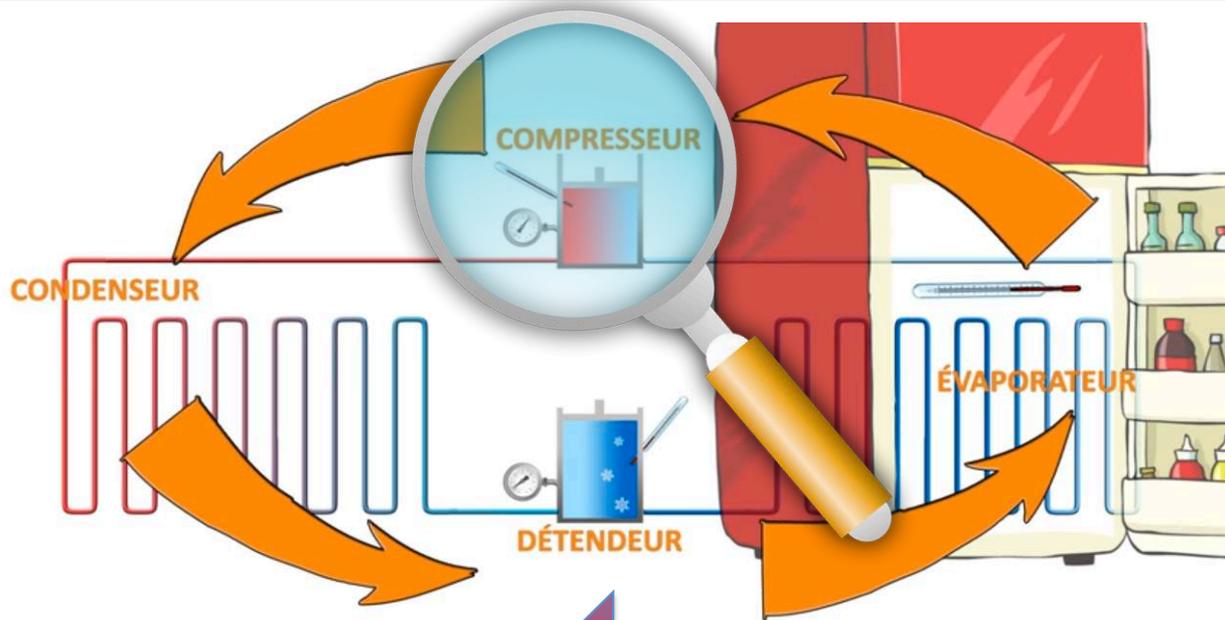
Le cycle du réfrigérateur



Kezako: <https://www.youtube.com/watch?v=ZKBiaHroY-o>



Le compresseur



Compression

Vapeur

- haute pression (> 7 bars)
 - Échauffement
- Température supérieure à celle de la pièce

Vapeur

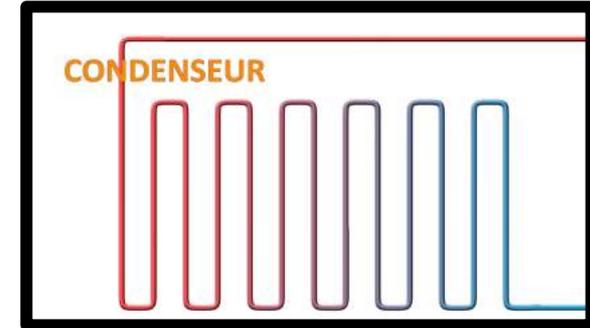
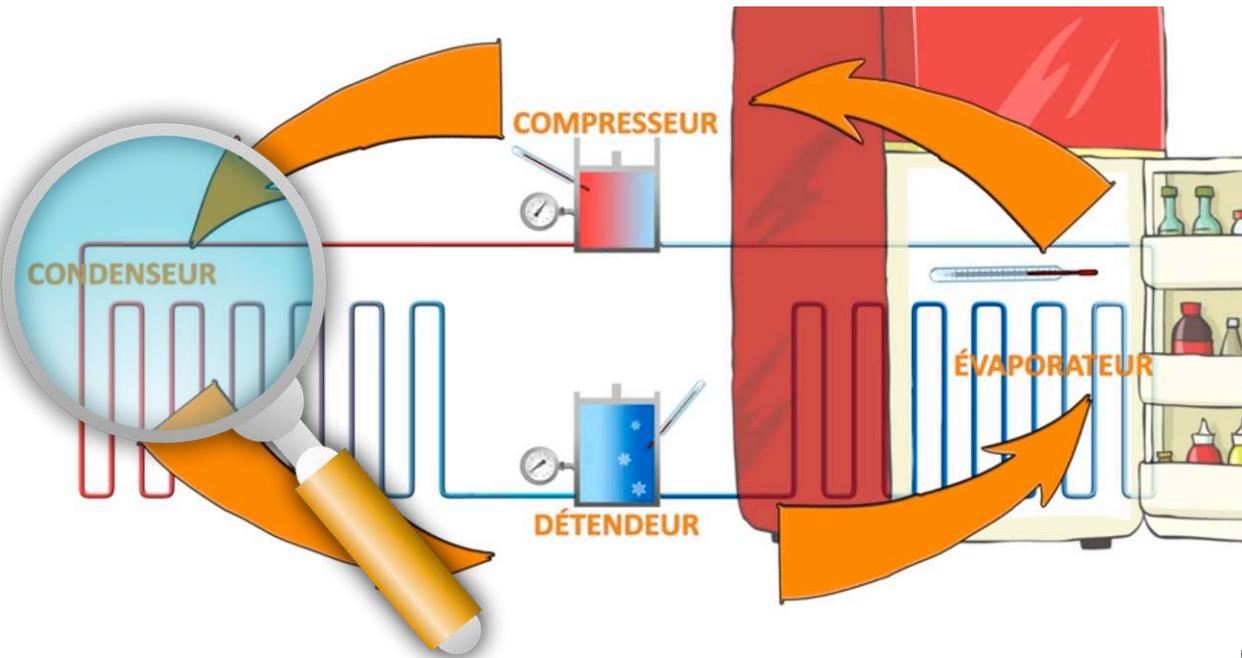
- Basse pression (< 1 bar)

Le compresseur fonctionne avec un moteur électrique (consommation, bruit)

Transformation
Pas d'échange
avec l'extérieur



Le condensateur



Vapeur

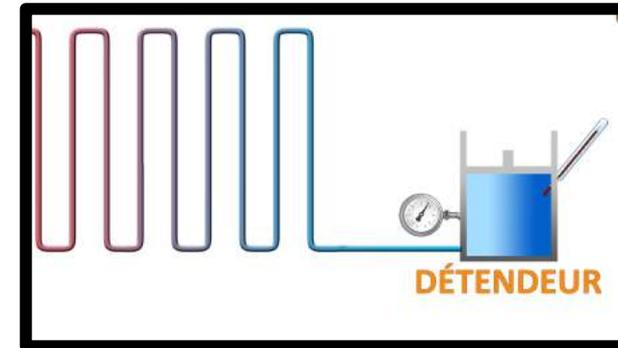
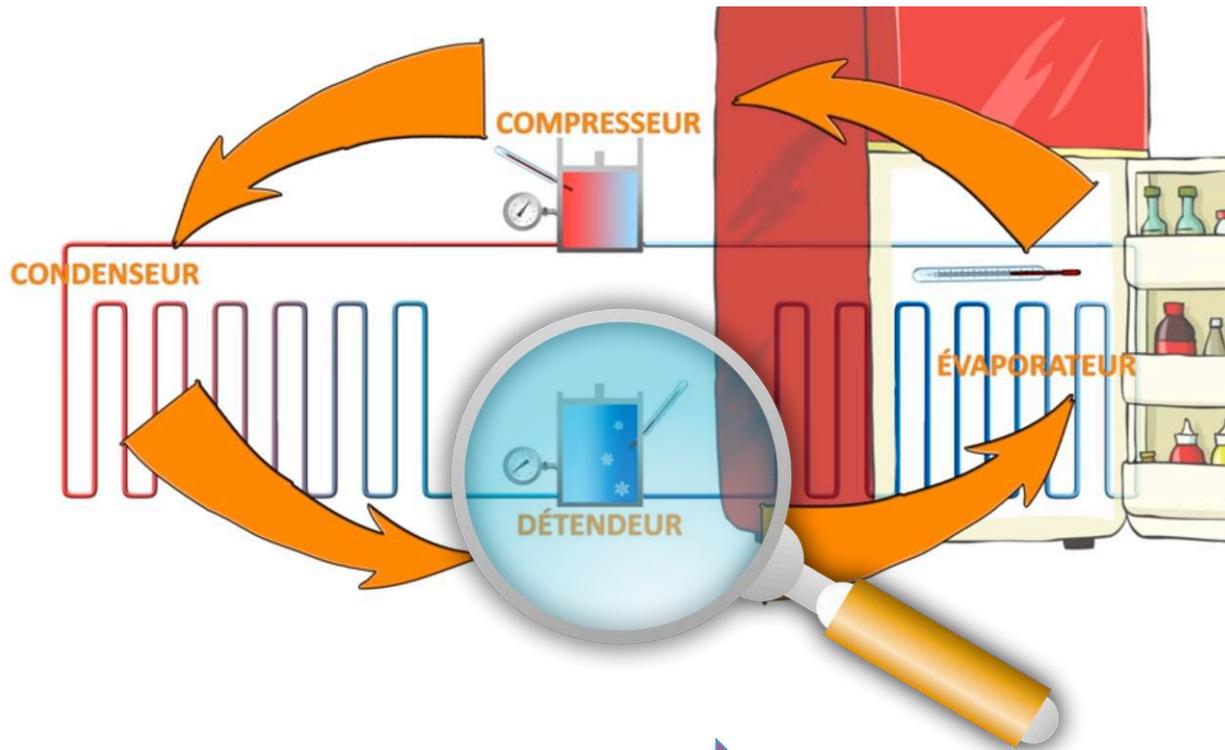
Condensation

Liquide

À haute pression



Le détendeur



Liquide



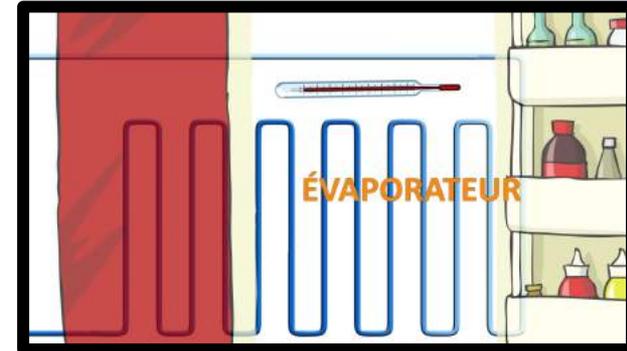
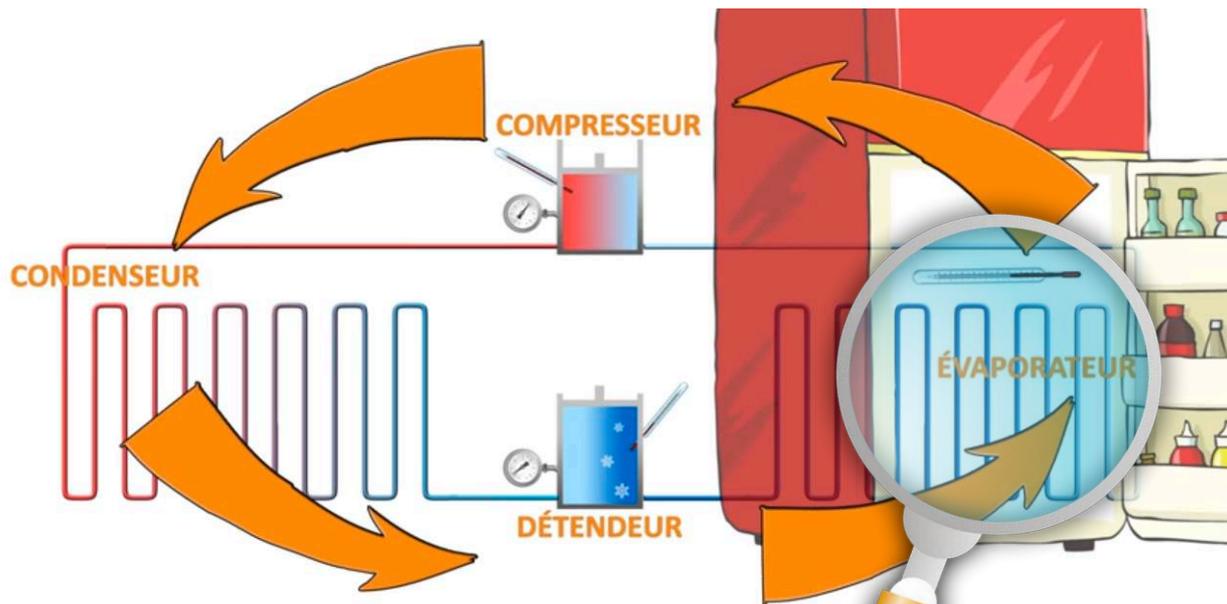
Liquide

- Basse pression
- Refroidissement

Transformation
Peu d'échange
avec l'extérieur



L'évaporateur



Vapeur

Évaporation
À basse pression

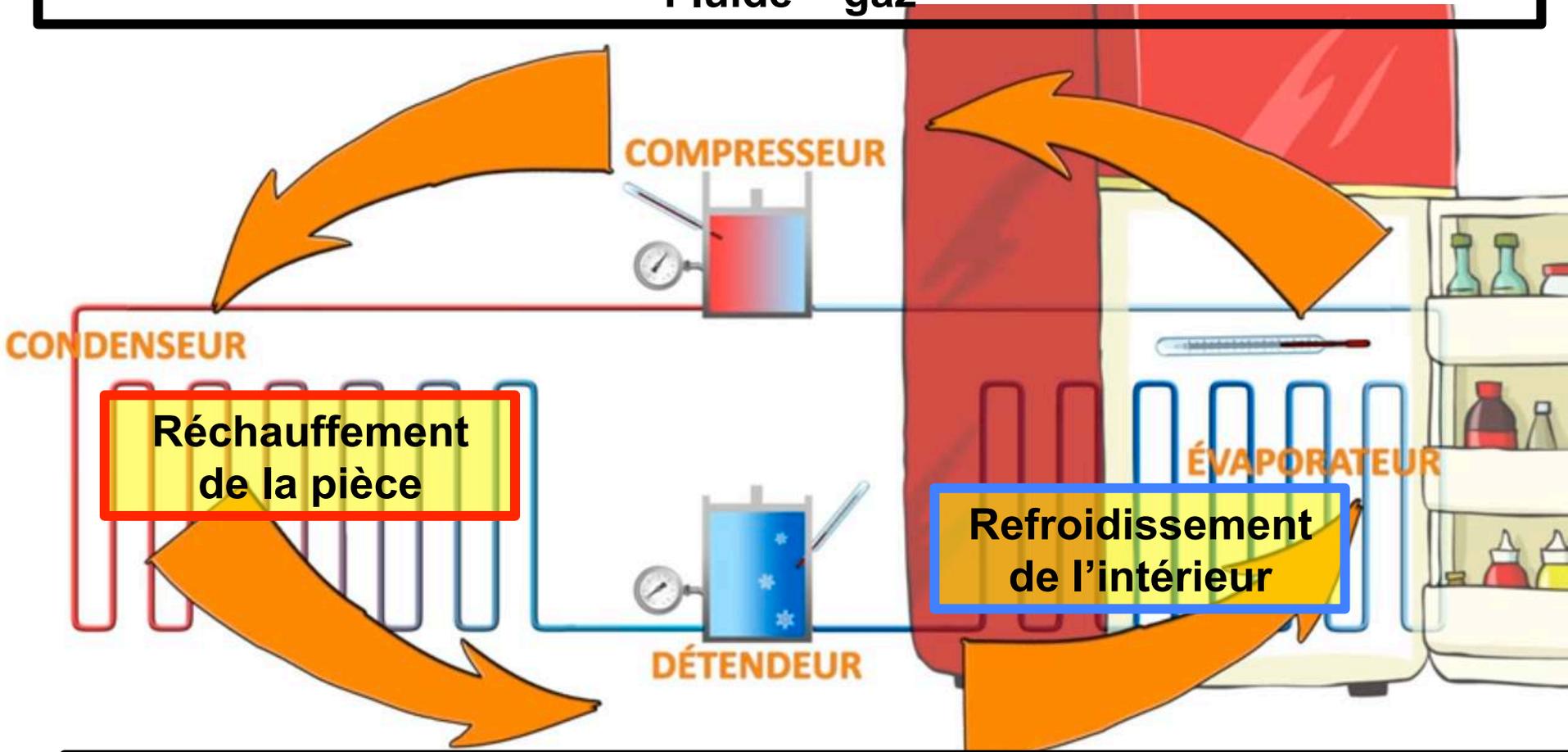
Liquide

- Basse température
→ Inférieure à celle de l'intérieur du frigo



Le cycle du réfrigérateur

Fluide = gaz

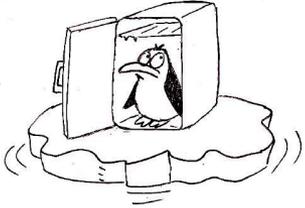


Fluide = liquide

<https://www.youtube.com/watch?v=ZKBiaHroY-o>



Menu du jour



Question: *Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte du frigo ouverte ?*

Partie générale

- Introduction
- La chaleur latente
- Le principe du réfrigérateur
- Questions sur son fonctionnement**

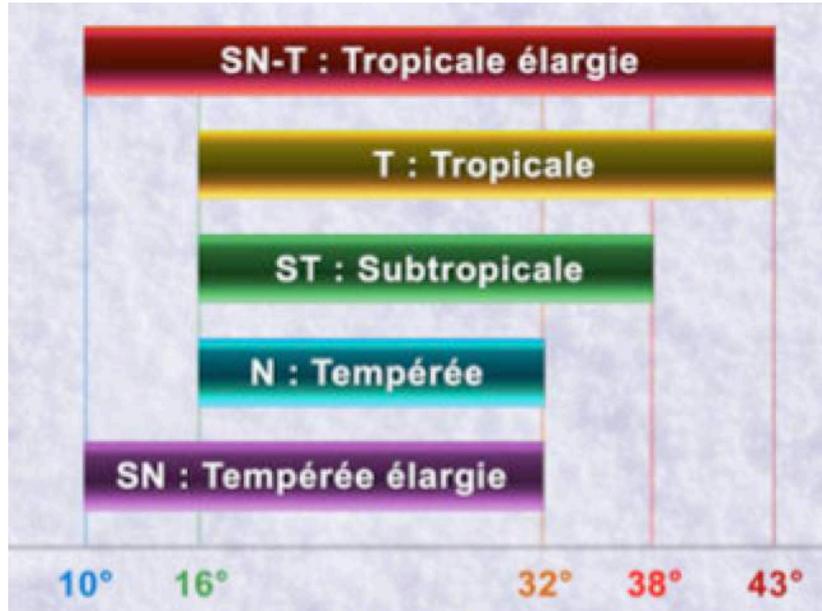
Partie "technologique"

- Energétique
- Fluide frigorigène



Installation – température ambiante

Classes climatiques



A la maison, des températures “élevées” peuvent être dues à :

- Une exposition directe aux rayons solaires
- La proximité d’une source de chaleur (cuisinière, radiateur, etc.).

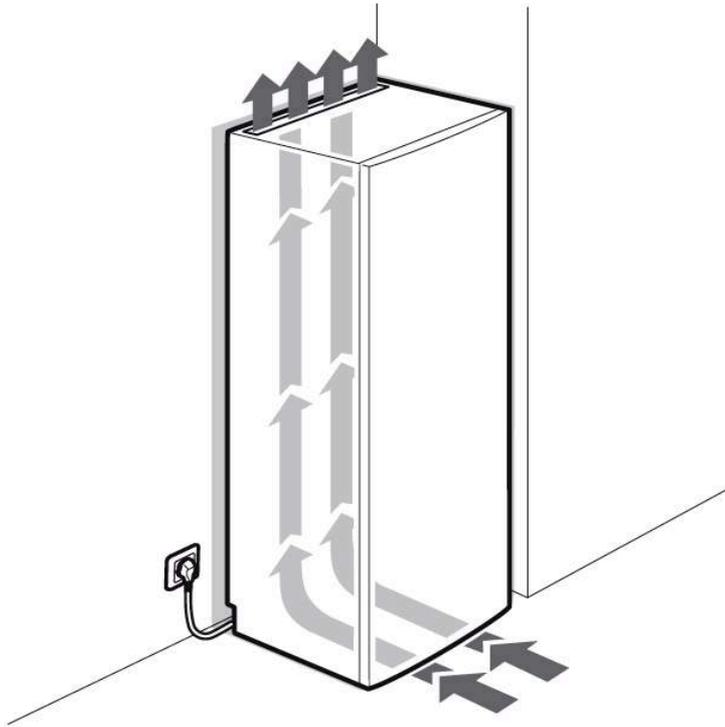
→ Utilisez des panneaux isolants

Étude par “60 millions de consommateurs” (2017):
Doublement de la **consommation électrique** en passant d’une température de 25°C à 43°C

Rediscuter à la fin de ce cours



Installation – température ambiante



A la maison, des **températures “élevées”** peuvent être dues à:

- Une exposition directe aux rayons solaires
 - La proximité d’une source de chaleur (cuisinière, radiateur, etc.).
- Utilisez des panneaux isolants

- L’air entrant en contact avec la paroi arrière de l’appareil se réchauffe.
- L’air chaud doit pouvoir s’échapper sans obstacle.
- Pour cette raison, ne recouvrez ni et n’obstruez jamais les orifices d’aération de l’appareil.



Étanchéité

Pour isoler au mieux l'intérieur du réfrigérateur, les parois utilisent un bon **isolant**:
souvent de la mousse de polyuréthane rigide



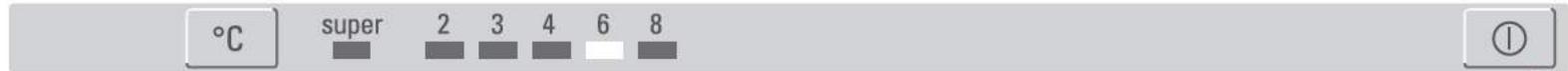
Porte équipée d'un joint pour garantir **l'étanchéité**
→ l'air à l'intérieur (froid) peut-être à une pression plus faible que celle de la cuisine

Il faut garantir le bon fonctionnement de ces joints sous peine de voir sa facture augmenter:

- Pas de contact avec de l'huile ou de la graisse → sinon il devient poreux
- Éviter qu'il y ait condensation d'eau



Température



La température est réglable
entre +2 °C et +8 °C.

Nous verrons plus tard comment cette
température est maintenue (thermostat)



Vérifiez par vous-même:

- plongez un thermomètre dans un verre d'eau
- placez-le dans votre réfrigérateur
- attendez une demi-heure environ et sortez le thermomètre de l'eau.



L'organisation des aliments

La température n'est pas partout la même au sein du réfrigérateur.

Cela dépend:

- De la localisation de l'évaporateur
- De la présence ou non d'un "brassage" d'air
- De la poussée d'Archimède: l'air froid plus dense, tend à se retrouver en bas

→ Dépend du modèle de réfrigérateur (voir sa notice)

On distingue 3 zones:

- Zone "froide"
- Zone "fraîche"
- Bac à légume

Rediscuter dans la dernière partie du cours



L'organisation des aliments



Question:

Pourquoi faut-il enlever les emballages de ses aliments ?

Les aliments achetés sous souvent emballés dans cartons/plastiques. Ils vont **limiter les échanges thermiques entre l'air froid et vos aliments.**
→ Pour rappel les échanges par conduction sont plus lents que par convection

~~Air froid → emballage froid → aliments froids~~



Question:

Pourquoi est-il préférable de placer les restes dans des emballages fermés ?

Pour des **raisons sanitaires**, les aliments ne doivent pas être en contact direct avec le réfrigérateur.

D'autre part, les aliments risquent de se dessécher au contact direct de l'air sec

→ Les aliments « entamés » doivent être stockés dans des emballages



Question

Pourquoi faut-il dégivrer son réfrigérateur ?



Question:

Pourquoi faut-il dégivrer son réfrigérateur ?

D'où provient le givre ?

- Condensation de l'humidité de l'air
- Formation d'une couche de glace de plus en plus épaisse
- Phénomène surtout visible dans les freezers

Conséquences

- La glace joue un rôle d'isolant thermique
- Il faut plus de temps avant qu'il y ait refroidissement de la couche d'air
- Le refroidissement de l'air induit des mouvements de convection (homogénéisation de la température)

→ **Diminution sensible des performances énergétiques dès quelques mm de givre**



Question:

Pourquoi ne faut-il pas brancher directement un réfrigérateur après l'avoir déplacé ?



Il est souvent recommandé d'attendre plusieurs heures (jusqu'à 24 heures selon les "notices") avant de relancer un réfrigérateur qui a été déplacé. Pourquoi ?



Question

Conseil: transporter le réfrigérateur debout ou à 45 degrés au maximum

Le compresseur est lubrifié avec de l'huile.

Il y a un risque que l'huile puisse sortir de son compartiment et se répandre dans les circuits (voir jusqu'au condenseur qui serait alors bouché ...)

Il est donc attendre stabilisation des liquides internes.



Question:

Quel est l'impact des ouvertures de porte du réfrigérateur ?

Étude “60 millions de consommateurs” (2017)

- Moyenne sur 10 frigos
- 15 ouvertures / jour: +17% de la consommation électrique
- (jusqu'à 32% selon les modèles)

L'air froid s'échappe du réfrigérateur.
L'air ambiant qui rentre doit de nouveau être refroidit.



Quiz

Un réfrigérateur consomme-t-il plus à vide ou plein ?



 **Mentimeter**



Question:

Un réfrigérateur consomme-t-il plus à vide ou plein ?

plein

Les aliments présents dans le réfrigérateur représentent une plus grande quantité de matière (par rapport au réfrigérateur plein d'air)

Exemple:

- volume de 300 L d'air → capacité calo: 0.38 kJoules/K
- rempli avec 30 L d'aliments/d'eau → capacité calo: 126 kJoules/K

- plus grande **inertie thermique** lorsque le réfrigérateur est plein
- la température varie moins (→ *moins sensible aux ouvertures de porte*)
- le compresseur se déclenche moins (cf régulateur)
- moins grande consommation énergétique

NB: possibilité de rajouter des bouteilles d'eau

Attention: il faut tout de même veiller à ce que l'air puisse circuler convenablement entre les aliments



Question:

Pourquoi ne faut-il pas placer d'aliments chauds ?

Le réfrigérateur va surconsommer pour refroidir les plats chauds

- Calcul pour refroidir 1L de soupe à 40°C degrés à 4°C: 150 KJ
- Équivalent à l'énergie nécessaire pour refroidir 25x le volume d'air d'un frigo de 300 L (20→4°C)

Test "60 millions de consommateurs" (2017):

- Plat de 500 g à une température de 35°C.
- Augmentation de la consommation de 8%-15% sur 24 h

Solutions:

- refroidissement à l'air (grande surface)
- bain d'eau froide
- changer de plat
- fractionner les portions

Argument sanitaire:

Ne pas laisser un plat chaud à température ambiante plus de 2 h.
→ Prolifération des bactéries/champignons



Question:

Sur certains frigos

A quoi sert le petit trou au fond du réfrigérateur ?

C'est un orifice d'écoulement de l'eau de dégivrage



- Des gouttelettes d'eau se forment sur la paroi arrière.
- L'eau de dégivrage est récupérée dans la rigole d'écoulement.
- Elle coule jusqu'au groupe frigorifique où elle s'évapore.



Question:

Sur certains frigos

A quoi sert le petit trou au fond du réfrigérateur ?

C'est un orifice d'écoulement de l'eau de dégivrage



- Évitez que les produits alimentaires n'entrent en contact avec la paroi arrière.
- Cela gênerait sinon la circulation de l'air.
- Les produits alimentaires ou les emballages pourraient rester collés, par congélation, contre la paroi arrière.



Ce qu'il fallait retenir

❑ Changement d'états

❑ **Chaleur latente**: énergie nécessaire pour changer d'état

❑ Exemples:

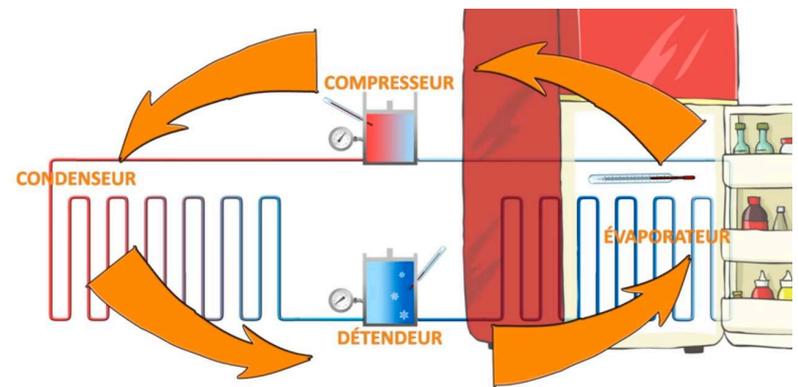
- ❑ Un glaçon refroidit les boissons principalement grâce à la chaleur latente (solide → liquide) et non pas grâce à sa température
- ❑ Il faudrait attendre 6 fois plus de temps pour faire évaporer l'eau d'une casserole bouillante que pour porter l'eau à ébullition

❑ Principe du réfrigérateur

❑ **Pompe à chaleur**: refroidit l'intérieur en réchauffant l'extérieur

❑ 4 parties:

- ❑ Compresseur
- ❑ Condensateur
- ❑ Détendeur
- ❑ Évaporateur

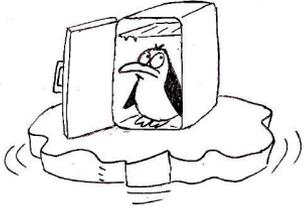


Ce qu'il fallait retenir

- ❑ **Pour éviter les consommations électriques excessives:**
 - ❑ Évitez les sources de chaleur à proximité de votre réfrigérateur
 - ❑ Adapter la température de consigne
 - ❑ Ne pas mettre de plats chauds
 - ❑ Ne pas laisser le réfrigérateur vide
 - ❑ Limiter les ouvertures de porte
 - ❑ Ne pas laisser de givre s'accumuler



Menu du jour



Question: *Puis-je refroidir ma cuisine en laissant la porte du frigo ouverte ?*

Partie générale

- Introduction
- La chaleur latente
- Le principe du réfrigérateur
- Questions sur son fonctionnement

Partie “technologique

- Energétique**
- Fluide frigorigène



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text 'Aspect énergétique des réfrigérateurs' in blue. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing on the screen.

Aspect
énergétique des
réfrigérateurs

Aspect énergétique des réfrigérateurs

Allons acheter un réfrigérateur !



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Critères pour choisir un réfrigérateur

- La capacité = volume intérieur des compartiments de réfrigération et congélation
- La technologie de production de froid
- La consommation électrique
- Le prix d'achat
- Dimensions
- Encastrable ou non
- Les options (*dégivrage automatique, production de glaçons, la réfrigération rapide, réfrigérateur connecté, ...*)
- Esthétisme



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Critères pour choisir un réfrigérateur

- **La capacité = volume intérieur des compartiments de réfrigération et congélation**
- **La technologie de production de froid**
- **La consommation électrique**
- Le prix d'achat
- Dimensions
- Encastrable ou non
- Les options (*dégivrage automatique, production de glaçons, la réfrigération rapide, réfrigérateur connecté, ...*)
- Esthétisme

Pas
discuté



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Critères pour choisir un réfrigérateur

- La capacité = volume intérieur des compartiments de réfrigération et congélation
- La technologie de production de froid

- **La consommation électrique**

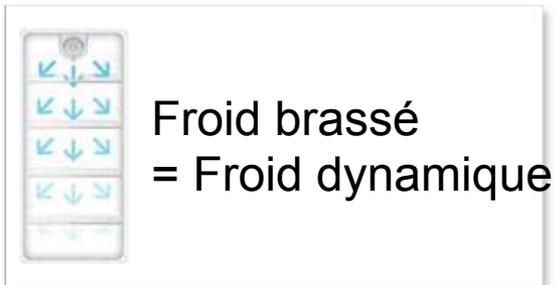
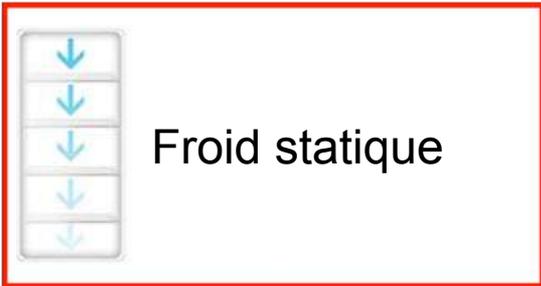
- Le prix d'achat
- Dimensions
- Encastrable ou non
- Les options (*dégivrage automatique, production de glaçons, la réfrigération rapide, réfrigérateur connecté, ...*)
- Esthétisme

Pas discuté



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Technologies de production de froid

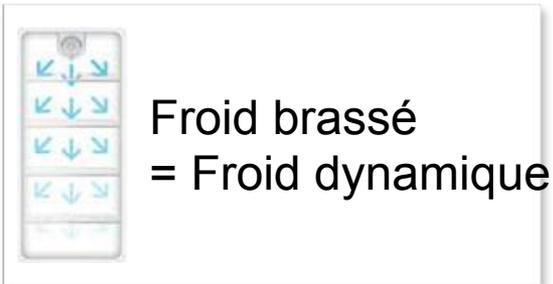
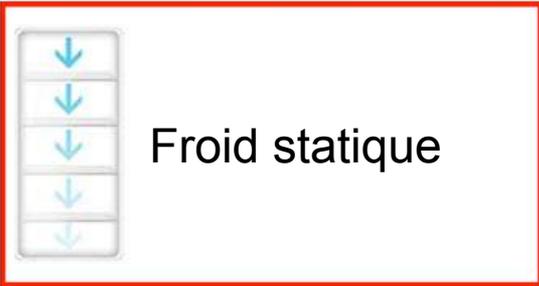


Stratification des températures



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Technologies de production de froid

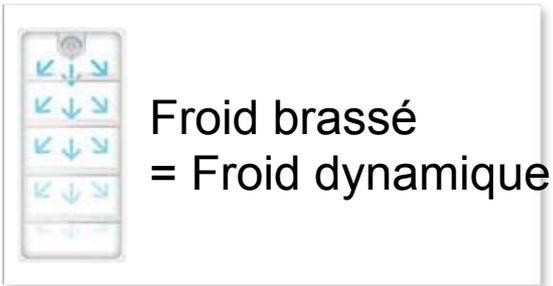
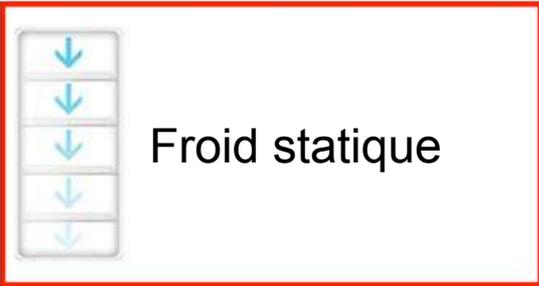


Convection naturelle n'est pas suffisante



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Technologies de production de froid



**Consommation électrique
≈ consommation du compresseur**

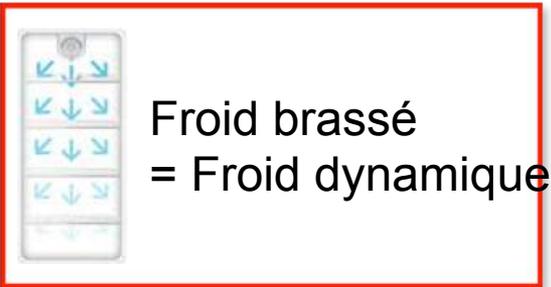
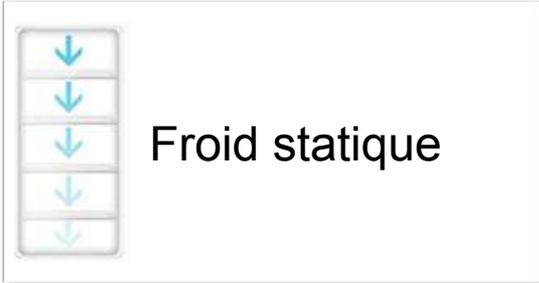


- Consommation de la LED est négligeable.
- Tout dépend des options (ex: réfrigérateur connecté)



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Technologies de production de froid



Un ventilateur crée en permanence un mouvement de convection forcé.



Homogénéisation de température.

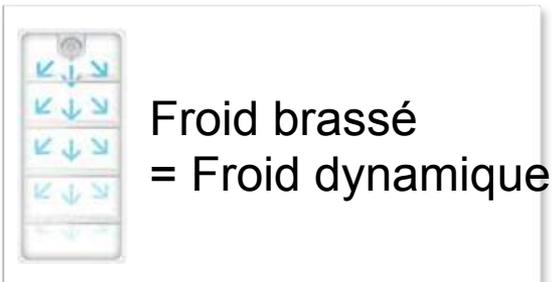


Consommation électrique \approx compresseur + ventilateur



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Technologies de production de froid



Assimilable à une chambre froide muni d'un climatiseur

L'air du compartiment est :

- aspiré par un ventilateur,
- Refroidi et asséché par l'évaporateur,
- Distribué à plusieurs endroit du compartiment.



Plus besoin de dégivrage.

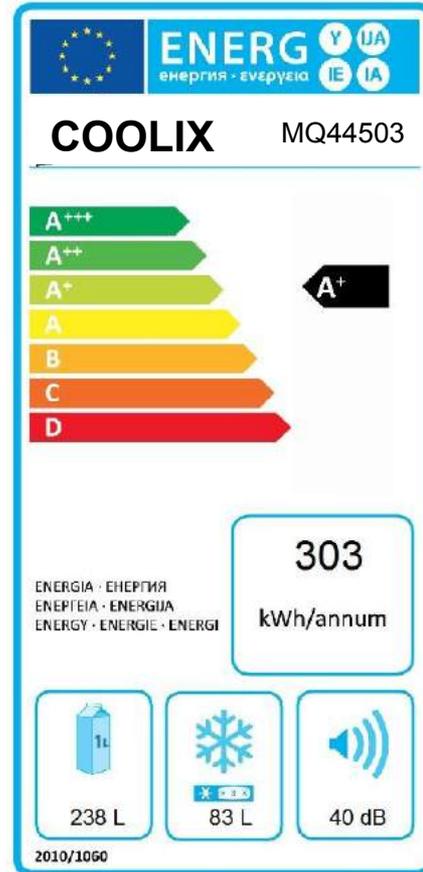
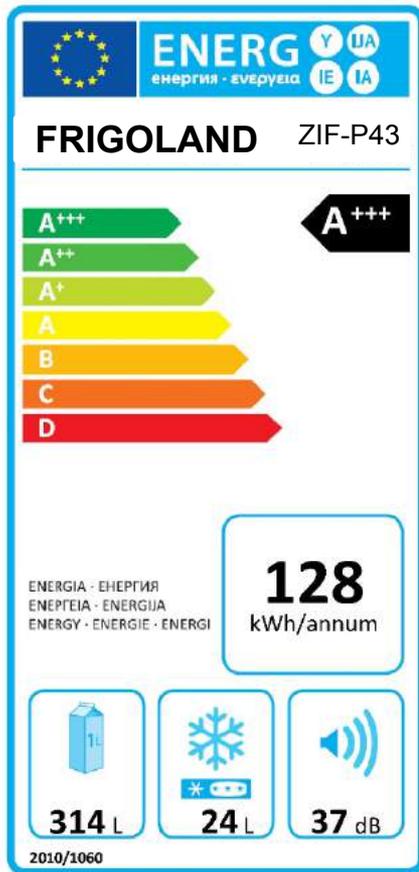


Consommation électrique = compresseur + ventilateur
Assèche les denrées.



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Etiquette énergétique (ex d'un réfrigérateur combiné à froid statique)



Obligation pour les appareils électroménagers et les ampoules électriques:
Directive 92/75/CEE

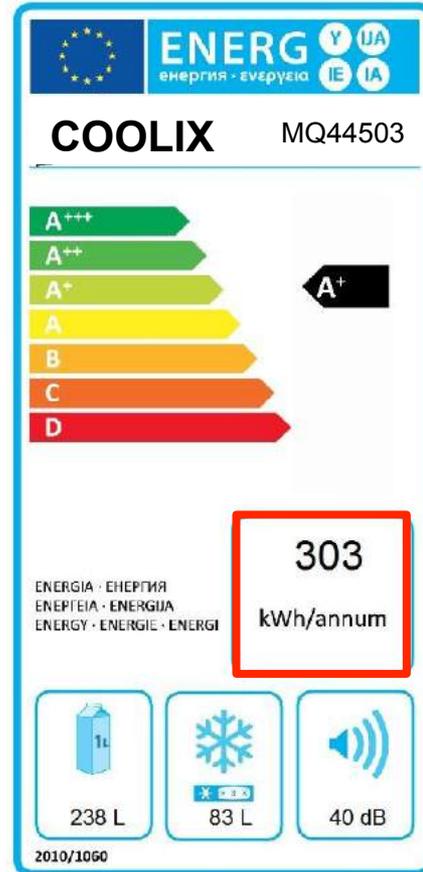
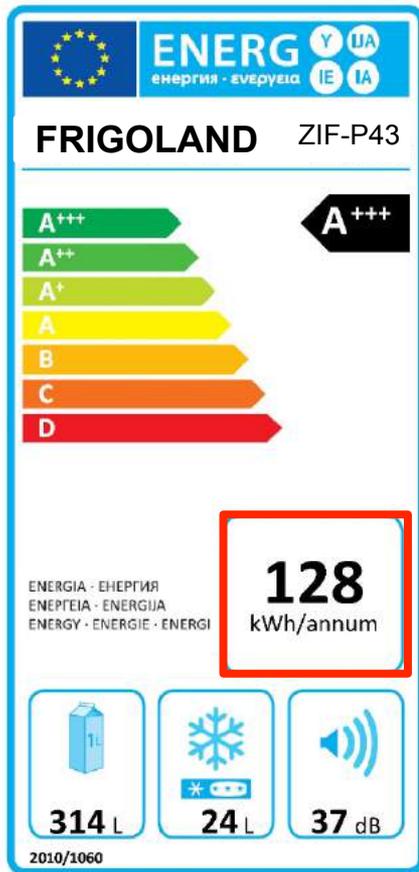
Modalités pour les réfrigérateurs et congélateurs :
Directive 94/2/CE
Directive 2003/66/CE

Mise à jour :
Directive 2005/32/CE (EuP)
Directive 2009/125/CE (ErP)



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Etiquette énergétique (ex d'un réfrigérateur combiné à froid statique)



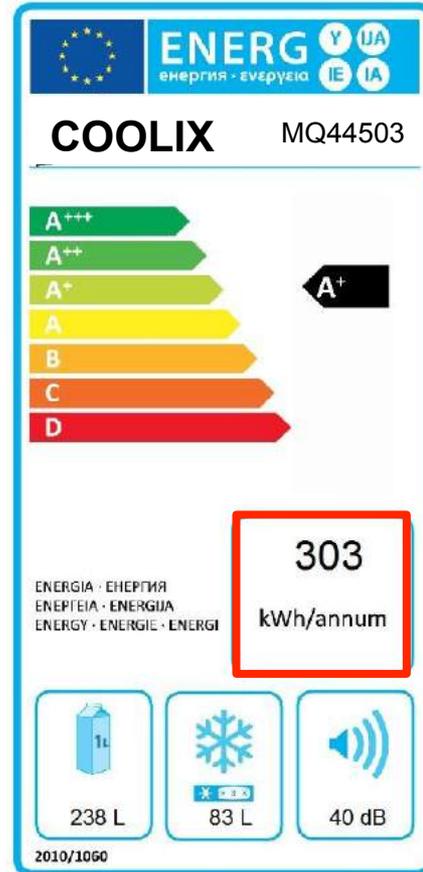
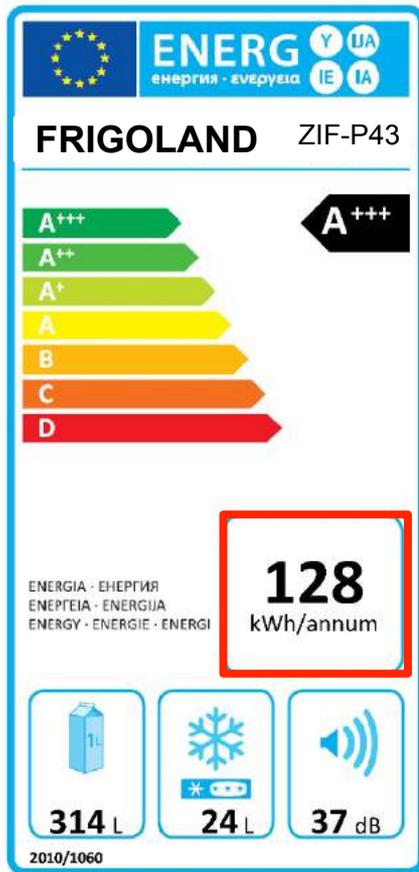
Consommation d'électricité annuelle
=
énergie électrique absorbée pendant 1 an

- Energie exprimée généralement en kWh
FrigoLand : 128 kWh = 460 800 000 J
Coolix : 303 kWh = 1 090 800 000 J
- Un français consomme ~ 7000 kWh par an
FrigoLand : 1,8 % pour le réfrigérateur
Coolix : 4,3 % pour le réfrigérateur



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Etiquette énergétique (ex d'un réfrigérateur combiné à froid statique)



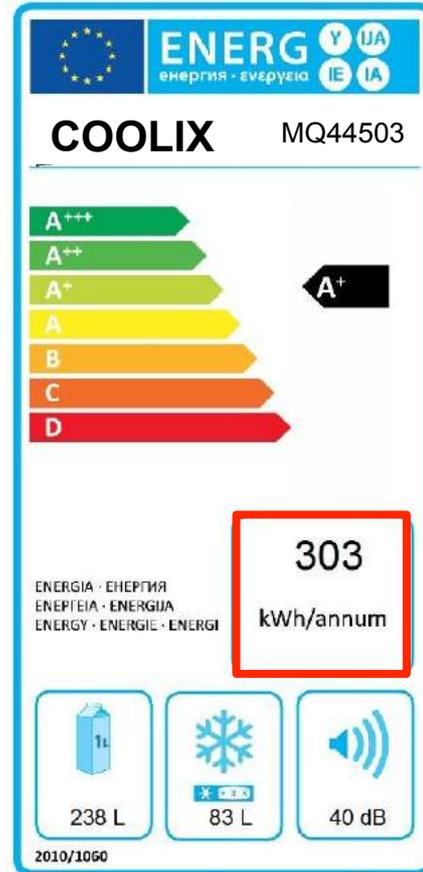
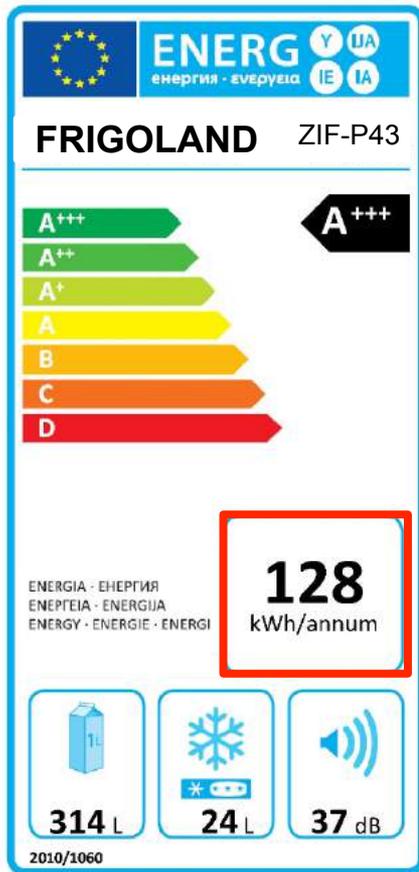
Conversion en euros
0,16€ le kWh

- Consommation annuelle
FrigoLand : 20,48 € / an
Coolix : 48,48€ / an
- Consommation sur sa durée de vie
(15 ans de durée de vie avec prix de l'électricité constant)
FrigoLand : 307,20 €
Coolix : 727,20 €



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Etiquette énergétique (ex d'un réfrigérateur combiné à froid statique)



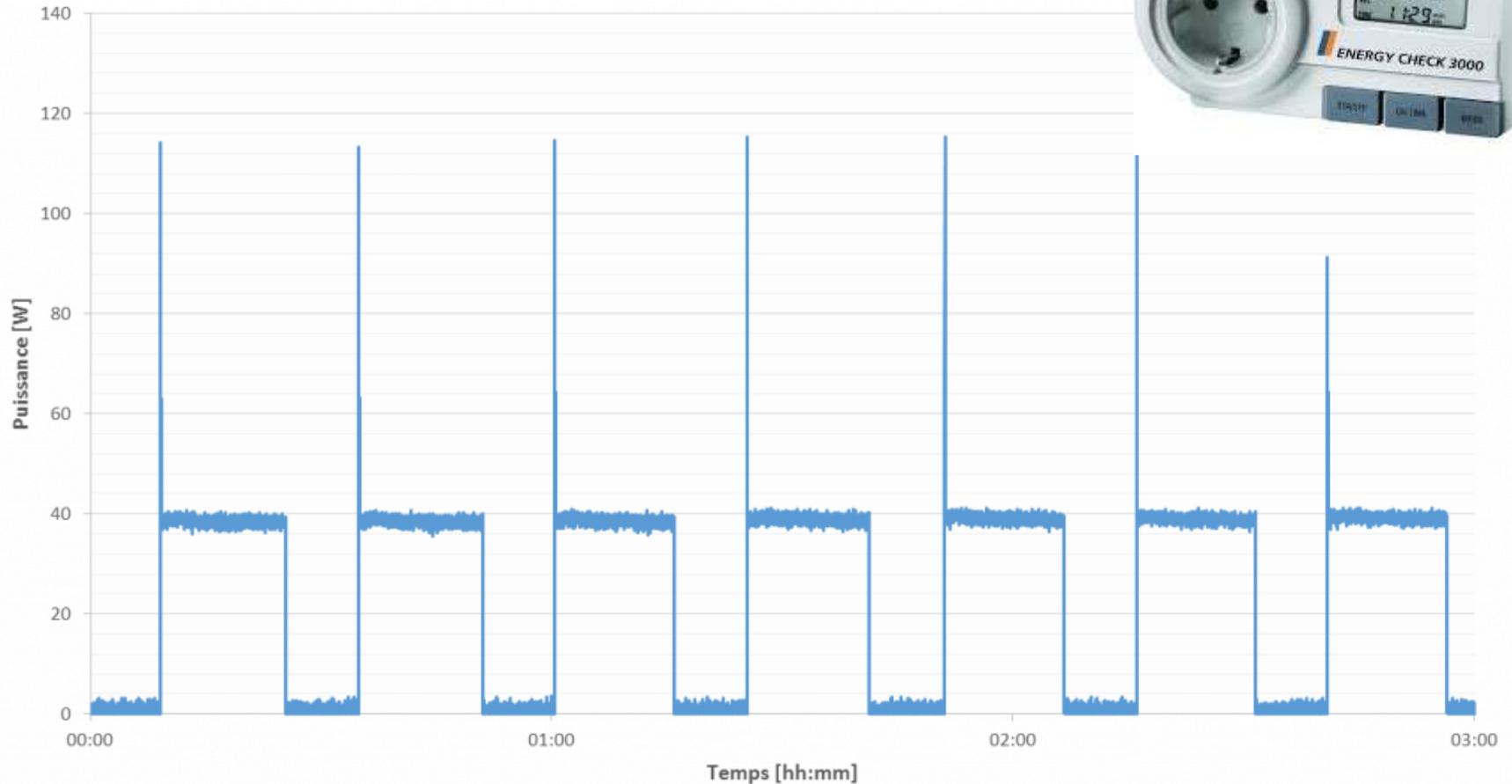
Conversion en équivalent CO₂
74 g/kWh en 2017 [source : RTE]

- Prise en compte uniquement des émissions indirectes (production de l'électricité consommée par le réfrigérateur)
 - Emissions directes (relâchement dans l'atmosphère de fluide frigorigène) non pris en compte.
-
- Emission de CO₂ annuelle
FrigoLand : 9,5 kg de CO₂ / an
Coolix : 22,4 kg de CO₂ / an



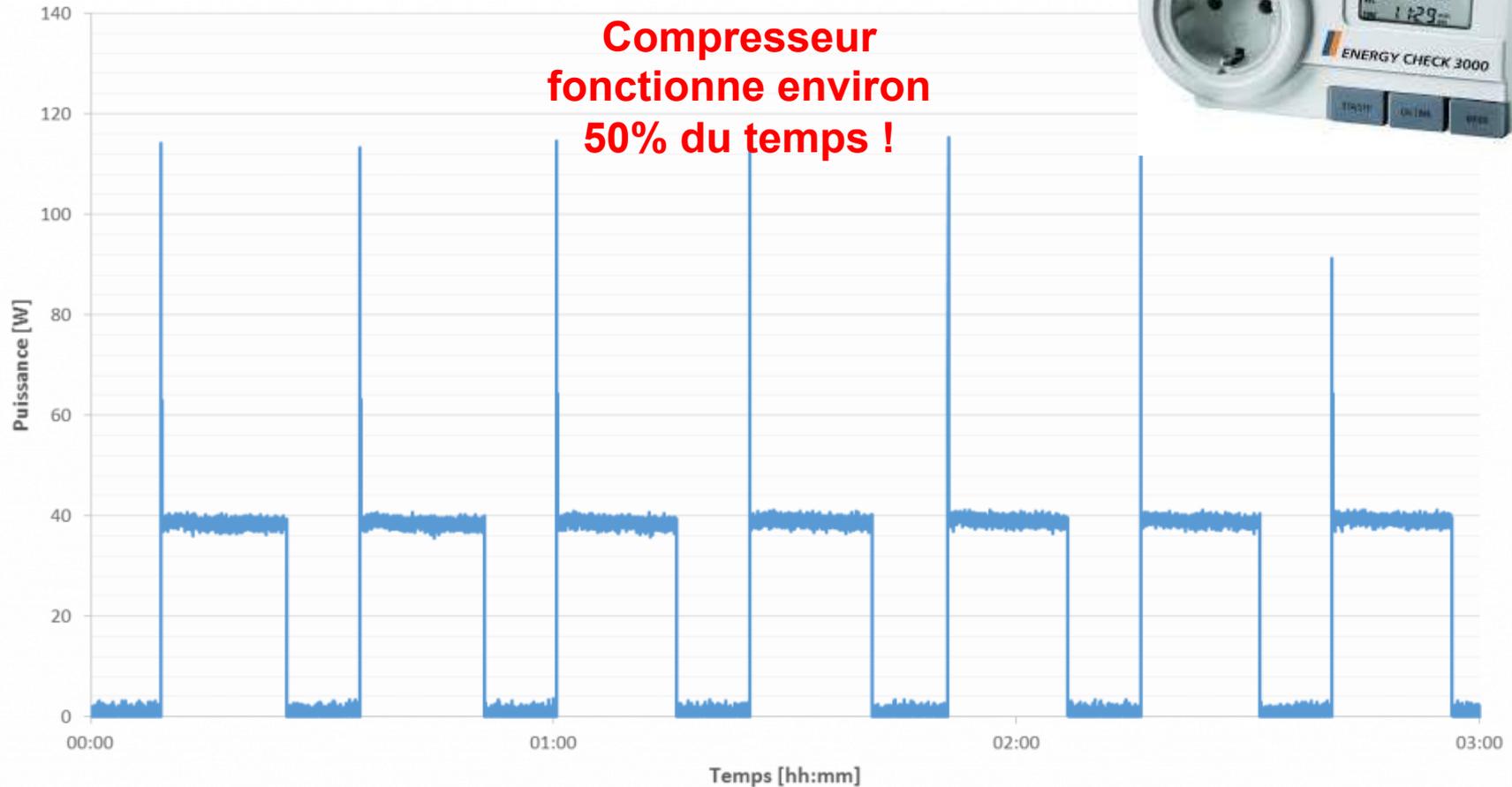
Aspect énergétique des réfrigérateurs

Mesure de la puissance électrique



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Mesure de la puissance électrique

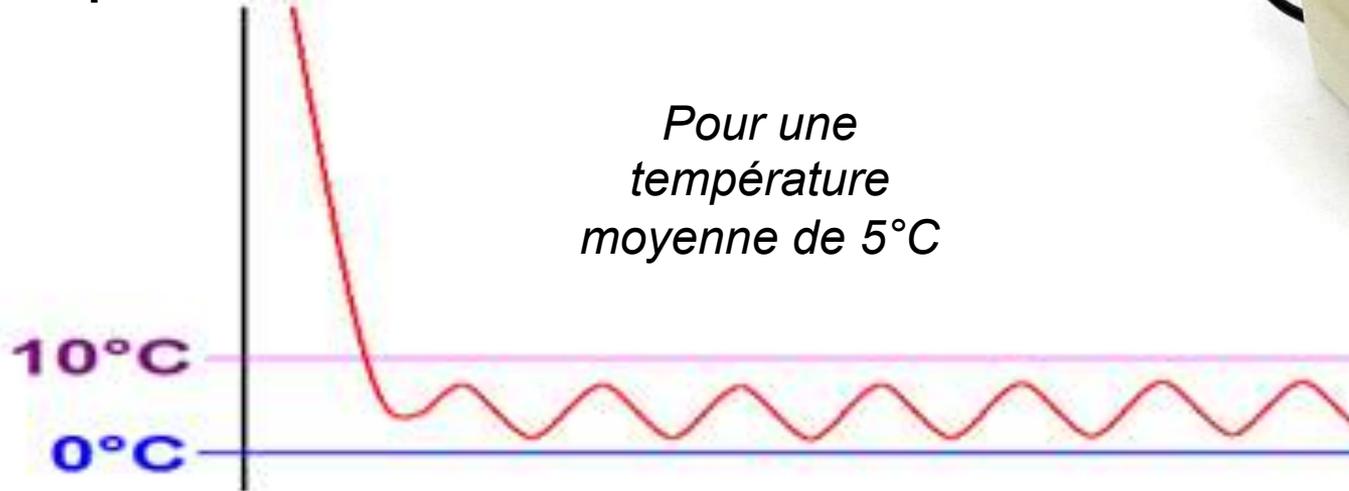


Aspect énergétique des réfrigérateurs

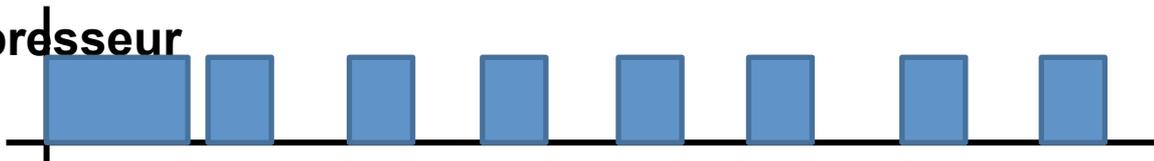
Régulation tout-ou-rien avec un thermostat

Température de l'air à l'intérieur de
compartiment

*Pour une
température
moyenne de 5°C*

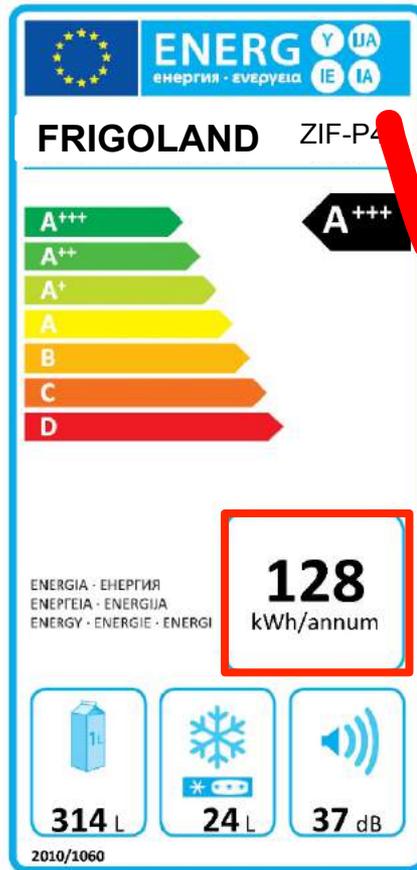


Marche / arrêt
du
compresseur



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Consommation annoncée vs consommation mesurée



VS



On trouve un écart.
Expérience réalisée chez moi : 20% de plus.

Dépend des conditions d'utilisation.

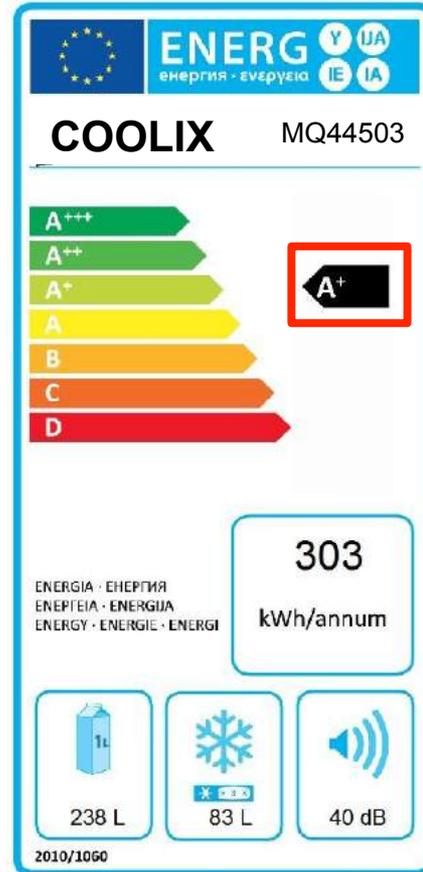
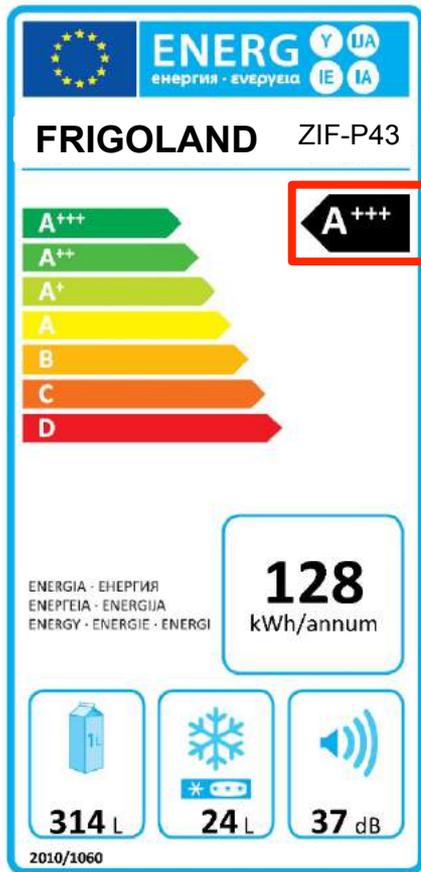
En particulier :

- Température de consigne du réfrigérateur
- Température de l'air extérieur



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Vers le notion d'efficacité



Est-ce que ces réfrigérateurs sont énergétiquement performant ?



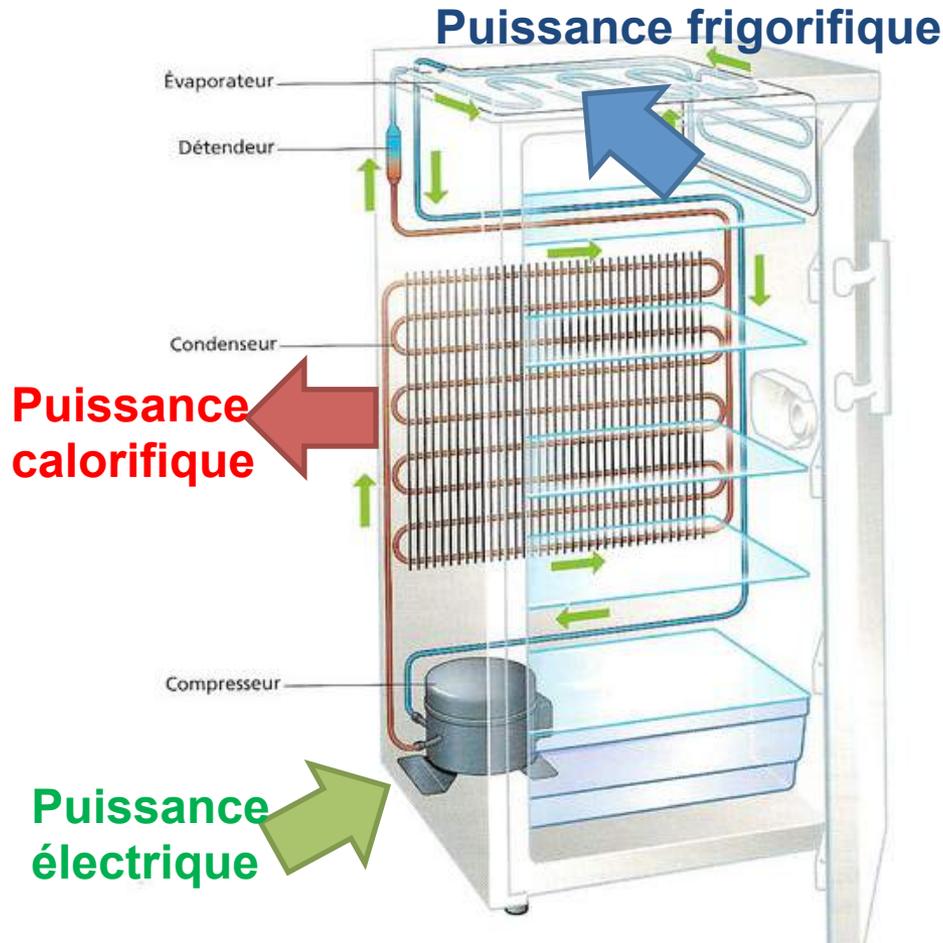
Besoin d'un nouvel indicateur indépendant de la capacité

La classe énergétique
Comment est elle calculée ?



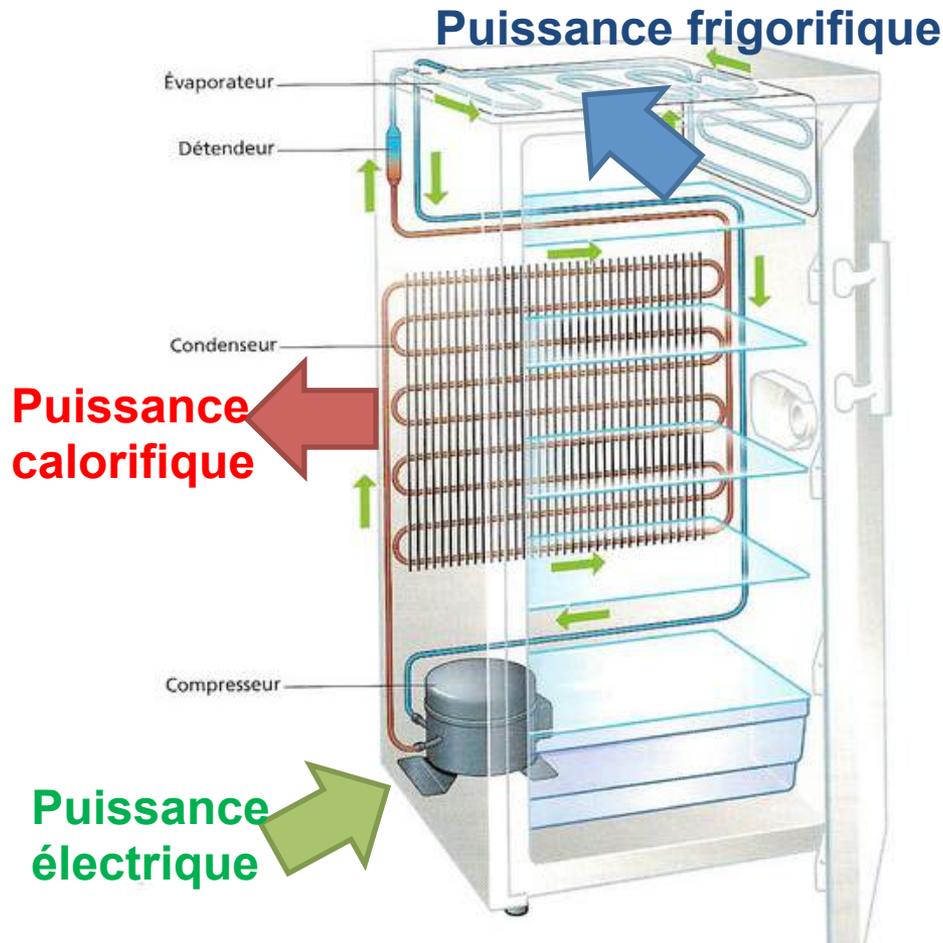
Aspect énergétique des réfrigérateurs

Les différentes puissances mises en jeu



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Conservation des puissances



En régime permanent,
il y a conservation des
puissances :

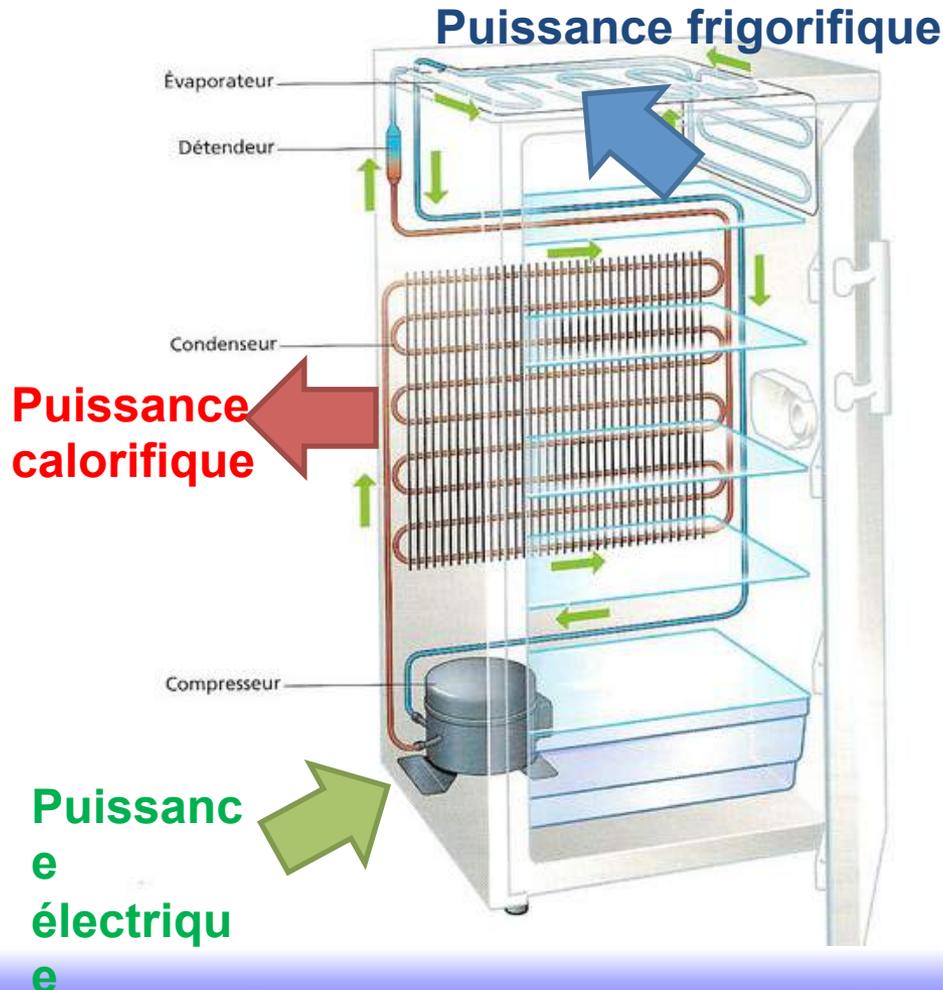
Somme des entrées
=
Somme des sorties

Puissance
frigorifique
+
Puissance
électrique
=
Puissance
calorifique



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Efficacité du réfrigérateur



$$\text{Efficacité} = \frac{\text{ce que l'on veut}}{\text{ce que l'on doit apporter}}$$

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{puissance frigorifique}}{\text{puissance électrique}}$$

*Aussi notée EER en anglais
(Energy Efficient Ratio)*



Aspect énergétique des réfrigérateurs

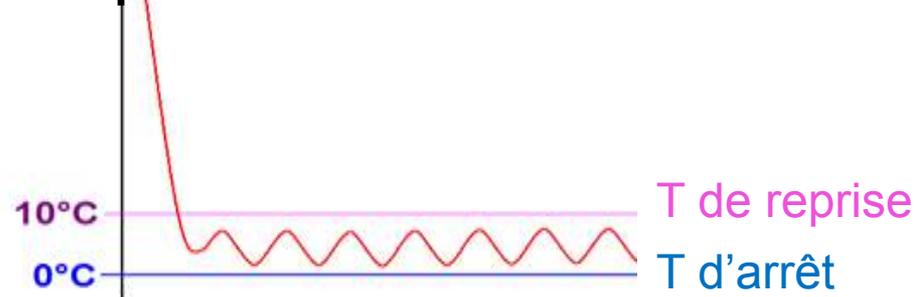
Mesure de la puissance frigorifique



On place un thermomètre à l'intérieur du réfrigérateur.

La puissance est proportionnelle à l'évolution temporelle de la température de l'air contenu à l'intérieur du réfrigérateur.

Température de l'air à l'intérieur de compartiment



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Estimation théorique de la puissance frigorifique

La puissance frigorifique doit compenser les apports de chaleur dans le réfrigérateur / congélateur :

Proportionnelle à
la capacité du
réfrigérateur

- La température initiale des denrées
- La « respiration » des denrées
- Ouverture de la porte du réfrigérateur / congélateur
- Transmission de chaleur de l'extérieur du réfrigérateur vers l'intérieur

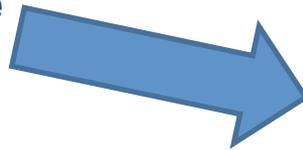


Aspect énergétique des réfrigérateurs

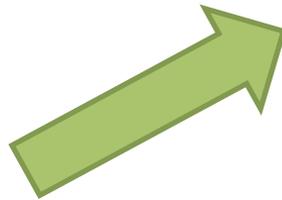
Retour sur l'efficacité du réfrigérateur

Ordre de grandeur de l'efficacité = puissance frigorifique / puissance électrique = 3

**Puissance
frigorifique
(66,7%)**



**Puissance
électrique
(33,3%)**



**Puissance
calorifique
(100%)**



+ l'efficacité est grande, + le réfrigérateur est économe.



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'efficacité de Carnot



Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, 1796 - 1832

En 1824, Sadi Carnot annonce que
« l'efficacité d'une machine thermique réelle ne peut pas dépasser celle d'une machine thermique parfaite ».

Efficacité réelle \leq Efficacité de Carnot



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'efficacité de Carnot



Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, 1796 - 1832

En 1824, Sadi Carnot annonce que
« l'efficacité d'une machine thermique réelle ne peut pas dépasser celle d'une machine thermique parfaite ».

Efficacité réelle \leq Efficacité de Carnot

$$= \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

avec

- TC « température chaude » = température extérieur du réfrigérateur
 - TF « température froide » = température intérieur du réfrigérateur
- en Kelvin



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'efficacité de Carnot

$$\text{Efficacité de Carnot} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

On maintient la température extérieure T_C à $20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$.
On fait varier la température intérieure T_F .

T_F en degré Celsius	T_F en Kelvin	Efficacité de Carnot
-10°C	263 K	8,8
0°C	273 K	13,6
10°C	283 K	28,3
20°C	294 K	infini

+ la température intérieure est basse,
+ l'efficacité énergétique est mauvaise.



Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, 1796 - 1832



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'efficacité de Carnot

$$\text{Efficacité de Carnot} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

On maintient la température intérieure à T_C à $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$.
On fait varier la température extérieure T_C .

T_C en degré Celsius	T_C en Kelvin	Efficacité de Carnot
0°C	273 K	Infini
10°C	283 K	27,3
20°C	293 K	13,7
30°C	303 K	9,1

+ la température extérieure est haute,
+ l'efficacité énergétique est mauvaise.



Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, 1796 - 1832



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'efficacité de Carnot

Conclusion de Sadi Carnot

Pour avoir la meilleure efficacité, il faut que la température intérieure et extérieure soit les plus proches possibles.

- Pas mettre trop basse la température à l'intérieur du réfrigérateur. Règle d'usage :
 - 5°C pour le compartiment de réfrigération
 - -18°C pour le compartiment de congélation
- Mettre le réfrigérateur dans un local le plus frais possible au dessus de la température de consigne (garage, cellier, ...).

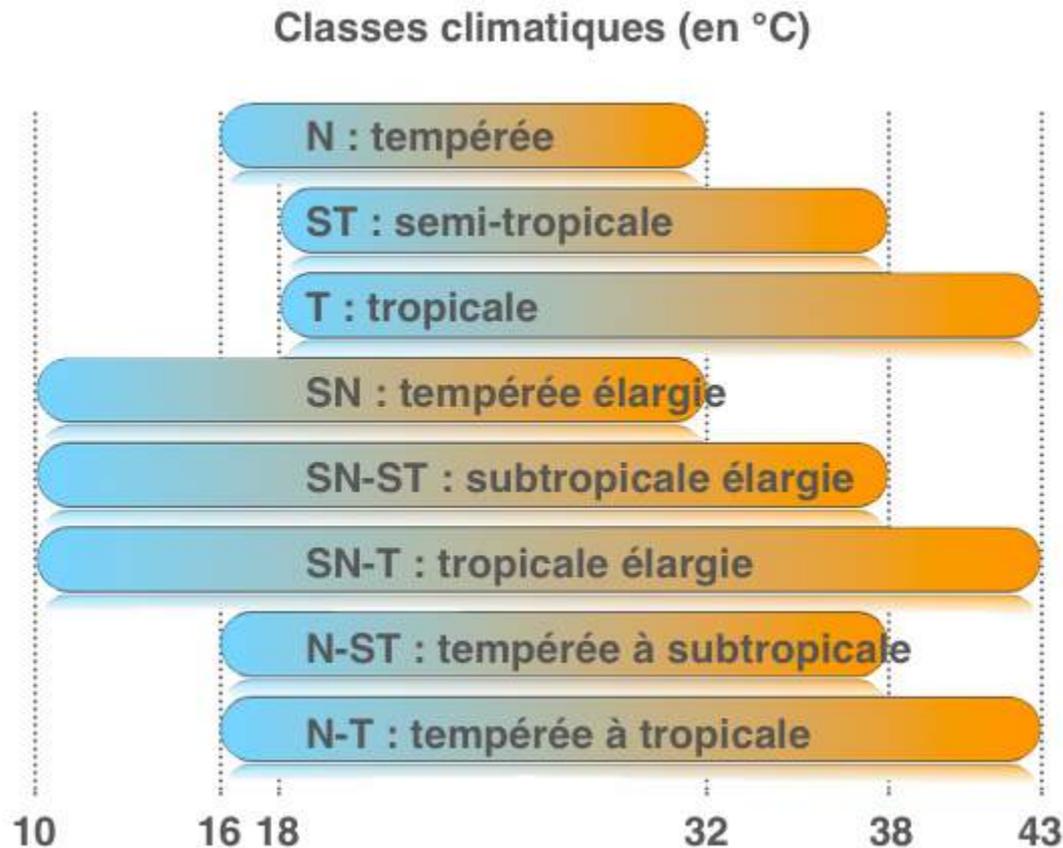


Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, 1796 - 1832



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Classe climatique d'un réfrigérateur



Intervalle de température du lieu où se trouve le réfrigérateur pour que le réfrigérateur fonctionne de manière optimale

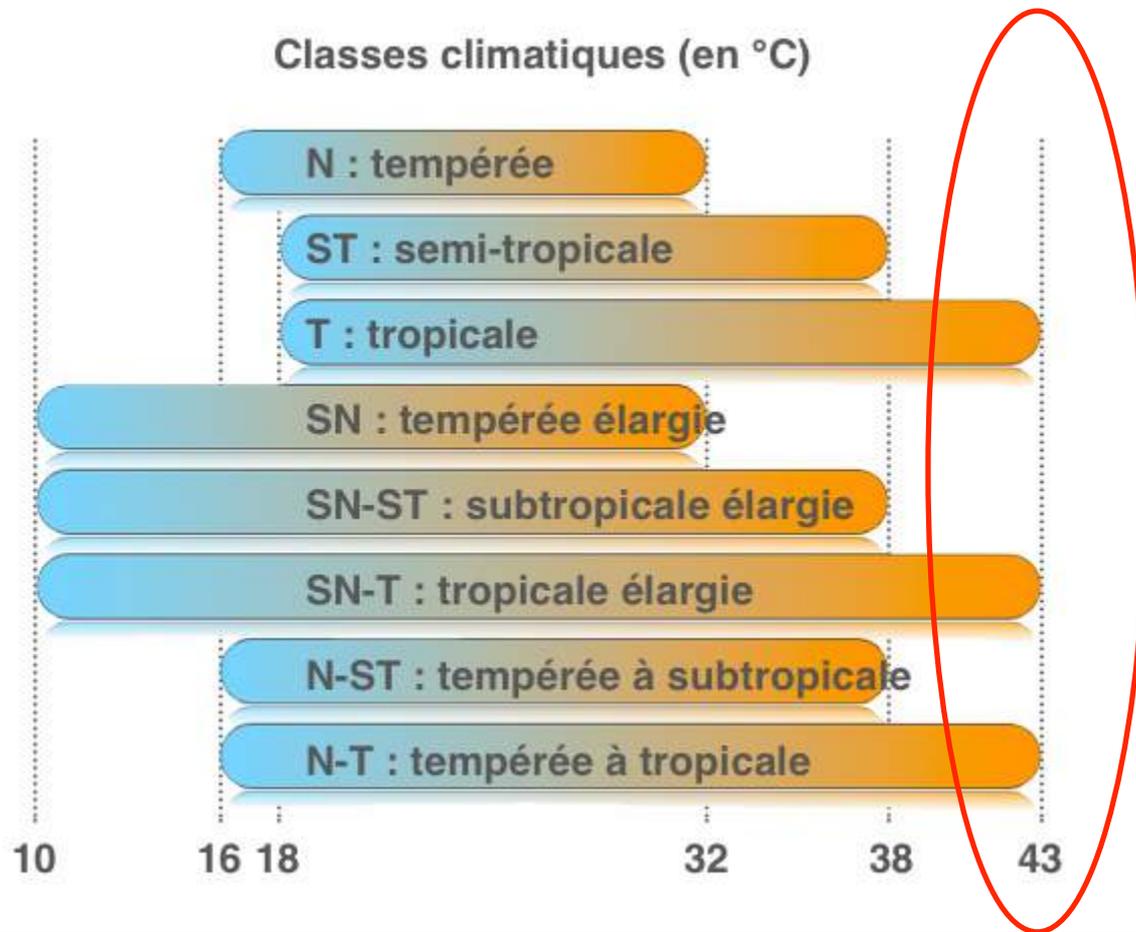
Meilleure classe : SN-T.

Généralement, on a des réfrigérateurs de classe N.



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Classe climatique d'un réfrigérateur



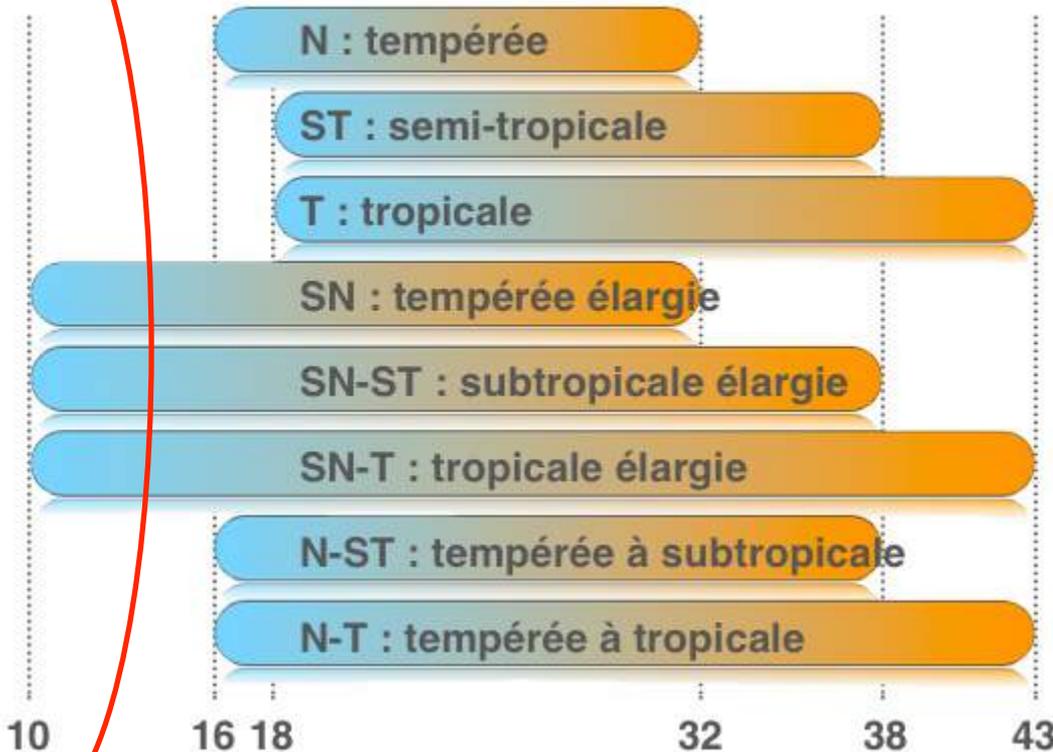
Compatible avec la conclusion de Sadi Carnot pour les hautes températures



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Classe climatique d'un réfrigérateur

Classes climatiques (en °C)



PAS compatible avec la conclusion de Sadi Carnot pour les basses températures

Pourquoi ?

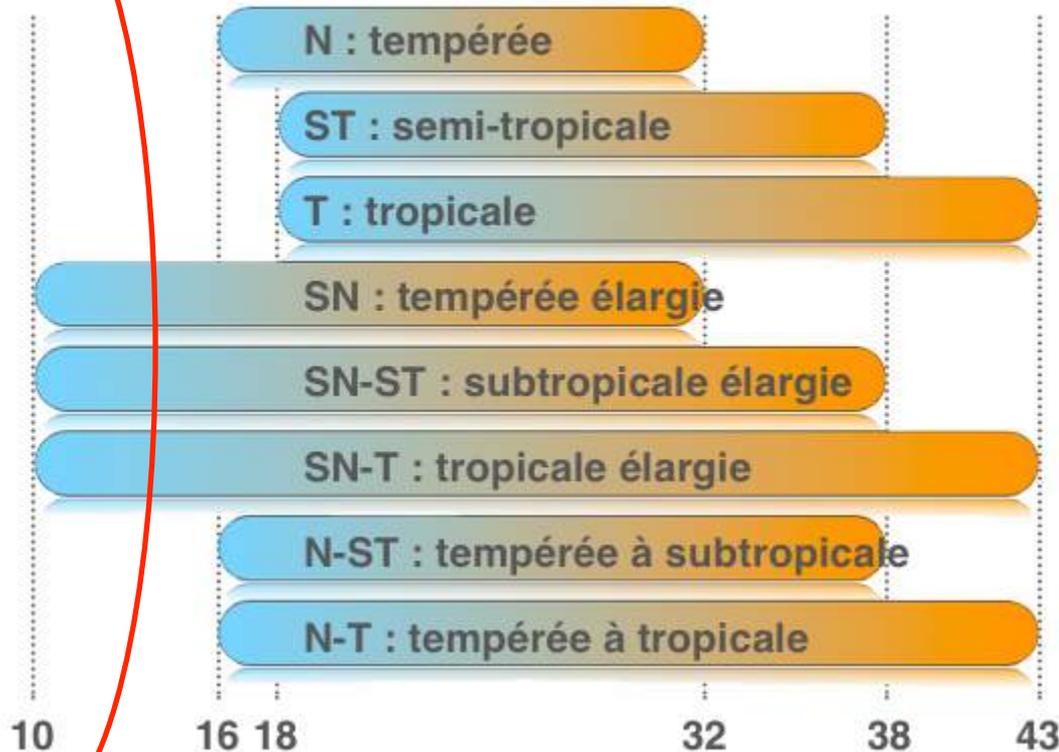
- Température de reprise du thermostat est de l'ordre de 10°C.
- Condensation à l'extérieur du réfrigérateur :
 - Problème pour la peinture
 - Problème pour les composants électriques



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Classe climatique d'un réfrigérateur

Classes climatiques (en °C)



PAS compatible avec la conclusion de Sadi Carnot pour les basses températures

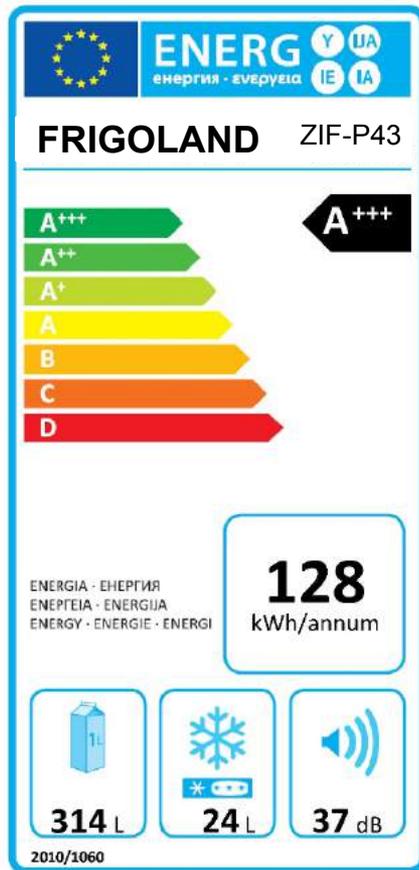


NE PAS METTRE SON REFRIGERATEUR DANS UNE PIECE NON ISOLEE.



Aspect énergétique des réfrigérateurs

L'IEE d'un réfrigérateur (Indice d'Efficacité Energétique)



Pour les réfrigérateurs, la réglementation européenne n'utilise pas l'efficacité pour fixer les classes d'efficacité énergétiques, mais la notion d'EEI.

Classes d'efficacité énergétique	Indices d'efficacité énergétique IEE
A+++	$EEI < 22$
A++	$22 \leq EEI < 33$
A+	$33 \leq EEI < 42$
A	$42 \leq EEI < 55$
B	$55 \leq EEI < 75$
C	$75 \leq EEI < 95$
D	$EEI \geq 95$

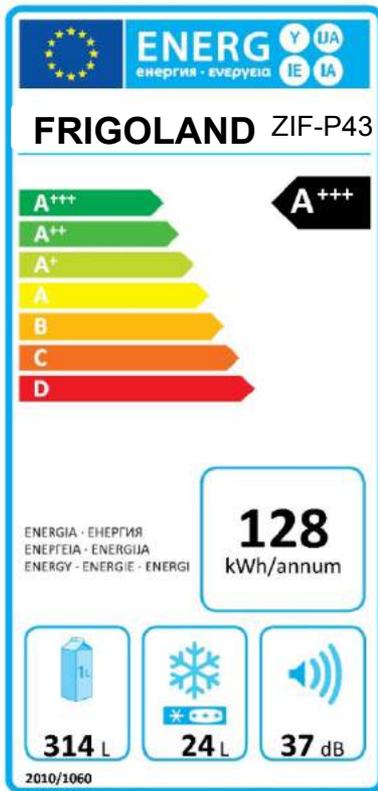
EEI (sans dimension) est calculé à partir des capacités de réfrigération et congélation, et de la consommation électrique annuelle.



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Méthode de calcul de l'IEE par le règlement européen n°1060/2010 du 28 septembre 2010

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32010R1060>



- Volume équivalent : $V_{eq} = V_{réfrigération} + 2,58 \times V_{congélation} = 401,72 \text{ L}$
 - Consommation d'énergie annuelle standard :
 $SAEc_{congélation} = V_{eq} \times 0,777 + 303 = 615,1 \text{ kWh}$
 - $IEE = \text{consommation mesurée} / SAEc \times 100 = 20,8$
- D'après tableau précédent, classe d'énergie = A+++



Aspect énergétique des réfrigérateurs

Situation actuelle en France

A D E M E



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

En 2015	France	Allemagne	Italie	Moyenne EU
Réfrigérateurs : Part des ventes meilleure classe (A+++)	0,6 %	16,2 %	3,6 %	5,2 %
Réfrigérateurs : Prix moyens				
- Toutes classes énergie confondues	434 €	501 €	526 €	470 €
- A+++	937 €	704 €	910€	732 €
Lave-linge : Part des ventes meilleure classe (A+++)	38,8 %	80,6 %	46,6 %	55,1%
Lave-linge : Prix moyens				
- Toutes classes énergie confondues	363	480	368	402
- A+++	453	511	438	473
Sèche-linge : Part des ventes meilleures classes (A+ à A+++)	16,9 %	75,1 %	92,8 %	46,8 %
Sèche-linge : Prix moyens				
- Toutes classes énergie confondues	369	559	628	475
- A+++	732	725	865	748

Tableau 1 – Part des ventes et prix moyens (source GfK)

https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2017/08/Synthese_Etude_Suivi_du_marche%CC%81_ventes_electromenager_2016.pdf

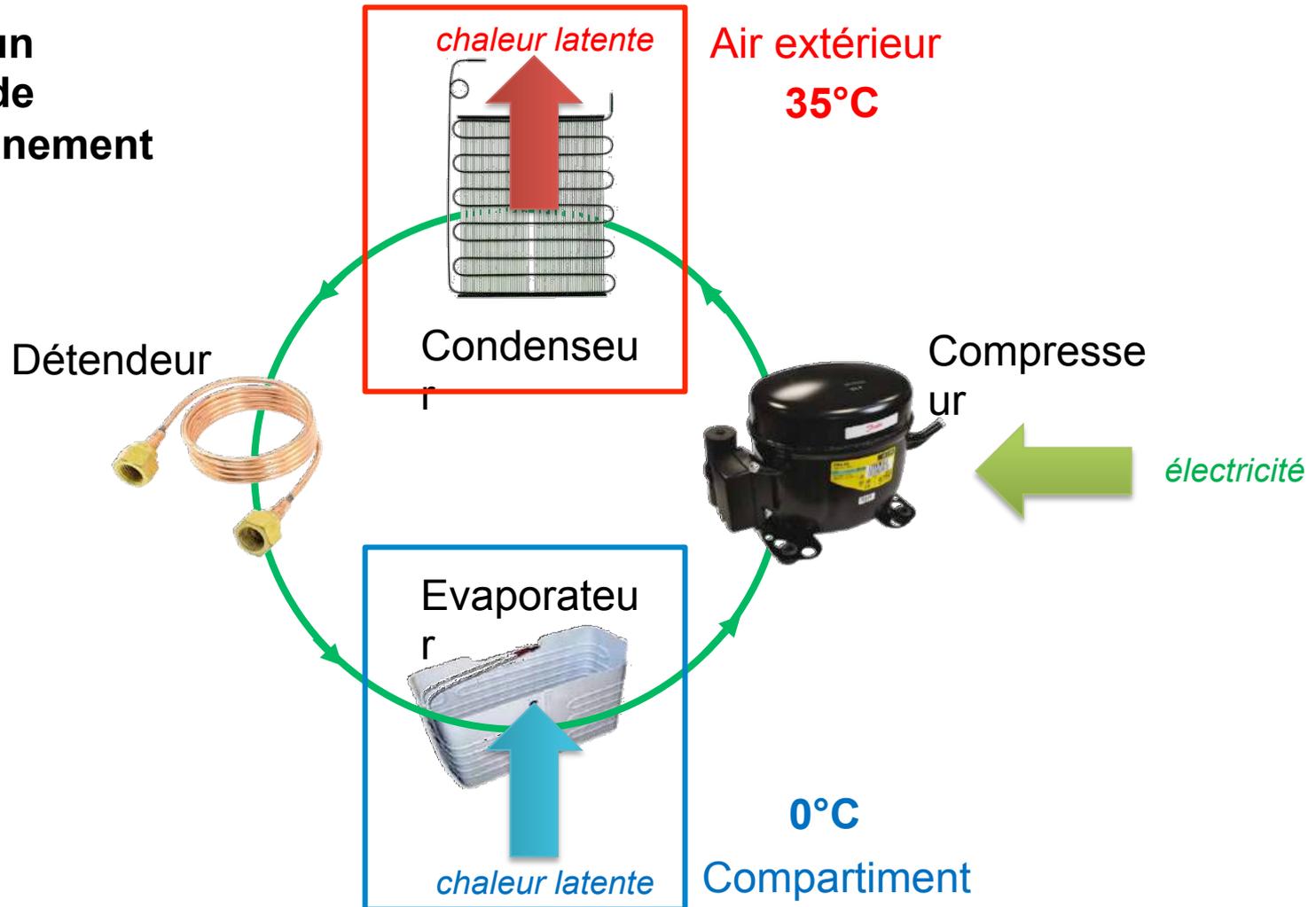


A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text 'Les fluides frigorigènes' in a blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing attention on the screen.

Les fluides frigorigènes

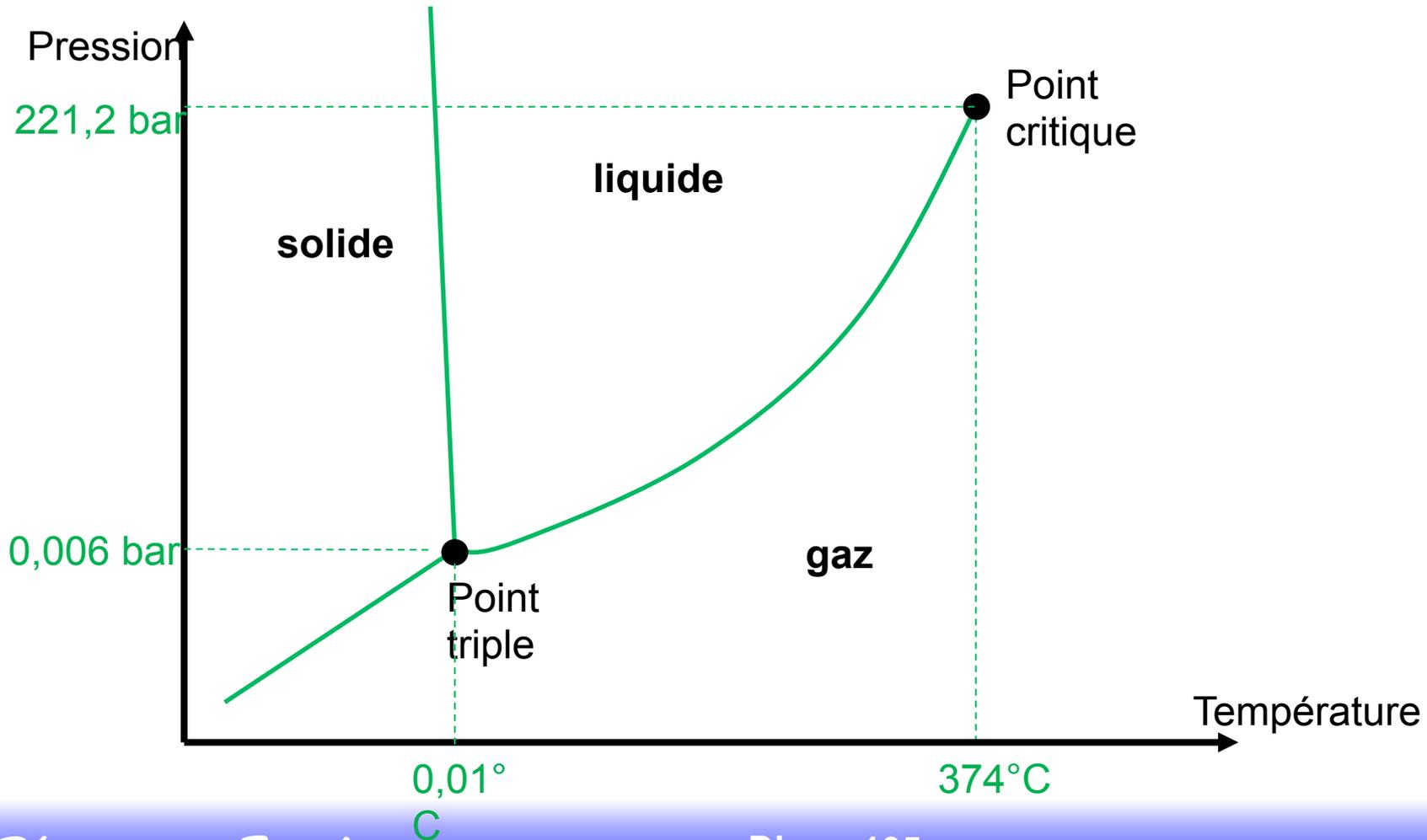
Les fluides frigorigènes

Fixons un régime de fonctionnement



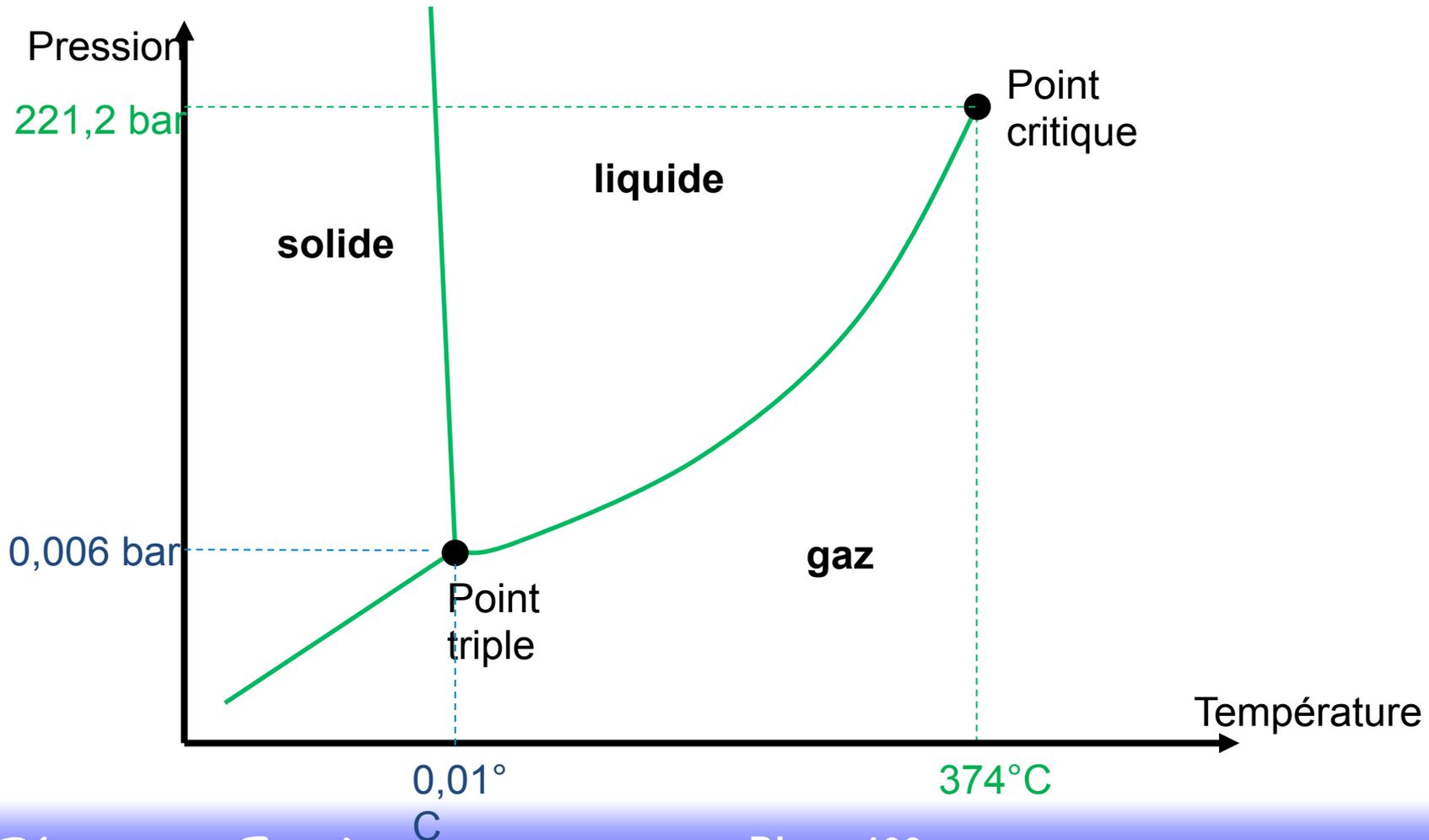
Les fluides frigorigènes

Pourquoi l'eau H_2O n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



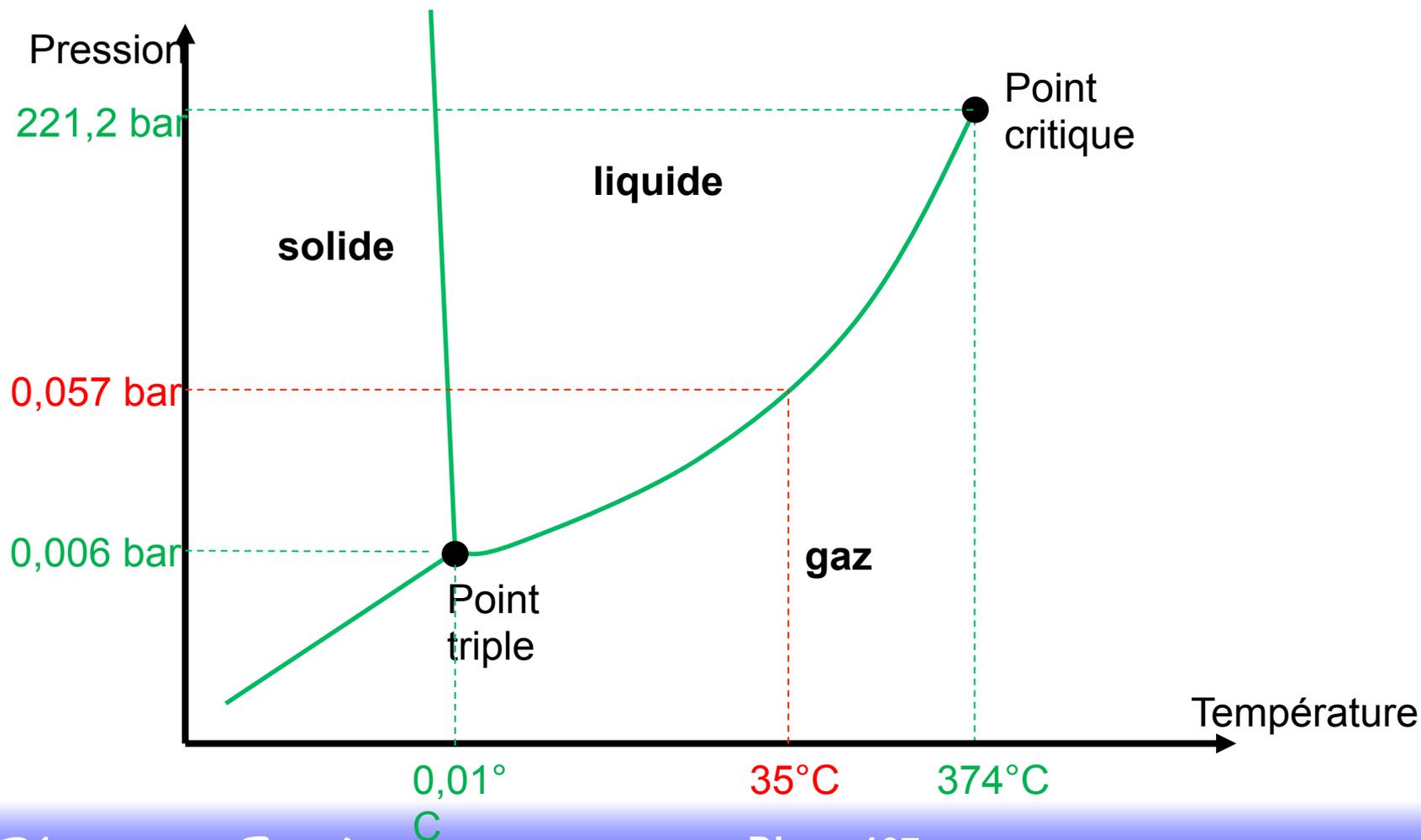
Les fluides frigorigènes

Pourquoi l'eau H_2O n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



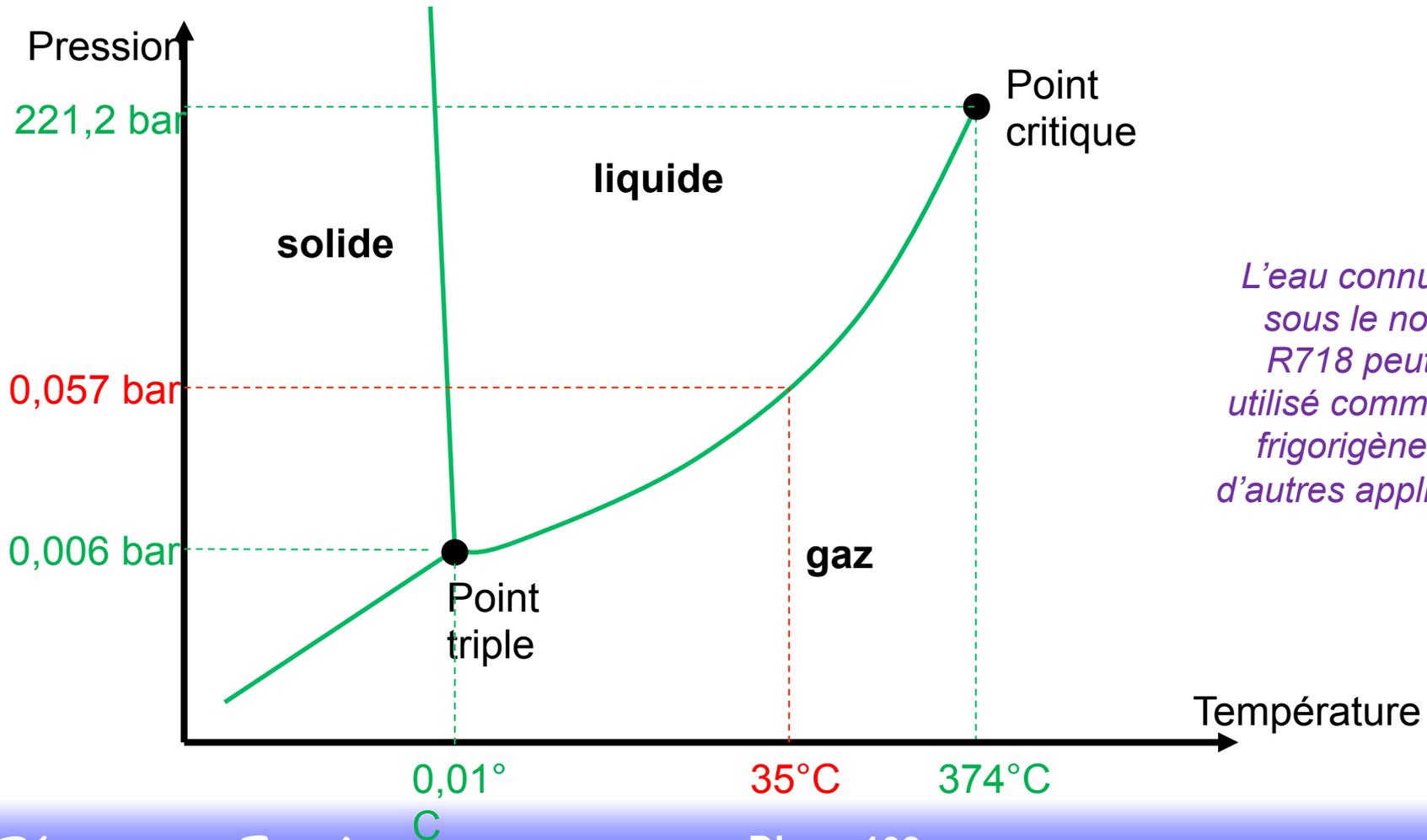
Les fluides frigorigènes

Pourquoi l'eau H_2O n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



Les fluides frigorigènes

Pourquoi l'eau H_2O n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?

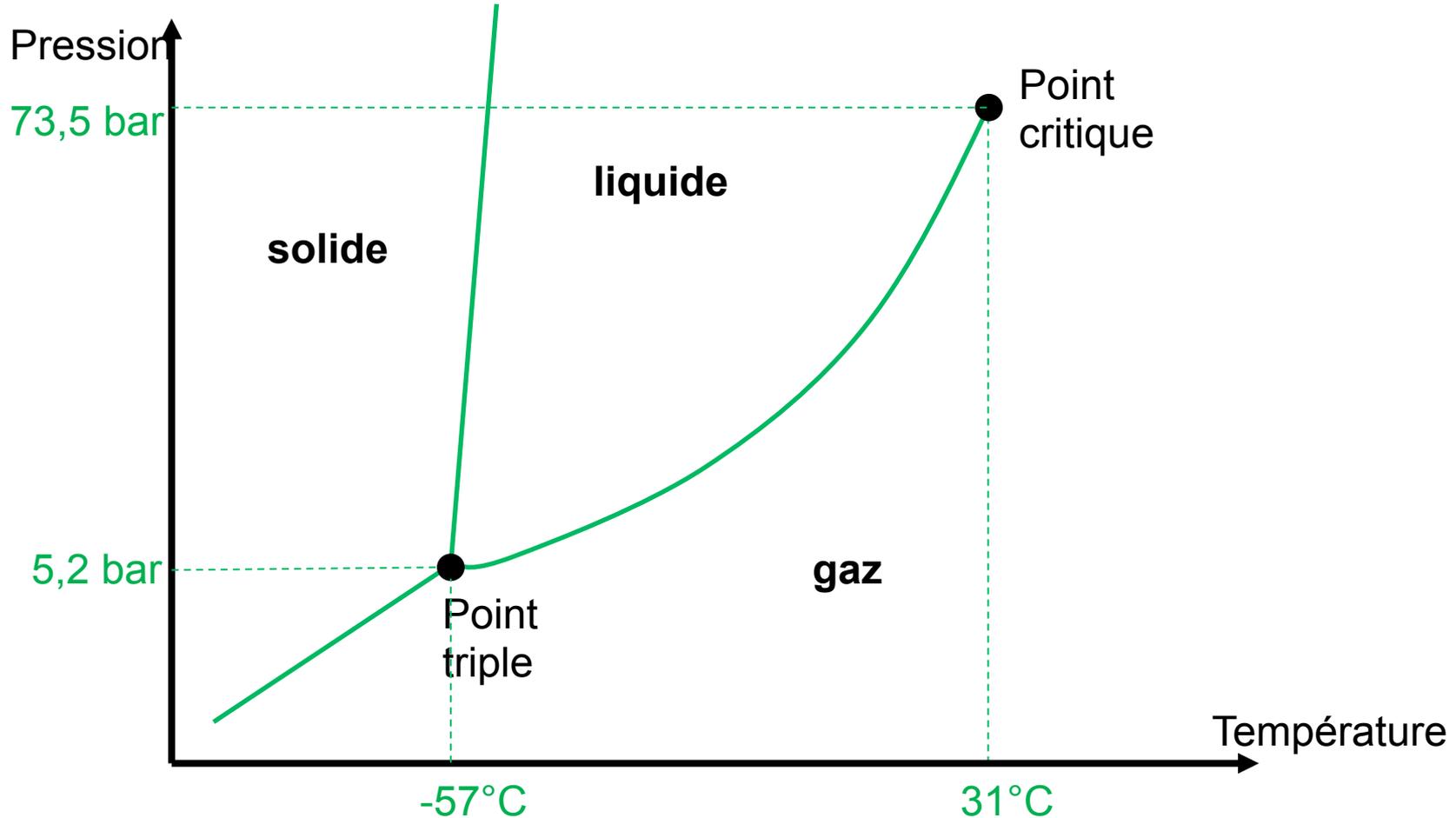


L'eau connue aussi sous le nom de R718 peut être utilisée comme fluide frigorigène dans d'autres applications.



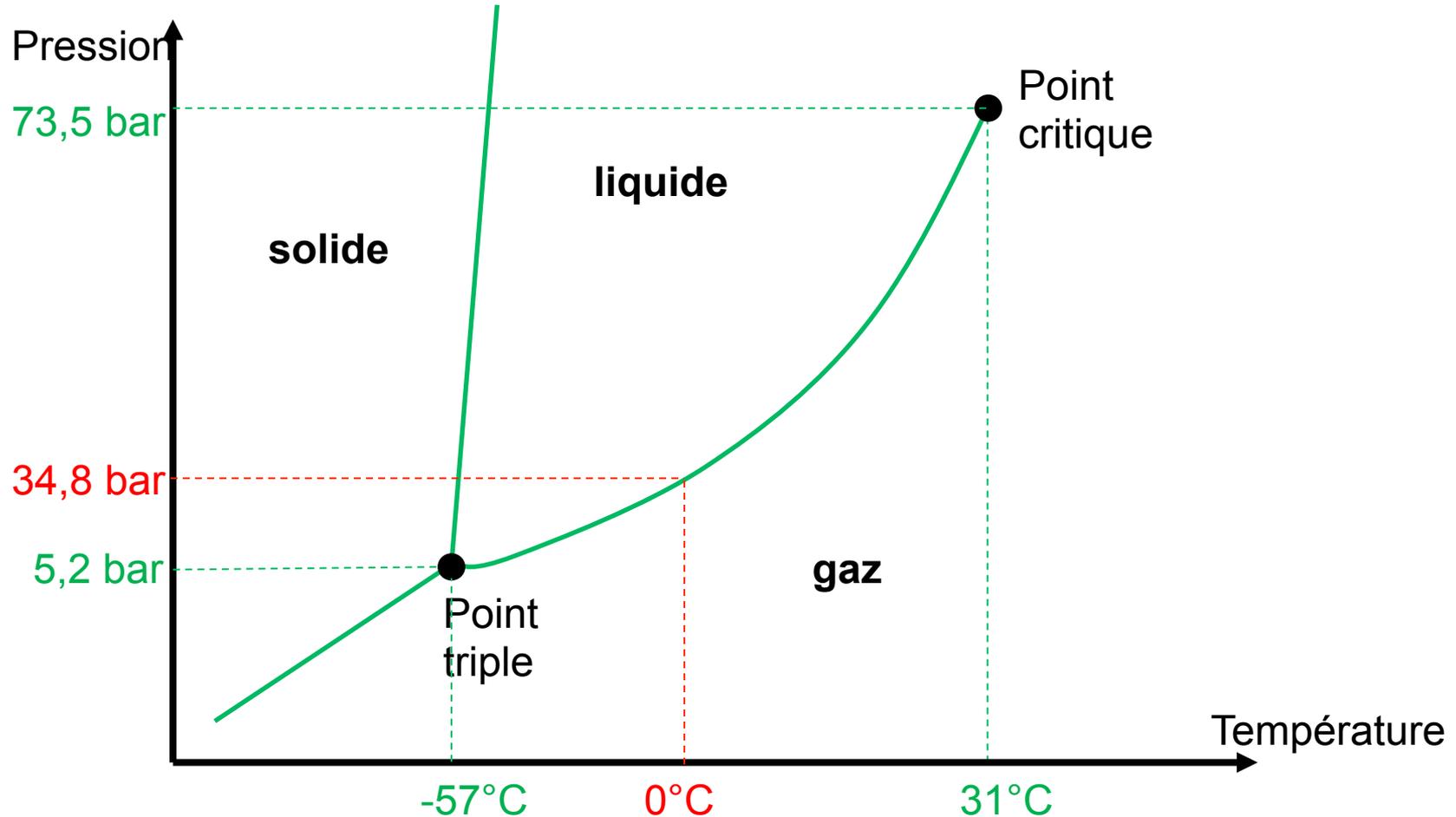
Les fluides frigorigènes

Pourquoi le CO_2 n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



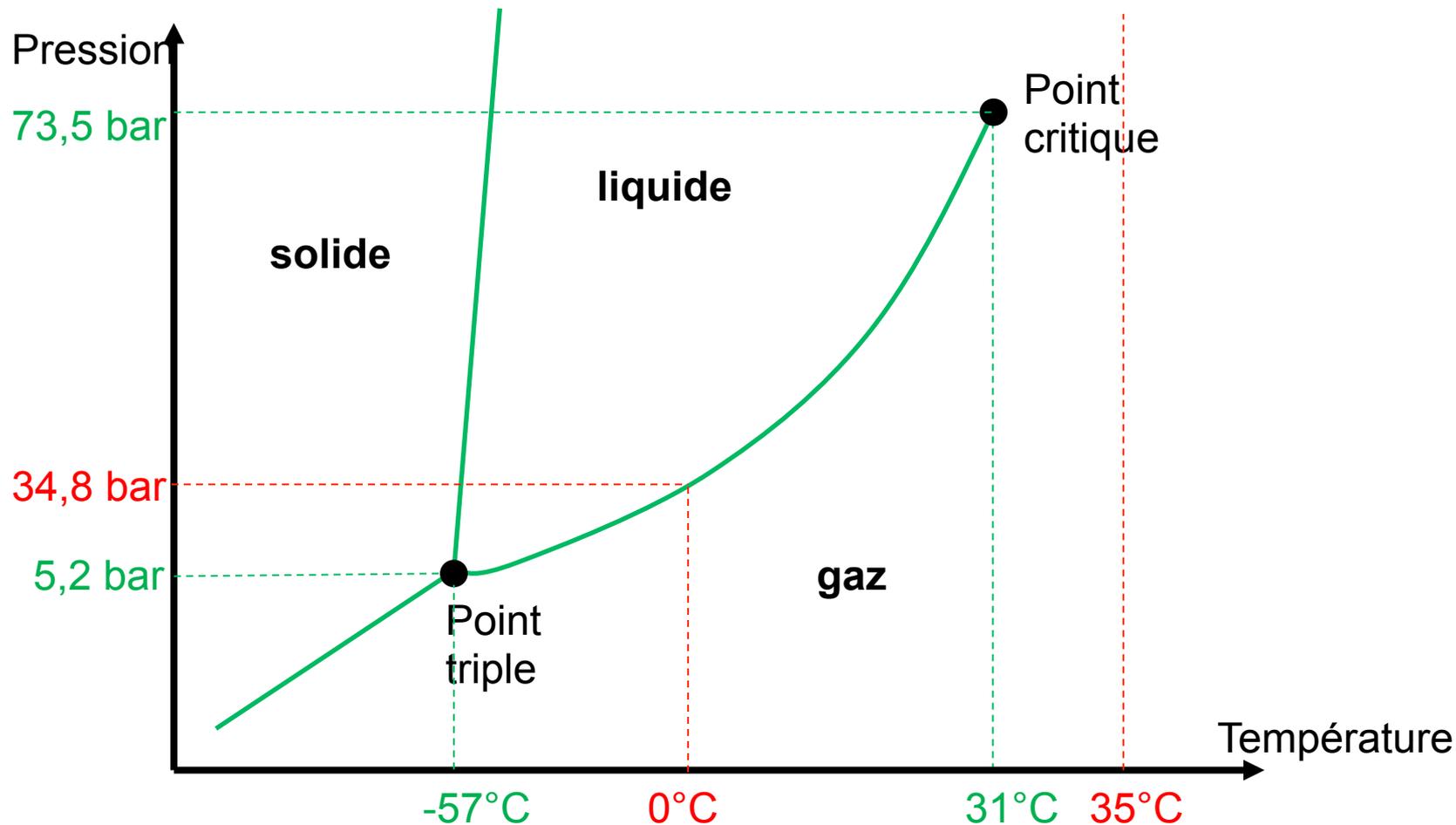
Les fluides frigorigènes

Pourquoi le CO_2 n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



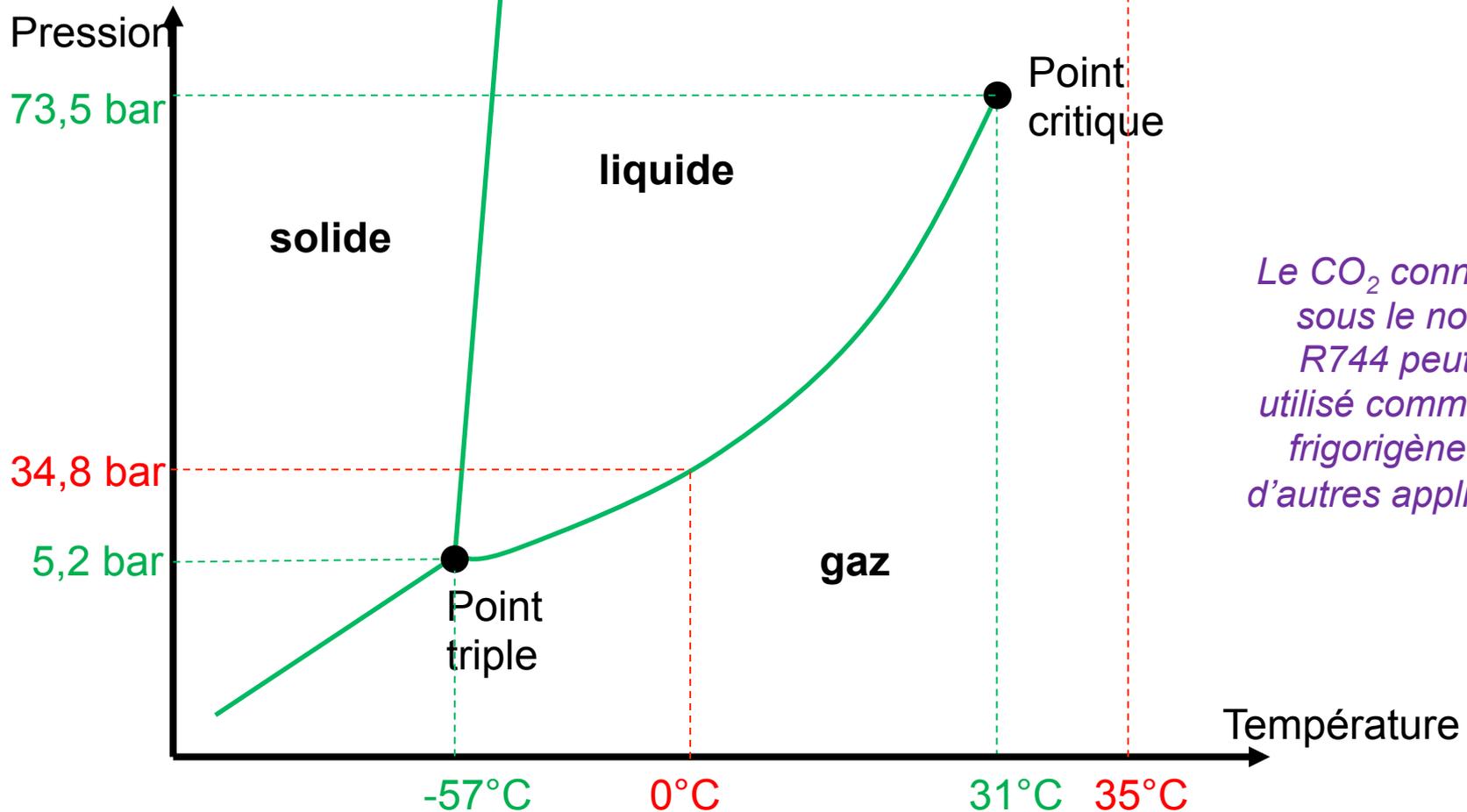
Les fluides frigorigènes

Pourquoi le CO_2 n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



Les fluides frigorigènes

Pourquoi le CO_2 n'est pas un bon fluide frigorigène pour un réfrigérateur ?



Le CO_2 connu aussi sous le nom de R744 peut être utilisé comme fluide frigorigène dans d'autres applications.



Les fluides frigorigènes

Critères thermodynamiques pour sélectionner un bon fluide frigorigène

- La température et pression du point critique et du point triple.
- Les pressions de condensation et de vaporisation pour les températures de fonctionnement choisies.
- La température de sortie après compression.
- « Bonnes » capacité calorifique et la chaleur latente.
- La stabilité thermique.



Les fluides frigorigènes

Critères de sécurité et d'environnement

Le fluide frigorigène peut être un problème en cas de relâchement dans l'atmosphère :

- **Construction du réfrigérateur** : première recharge en fluide frigorigène
- **Fonctionnement du réfrigérateur** : les fuites sont inévitables !
taux de fuite annuelle pour un réfrigérateur de l'ordre de 1% (durée de vie)
- **Destruction du réfrigérateur** : recyclage du fluide frigorigène ?



Les fluides frigorigènes

Critères de sécurité et d'environnement

Le fluide frigorigène peut être un problème en cas de relâchement dans l'atmosphère.

sécurité

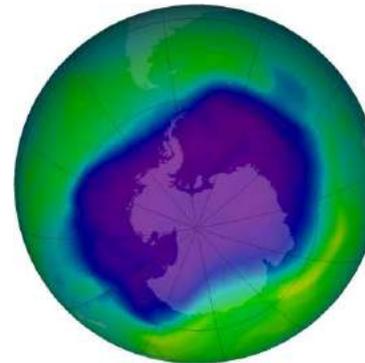
environnement

toxicité

inflammabilité

Couche d'ozone

Réchauffement
climatique



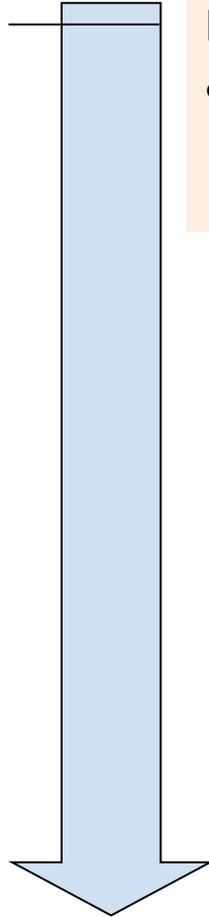
Les fluides frigorigènes

Historique des fluides frigorigènes

1834 : 1ère machine frigorifique
fonctionnant à l'éther éthylique
 $C_4H_{10}O$

Fluides inorganiques
& hydrocarbures

Dangereux pour l'homme



Les fluides frigorigènes

Historique des fluides frigorigènes

1834 : 1ère machine frigorifique
fonctionnant à l'éther éthylique
 $C_4H_{10}O$

Fluides inorganiques
& hydrocarbures

Dangereux pour l'homme

1931 : invention du CFC R12

1935 : invention du HCFC R22

CFC & HCFC



Les fluides frigorigènes

Historique des fluides frigorigènes

1834 : 1ère machine frigorifique
fonctionnant à l'éther éthylique
 $C_4H_{10}O$

Fluides inorganiques
& hydrocarbures

Dangereux pour l'homme

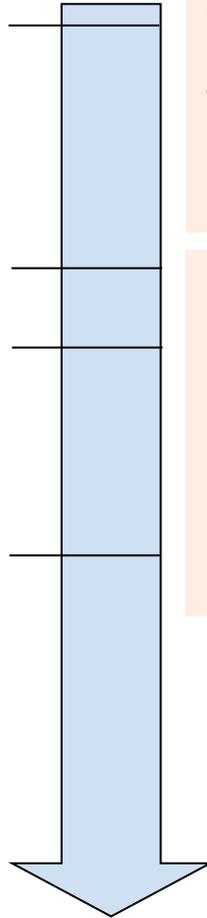
1931 : invention du CFC R12

1935 : invention du HCFC R22

CFC & HCFC

Nocif pour la
couche
d'ozone

1987 : protocole de Montréal



Les fluides frigorigènes

Historique des fluides frigorigènes

1834 : 1ère machine frigorifique
fonctionnant à l'éther éthylique
 $C_4H_{10}O$

Fluides inorganiques
& hydrocarbures

Dangereux pour l'homme

1931 : invention du CFC R12

1935 : invention du HCFC R22

CFC & HCFC

Nocif pour la
couche
d'ozone

1987 : protocole de Montréal

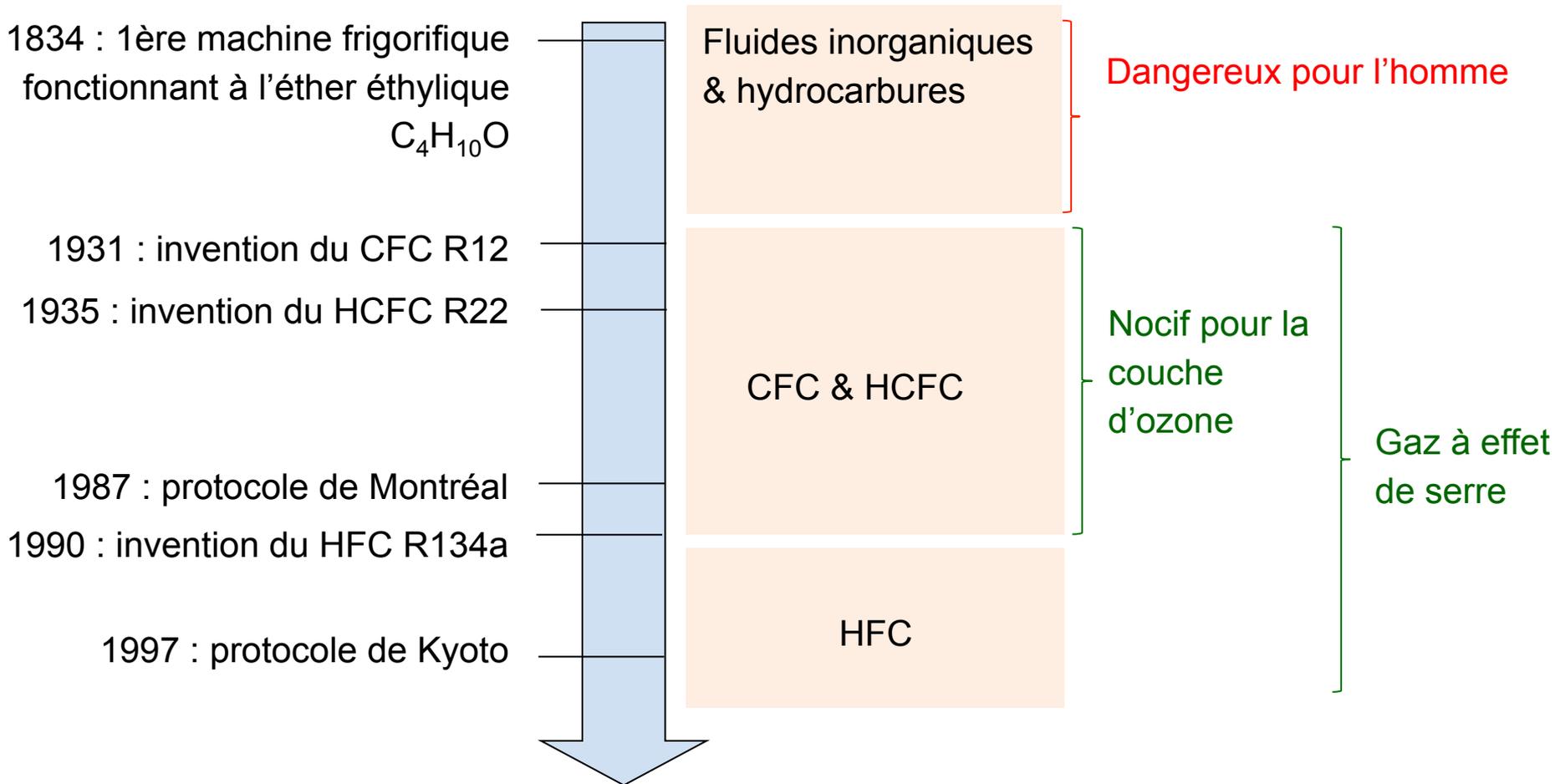
1990 : invention du HFC R134a

HFC



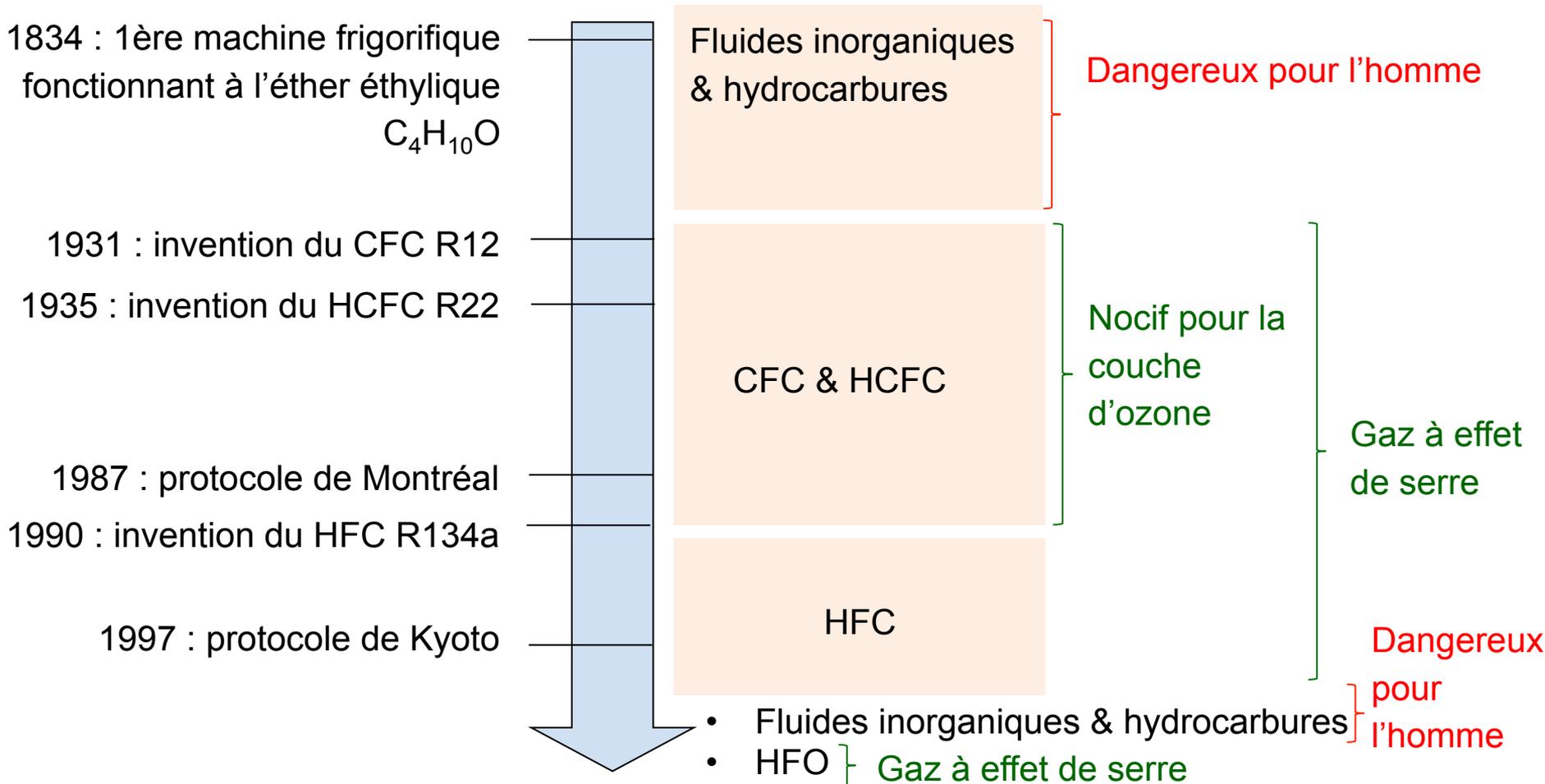
Les fluides frigorigènes

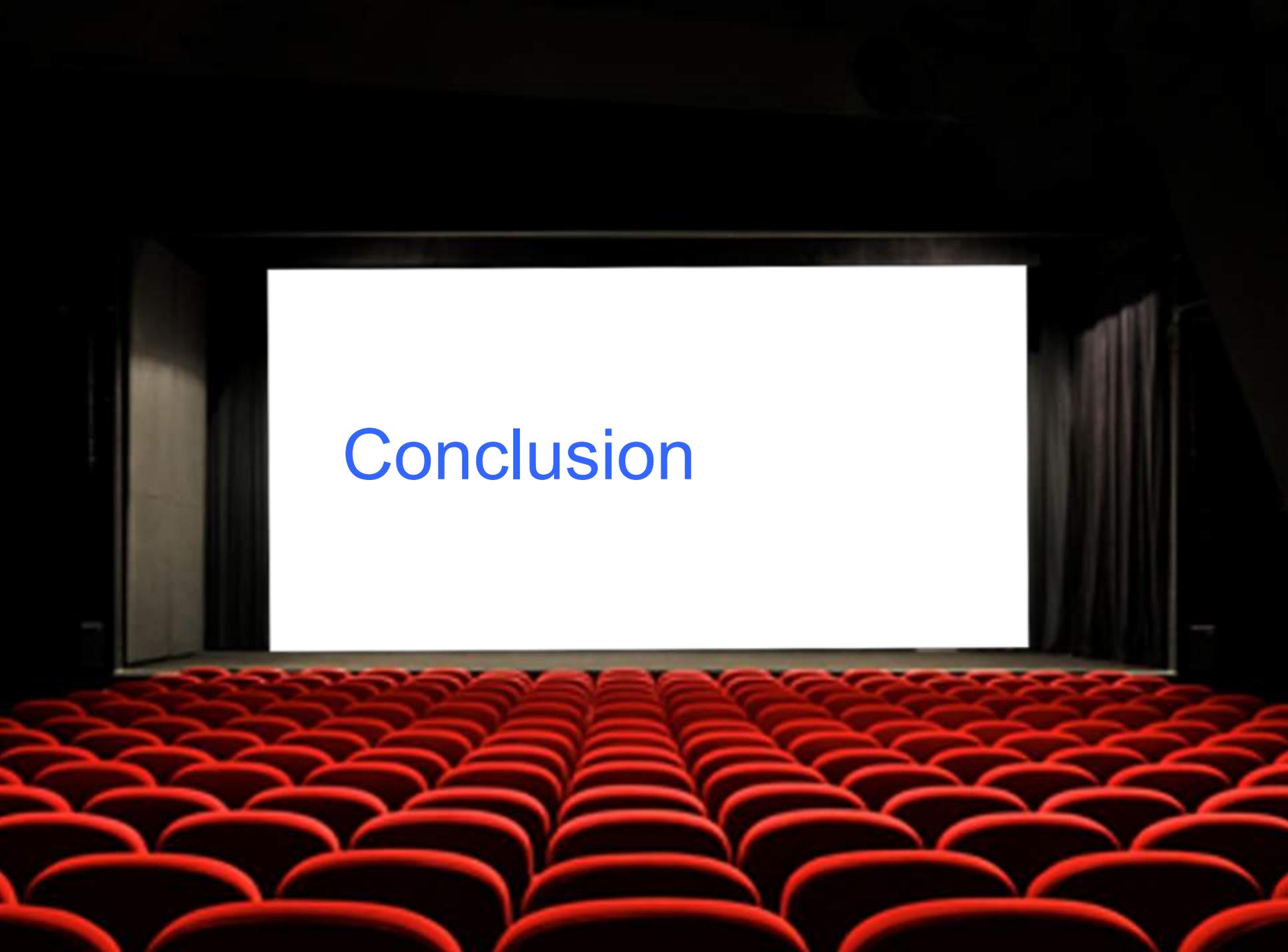
Historique des fluides frigorigènes



Les fluides frigorigènes

Historique des fluides frigorigènes



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large, bright white screen at the far end of the stage. The word "Conclusion" is written in a blue, sans-serif font on the screen. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is quiet and focused.

Conclusion

Conclusion

Autres technologies existantes pour la réfrigération domestique



Petite cave à vin



Glacière électrique



Sorbetière



Réfrigérateur de camping-car

Machine à modules Peltier

*Refroidissement thermoélectrique.
Utilisée pour les petites puissances !*

Machine à absorption-diffusion

*Même système qu'un réfrigérateur classique mais le compresseur (alimenté par l'électricité) est remplacé par un système chimique activé par de la chaleur.
Pratique dans un lieu sans électricité !*



Conclusion

Sujet non couvert

Physique et Cinéma, le retour



**Est-il possible de
survivre à une
explosion nucléaire en
s'abritant dans son
réfrigérateur ?**



La cuisine

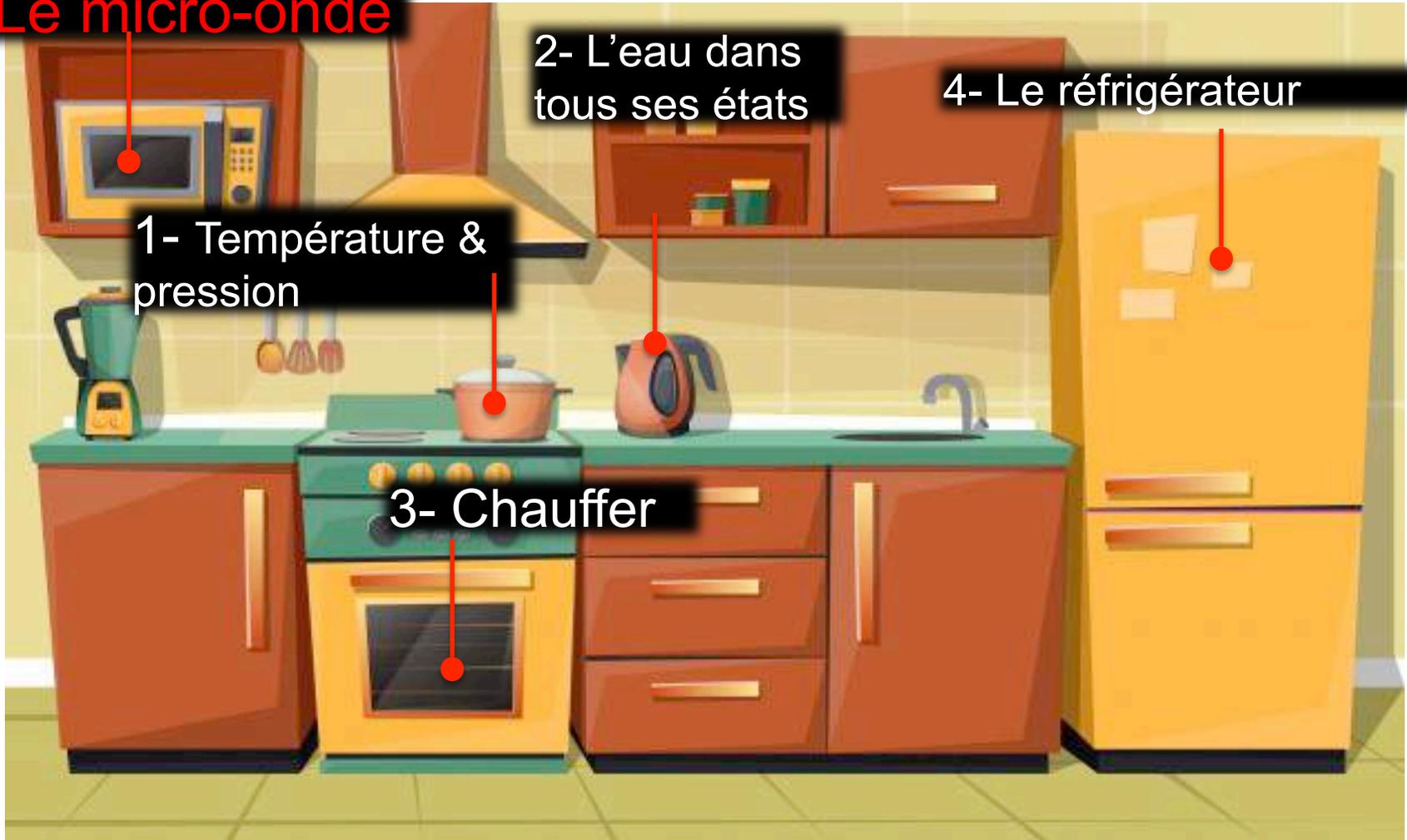
5- Le micro-onde

2- L'eau dans
tous ses états

4- Le réfrigérateur

1- Température &
pression

3- Chauffer



Parlez-en à vos amis ...

Site web: <http://physiquepourtous.unistra.fr/>

Mail: physiquepourtous@unistra.fr

Facebook: <https://www.facebook.com/physiquepourtous67>



Merci à François Stuber, Marc-Olivier Hunzinger, Eric Baussan, Thierry Pradier et tous les autres collègues de Physique pour Tous !



Bibliographie

✓ En avant la physique ! *42 phénomènes du quotidien déchiffré*

J.M. Courty – E.Kierlik | Edition Belin

✓ La physique par les objets quotidiens

C. Ray – J.C. Poizat | Edition Belin

✓ Vous avez dit physique ? De la cuisine au salon, de la physique partout dans la maison

K. Fadel – Edition Dunod

✓ Toute la physique dans un verre d'eau

C. Santamaria – Edition Ellipes

✓ [Unisciel: physique à main levée](#)

✓ [Unisciel: Kezako](#)

✓ [France TV: C'est pas sorcier](#)

✓ [France TV: On est pas que des cobayes](#)

[Youtube.fr/ScienceClic](https://www.youtube.fr/ScienceClic)

