IUFM de TOULOUSE
BIOTECHNOLOGIE B

Sciences et technologie de l'habitat et de l'environnement

Patrice SEVERIN

PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID, CUISSON DES ALIMENTS, APPLICATIONS AUX APPAREILS DOMESTIQUES ET AUX EQUIPEMENTS DE LA RESTAURATION

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : MÉTHODOLOGIE ..... p. 2
CHAPITRE 2 : NOTIONS DE THERMODYNAMIQUE: ..... p. 5
CHAPITRE 3 : APPAREILS FRIGORIFIQUES ..... p. 33
CHAPITRE 4 : APPAREILS DE CUISSON ET DE MAINTIEN OU DE REMISE EN TEMPÉRATURE ..... p. 73
ANNEXE 1 : AUTRES APPAREILS UTILISÉS EN RESTAURATION COLLECTIVE ..... p. 124
ANNEXE 2 : EXEMPLES D'ÉTUDES FONCTIONNELLES ..... p. 130
ANNEXE 3 MODES DE CUISSON, DES TECHNIQUES ÉVOLUTIVES (LA CUISINECOLLECTIVE MAI 2004) p.133
ANNEXE 4: LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS ..... p. 141
TABLE DES MATIÈRES ..... p. 142

BIBLIOGRAPHIE

- Les équipements en hôtellerie et restauration, Sciences appliquées éd. Lanore (2001)
  Bac Technologique, BTS Patrice SEVERIN
- Sciences appliquées, Bac Pro restauration alimentation éd. BPI (2000)
  B. ROUGIER, A. CHRETIEN, D. LAPREVOTTE, C. THIEBAULT
- Module de sciences appliquées à l'équipement, CAP - BEP éd. BPI (2000)
  M. FARAGUNA, J. REILAND, M ; MUSCHERT
- Le sous-vide et les technologies actuelles en cuisine, F. CHOAIN, P. NOEL éd. Lanore (1999)
- Sciences appliquées aux équipements et installations des locaux professionnels éd Foucher (1998)
  BEP- CAP A. PACCARD, M.-L. BLATEYRON, N. BUJOC, M. TISSET
- Sciences appliquées aux équipements et installations des locaux professionnels éd. BPI (1997)
  BEP,CAP, le programme en 100 pages B. ROUGIER, A. CHRETIEN,
- Technologie de l'électroménager D. SALACROUP éd. Casteilla (1997)
- Bonnes pratiques d'hygiène et plans de nettoyages éd. BPI (1997)
  Roger MEROUZE, Olivier TONDUSSON
- Technologie des équipements et des produits Brigitte ROUGIER, Alain CHRETIEN éd. BPI (1995)
- Sciences appliquées aux équipements en hôtellerie et restauration, Exercices et corrigés éd. Lanore (1994)
  Bac Technologique, BTS Patrice SEVERIN
- Equipement, Sciences appliquées, Fonctionnement, Entretien, Sécurité éd. BPI (1990)
  Brigitte ROUGIER, Alain CHRETIEN
- Sciences appliquées aux équipements en hôtellerie et restauration, BTH, BTS éd. Lanore (1990)
  Patrice SEVERIN
- Physique et chimie appliquées aux équipements de l'hôtellerie - restauration éd. BPI (1989)
  BEP, BTH, BTS Laure FORT
- Equipement et maintenance en hôtellerie et restauration Jean Pierre GAUTHIER éd. Lanore (1988)
- Traité d'ingénierie hôtelière Gabriel LARROSE, Jean - Pierre POULAIN éd. Lanore (1986)

CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE

1. ANALYSE FONCTIONNELLE

L'analyse descriptive d'un équipement consiste à répertorier, souvent à partir d'un schéma qui doit être connu à l'avance, ses différents organes en précisant leurs rôles respectifs afin d'en déduire le principe de fonctionnement et ses conditions d'utilisation. Mais cette méthode figée, rencontre rapidement ses limites, car si elle est suffisante pour les appareils standards et bien connus, elle permet difficilement de faire face à l'évolution des technologies et à l'apparition de nouveaux équipements.

Au contraire de ce processus purement cognitif, **l'analyse fonctionnelle** donne une méthode à la fois technique et pédagogique qui s'inscrit dans une démarche rationnelle de construction des savoirs et des savoirs faire, et qui permet plus facilement de dégager et d'atteindre les objectifs opératoires nécessaires à la formation technique et professionnelle des élèves.

Chaque objet technique (appareil) ou système étudié remplit une **fonction d'usage** pour répondre à un besoin spécifique de l'utilisateur. Dans un contexte donné, ce besoin est déterminé par des contraintes matérielles, techniques, réglementaires, économiques, sociologiques ... qu'il convient de préciser.
Par exemple :
<u>contraintes matérielles</u> : alimentation en énergie, alimentation en eau, évacuations, dimensions, conception du local…
<u>contraintes techniques</u> : performances, capacité, consommation d'énergie, calorifugeage, durée de vie, robustesse, dimensions, bruit …
<u>contraintes économiques</u> : coûts d'achat, de fonctionnement, des accessoires indispensables, de l'entretien et de la maintenance …

contraintes professionnelles : type et importance de la production, concept et process de production, méthode de travail, types de produits utilisé, nombre de repas, fréquence d'utilisation, certification et respect des normes, formation et adaptation des utilisateurs ou du personnel …

contraintes d'hygiène, de sécurité et d'ergonomie : respect des réglementations en vigueur, respect de la marche en avant, facilité d'entretien, limitation et traitement des nuisances et des émissions de polluant, ambiances thermique, lumineuse et sonore, conditions de travail

... etc.

Cette fonction d'ensemble est décomposée en **fonctions techniques principales** qui sont indispensables à la réalisation du service attendu et en **fonctions techniques complémentaires (ou secondaires)** qui, elles, ne sont pas absolument nécessaires mais qui améliorent les performances de l'appareil ou apportent à l'utilisateur confort et simplicité d'utilisation, sécurité, facilité d'entretien, respect de la législation et de l'environnement ... etc.

Une **fonction** est l'action d'un élément constitutif d'un système exprimée exclusivement en terme de finalité (par ce qu'il « fait »).

Chaque fonction doit être exprimée formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

Les **solutions techniques** sont la traduction matérielle (dispositifs ou organes de l'appareil) de chaque fonction technique.

Chacune de ces fonctions techniques (principales ou complémentaires) peut être plus ou moins complexe, elle peut alors être décomposée, dans une analyse descendante sur autant de niveaux que nécessaire, jusqu'à des fonctions techniques élémentaires qui seront remplies par des solutions techniques simples (organe précis et identifié).

Par exemple, dans l'étude fonctionnelle de l'appareil : « **MARMITE ELECTRIQUE** »,

- ⇨ le **cadre d'utilisation** sera la ***restauration collective***, donc des contraintes en matière de débit et de volume de production, d'ergonomie et de sécurité du personnel, d'hygiène et réglementation.
- ⇨ la **fonction d'usage** est : ***réaliser des cuissons de denrées dans de grandes quantités d'eau*** (à l'anglaise)

La **FONCTION PRINCIPALE EST** :		Sa **SOLUTION TECHNIQUE** est : :
• chauffer un grand volume d'eau	→	marmite électrique à chauffage direct
se décompose en - **produire de la chaleur**	→	résistance électrique (effet Joule)
- **contenir l'eau**	→	**cuve** étanche

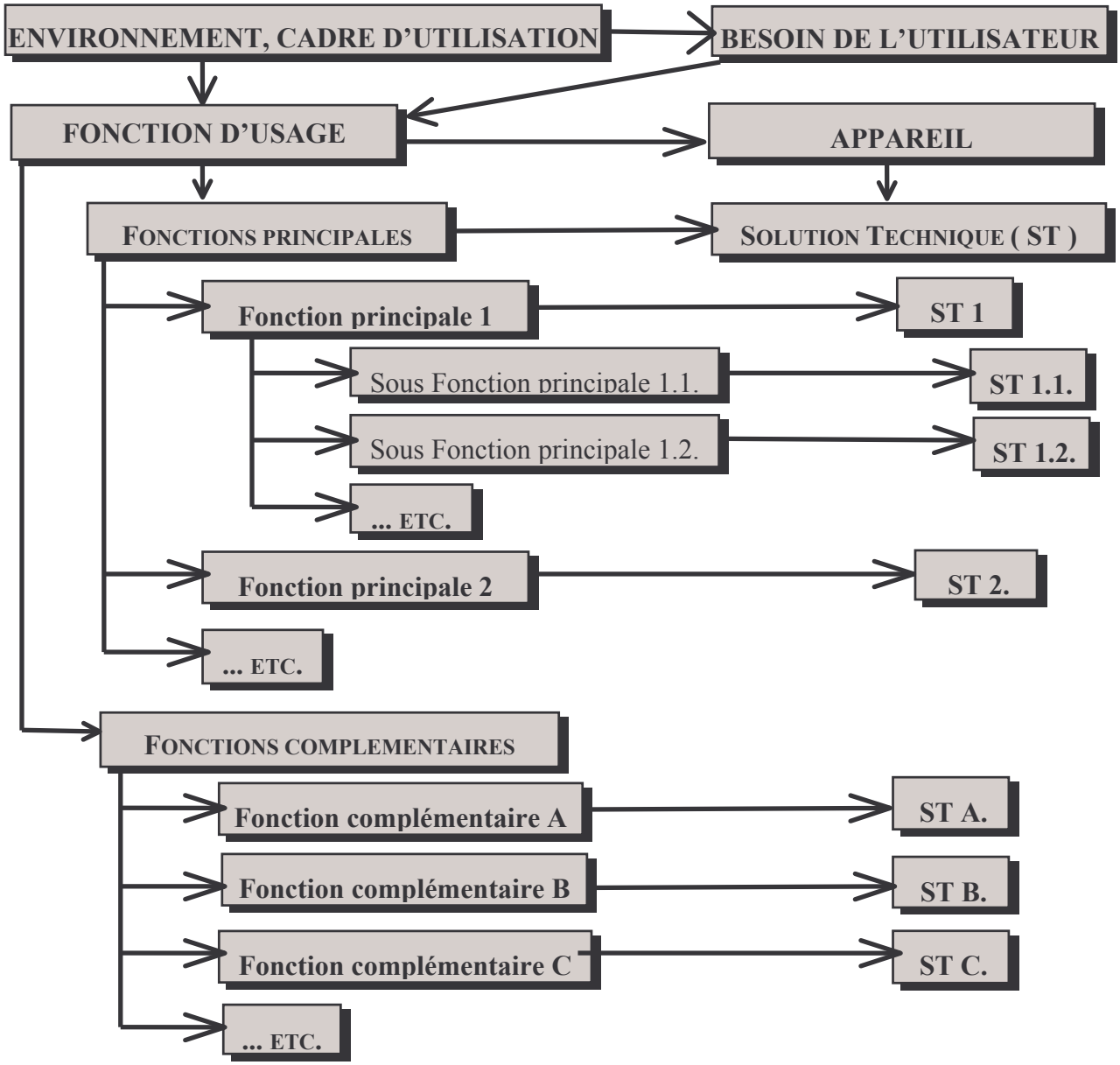
Les **FONCTIONS COMPLEMENTAIRES** sont :		Les **SOLUTIONS TECHNIQUES** en sont :
• **commander** l'appareil	→	**interrupteur** marche arrêt
• **réguler** la température de l'eau	→	**thermostat**
• **programmer** le fonctionnement dans le temps	→	**programmateur** ou minuterie
• **informer** que l'appareil chauffe	→	**voyant** lumineux
• **limiter les pertes** thermiques		
- par émission de vapeur et de chaleur	→	**couvercle**
- par les parois de la cuve	→	**isolant thermique**
• faciliter l'utilisation, vidage de la cuve	→	système de basculement ou robinet de vidange
• assurer la sécurité		
- du personnel		
- contre les risques thermiques		
- déversements de liquides chauds	→	**blocage** du basculement ou du robinet
- brûlures par contact	→	**isolation thermique** des poignées et de la cuve
- contre les risques mécaniques		
- accrochages	→	**encastrement du robinet** de vidange
- écrasement des mains, doigts	→	couvercle équilibré par **contrepoids**
- contre les risques électriques	→	respect des normes de sécurité, **mise à la terre**, **disjoncteur différentiel** ...
- des aliments	→	**matériaux inoxydables**
- de l'appareil→		raccordement électrique conforme, **fusibles** ...
• permettre l'entretien →		surfaces lisses et sans recoins

2. PRESENTATION D'UNE ANALYSE FONCTIONNELLE

La présentation de l'étude fonctionnelle d'un appareil s'effectue le plus souvent sous forme d'un tableau :

environnement, cadre d'utilisation :		
fonction d'usage ou fonction globale :		
fonctions principales	solutions techniques	Commentaires
fonction principale 1. sous - fonction principale 1.1. sous - fonction principale 1.2. fonction principale 2. ... etc.	ST 1. ST1.1. ST 1.2. ST 2	*principes de fonctionnement* *particularités* *réglementations spécifiques* *précisions techniques* *... etc.*
fonctions complémentaires		
fonctions complémentaires A fonctions complémentaires B fonctions complémentaires C	ST A ST B ST C	
... etc.		

3. ORGANIGRAMME D'UNE ANALYSE FONCTIONNELLE



CHAPITRE 2 : NOTIONS DE THERMODYNAMIQUE

1. NOTION D'ENERGIE

1.1. DEFINITION

Un corps ou un système qui est susceptible de fournir un effet utile ou travail (il y a travail quand une force se déplace) possède de l'énergie. Une énergie en réserve, qui doit être libérée pour être utilisée, est dite potentielle. ***L'énergie est une grandeur physique transformable et mesurable.***

1.2. DIFFERENTES FORMES D'ENERGIE

- **énergie mécanique** (énergie des muscles, des machines, etc.). L'énergie mécanique peut être potentielle (exemple : l'eau accumulée derrière un barrage, un ressort tendu...) ou cinétique si il y a mouvement (projectile, mobile...).
- **énergie calorifique ou thermique** : c'est bien une forme d'énergie, car elle peut être transformée en travail (moteurs thermiques).
- **énergie électrique** : énergie possédée par des charges électriques (électrons, protons, ions positifs ou négatifs) accumulées ou en mouvement (circulation, vibration...)
- **énergie chimique** : énergie que renferment les assemblages d'atomes, les molécules. Elle maintient leur cohésion et entre en jeu lors des réactions chimiques (énergie des aliments, des combustibles).
- **énergie nucléaire** : énergie que possèdent les noyaux des atomes. Elle est libérée lors des fissions ou des fusions nucléaires.
- **énergie rayonnante** : énergie des ondes électromagnétiques (lumière visible, rayonnement solaire, ondes radio, rayons X, gamma...)

1.3. UNITES D'ENERGIE

Dans le S.I. l'unité d'énergie est le **JOULE** (**J**).

ordre de grandeur : Le joule est une unité très petite. 1 J est le travail produit par une force de 1 N (poids à Paris d'une masse de 102 grammes) dont le point d'application se déplace de 1 m dans la direction de la force. L'énergie nécessaire pour élever la température de 1 g d'eau de 15 à 16 °C est 4,18 J.

- On utilise encore parfois la CALORIE (cal) et ses multiples, kilocalorie (ou millithermie), mégacalorie (ou thermie), dans le cas de l'énergie thermique et de l'énergie chimique potentielle des aliments **:**

1 cal = 4,185 5 J ≈ 4,18 J

- On utilise très souvent le WATT-HEURE (Wh) : **1 Wh = 3 600 J** **1 kWh = 3 600 kJ**

1.4. TRANSFORMATION DE L'ENERGIE

Une forme d'énergie peut être transformée sous une autre forme. Une machine, un appareil ou un phénomène physique ne produit pas d'énergie, il transforme une énergie reçue en une autre forme d'énergie, utile.

Principe de conservation : Lorsqu'une énergie est transformée d'une forme en une ou plusieurs autres, la somme des énergies obtenues est égale à la quantité d'énergie initiale.

Principe de dégradation : Lors d'une transformation d'énergie, il y a toujours apparition d'énergie calorifique (pertes thermiques).

Cas général : ENERGIE ABSORBEE Ea ⟶ ENERGIE UTILE Eu

↘ ENERGIE THERMIQUE PERDUE Eth

Les deux principes conduisent à : **Ea = Eu + Eth**

1.5. RENDEMENT

Le rendement d'un machine est le rapport entre l'énergie utile qu'elle fournit et l'énergie qu'elle absorbe.

$$r = \frac{Eu}{Ea}$$

r peut s'exprimer en pourcentage. On a toujours $r < 1$ (ou $r < 100$ %)

1.6. PUISSANCE

La puissance d'un appareil est le rapport entre l'énergie qu'il transfère et le temps qu'il met à transférer cette énergie.

$$P = \frac{E}{t} \qquad P \text{ en W}, \quad E \text{ en J}, \quad t \text{ en s}$$

$$P_u = \frac{E_u}{t} \quad , \qquad P_a = \frac{E_a}{t} \Rightarrow r = \frac{P_u}{P_a} \quad , \qquad P_{th} = \frac{E_{th}}{t} \qquad \text{donc} \qquad P_a = P_u + P_{th}$$

Autre unité de puissance : le **cheval vapeur** 1 ch = 735,5 Watts (unité obsolète qu'il ne faut plus employer.)

2. TEMPERATURES

2.1. INTERPRETATION

La matière a une structure **discontinue**. La température "mesure" l'ampleur de l'agitation des grains de matière (molécules, atomes ou ions). Chaque grain de matière est soumis à des chocs incessants dus au mouvement désordonné des grains qui l'entourent. L'agitation des grains de matière augmente avec la température et l'énergie cinétique des molécules entrant en collision croit. Inversement l'agitation se ralentit quand la température baisse.
Au zéro absolu, à - 273 °C, les grains de matière sont immobiles : c'est le **zéro absolu**. Il n'existe pas de température inférieure.
La chaleur d'un corps est la somme des travaux (ou énergies) mécaniques microscopiques des grains de matière qui s'agitent.
La température est une caractéristique de l'état physique d'un corps. C'est une grandeur d'état (comme la pression pour un gaz, la masse volumique d'une matière...). **La température caractérise la matière** et non l'objet constitué de cette matière. Elle est indépendante de la quantité de matière qui constitue l'objet. C'est une grandeur **repérable** : on peut définir la somme de 2 longueurs (grandeur mesurable) mais la somme de 2 températures n'a pas de sens.

2.2. ECHELLES DE TEMPERATURE

Il est possible de comparer les températures : Les corps purs fondent (passage de l'état solide à l'état liquide) et entrent en ébullition (passage brutal de l'état liquide à l'état gazeux) toujours aux mêmes températures. Ces points fixes permettent d'établir des échelles de température.

Sous pression atmosphérique normale : 1013 hPa	ZERO ABSOLU	température de la glace fondante	température d'ébullition de l'eau
Echelle CELSIUS	**-273 °C**	0 °C	100 °C
Echelle FARENHEIT	-459,4 °F	**32 °F**	**212 °F**
Echelle KELVIN (ou température thermodynamique)	**0 K**	273 K	373 K

Formules de conversion :

passage de l'échelle Celsius à l'échelle Farenheit

écart 100 °C = 212 - 32 = écart 180 °F , écart 1 °C = écart 1,8 °F $\Rightarrow$ $\boxed{\theta\,(°F) = \theta\,(°C) \times 1{,}8 + 32}$

passage de l'échelle Celsius à l'échelle KELVIN : écart 1 °C = écart 1 K $\Rightarrow$ $\boxed{T\,(K) = \theta\,(°C) + 273}$

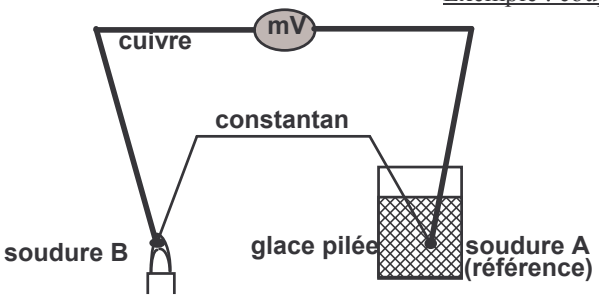
2.3. PROCEDES DE REPERAGE DES TEMPERATURES

Le sens du toucher permet de percevoir les températures mais de manière imprécise, infidèle et subjective : du métal ou du verre paraissent plus froid que du bois ou du liège à la même température. Des phénomènes physiques permettent d'évaluer les températures :
Quand la température d'un corps varie, ses propriétés physiques sont modifiées :

- la **pression d'un gaz** dépend de la température.
- la **couleur** (qualitatif) d'un corps varie avec la température du corps.
- **les dilatations :** les dimensions d'un corps varient en fonction des variations de températures :
- la **résistance R d'un conducteur varie avec la température θ : $R = R_0\,(1 + a\,\theta + b\,\theta^2)$.** ….

- **Thermocouple électrique :** deux conducteurs métalliques de nature différente soudés en leurs deux extrémités constituent un circuit fermé qui est parcouru par un faible courant électrique lorsque les deux soudures sont portées à des températures différentes (0°C et 500°C par ex.) C'est l'effet Seebeck.

Exemple : couple cuivre et constantan



soudure A à la température de référence 0° C

température de la soudure B en °C	différence de potentiel en mV
- 200	- 5,539
0	0
+200	+9,285
+400	+20,865

La tension créée peut être mesurée (thermomètre à sonde thermocouple) ou alimenter la bobine de l'électroaimant d'un organe de commande ou de sécurité (relais, interrupteur, électrovanne).

Il est donc possible d'utiliser un phénomène physique lié à la température pour apprécier objectivement celle-ci.

- ➔ Les **thermomètres** permettent de repérer la température d'un corps ou d'un milieu.
- ➔ Les **thermostats,** fixes ou réglables, permettent de déclencher une action (mise en route ou arrêt) sur un appareil en fonction d'une température déterminée à l'avance ou affichée par l'utilisateur.

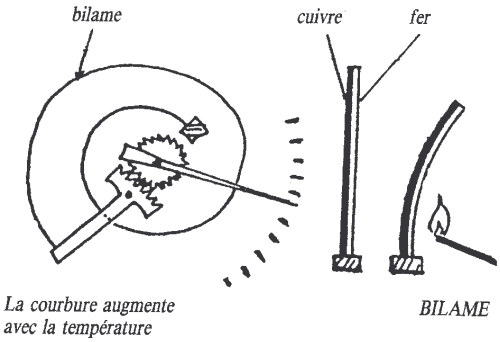
2.4. THERMOMETRES

2.4.1. Thermomètres à dilatation de liquide

La dilatation de mercure (liquide de - 39 °C à + 356 °C sous pression atmosphérique normale, désormais interdit à la vente), d'alcool (plage d'utilisation d'environ - 80 °C à environ + 70 °C), de pentane ou autre liquide, dans un tube de verre permet de repérer la température par rapport à une graduation fixe. Ils sont peu coûteux, indéréglables, fidèles, mais encombrants et cassants.

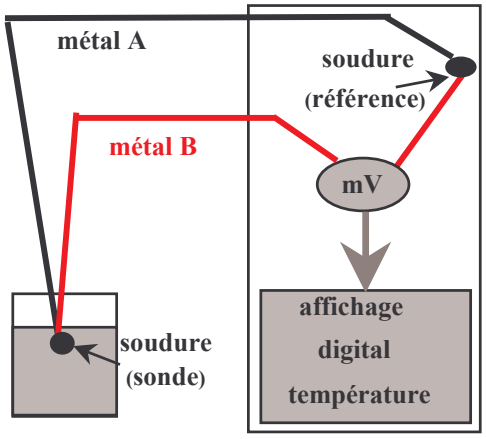
2.4.2. Thermomètre à bilame

Deux lames constituées de 2 métaux différents (de coefficients de dilatation différents) sont soudées sur leur longueur. L'ensemble, la ***bilame***, se courbe, s'enroule si la température s'élève et fait pivoter alors une aiguille face à une graduation fixe. Ce thermomètre est bon marché mais peu précis et peu fidèle.



2.4.3. Thermomètre à thermocouple électrique

Deux conducteurs métalliques de natures différentes (couple thermoélectrique) soudés en leurs deux extrémités constituent un circuit fermé qui est parcouru par un faible courant électrique lorsque les deux soudures sont portées à des températures différentes.
La tension créée est fonction de la différence de température entre les 2 soudures et peut être facilement mesurée (une des soudure est maintenue à une température de référence et l'autre est l'extrémité d'une sonde). L'appareil affiche alors digitalement la température qui correspond à la tension mesurée. Etalonné convenablement, il est d'une grande précision et d'un emploi aisé (intérêt en cuisine : la sonde permet de connaître la température à cœur d'un produit mais doit être désinfectée convenablement avant et après chaque utilisation). entre environ –250°C et 400 °C.



2.4.4. Thermomètre à résistance électrique

L'intensité dans un fil (platine par exemple, entre –180°C et 600°C) ou dans une thermistance (semi-conducteur, jusqu'à 350°C) constituant une sonde, et dont la résistance varie avec la température, peut aussi être mesurée. Ce thermomètre digital est moins coûteux que le thermomètre à thermocouple.

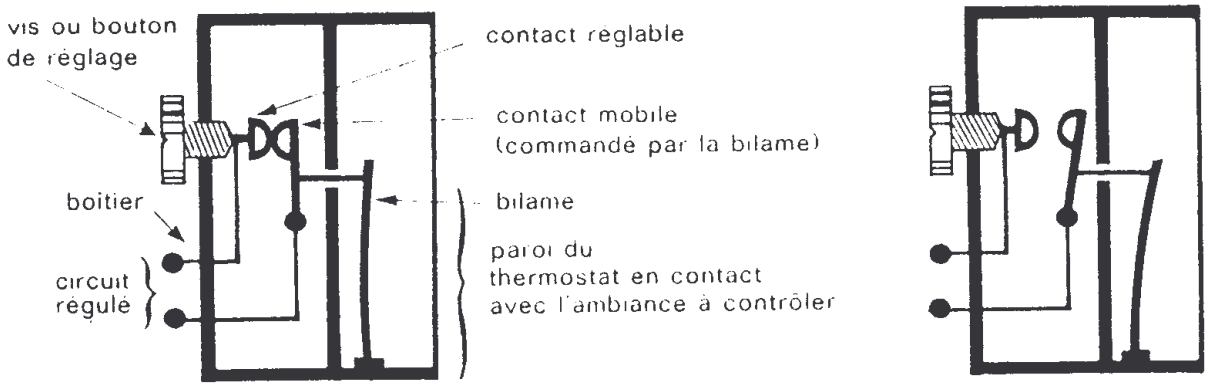
2.4.5. Thermomètre à infrarouge

Il mesure le rayonnement infrarouge émis par un corps selon sa température et permet de déterminer une température à distance, sans risque d'altération d'un produit alimentaire, par exemple, mais il reste encore excessivement coûteux

Caractéristiques et qualités d'un thermomètre : *plage d'utilisation, précision, justesse, fidélité, solidité, facilité d'utilisation, coût.*

2.5. THERMOSTATS

2.5.1. Thermostat à bilame



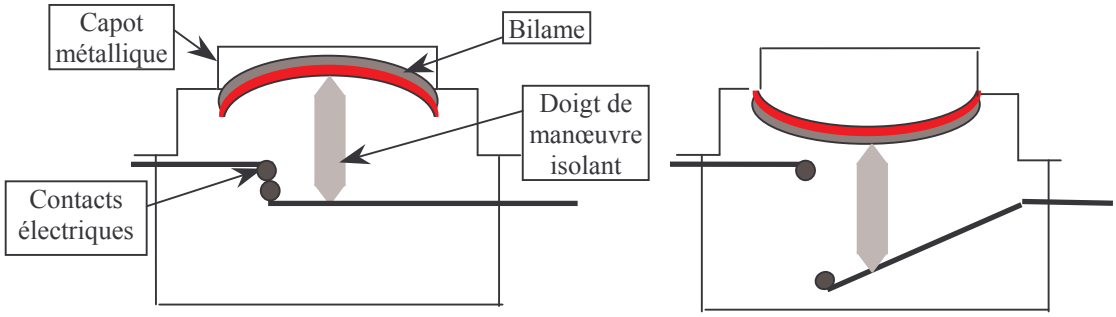
a) L'ambiance à contrôler n'a pas atteint la température de fonctionnement du thermostat : bilame froide. Contact fermé, circuit régulé " sous tension "

b) L'ambiance à contrôler a dépassé la température de fonctionnement du thermostat : la bilame chauffée suffisamment s'est courbée et a ouvert le contact - Circuit régulé " hors tension

Il est utilisé dans les friteuses électriques, les fer à repasser, les fours électriques, les systèmes de chauffage des maisons … etc.

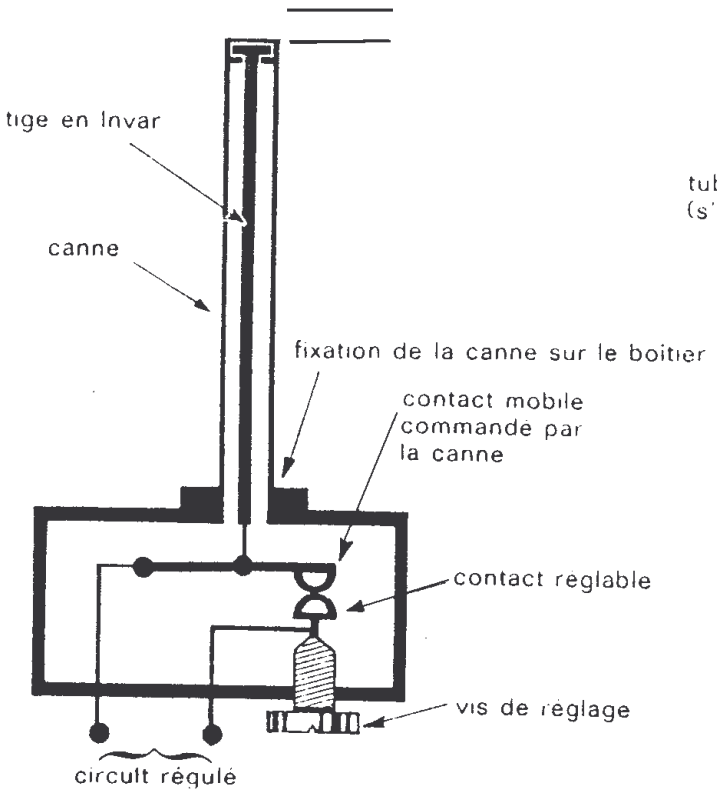
2.5.2. Thermostat bimétallique fixe

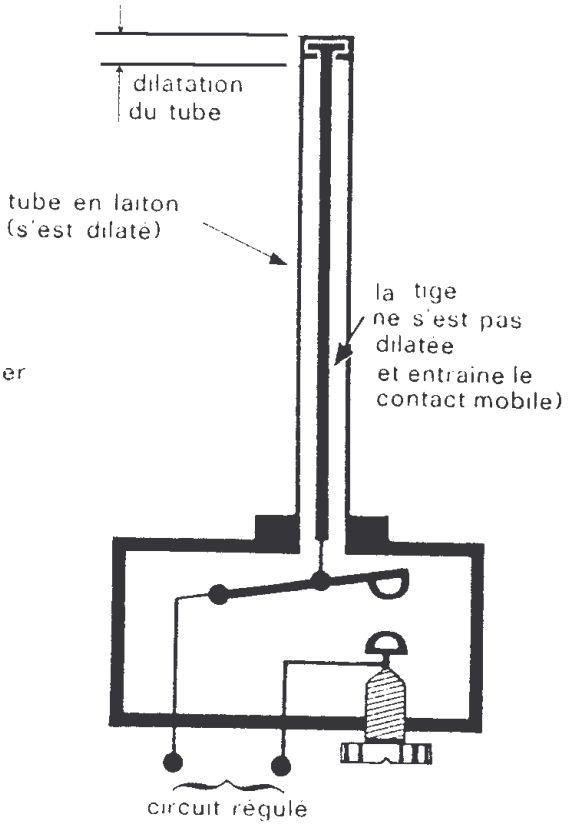
Ce thermostat fixe, appelé communément sous le nom de marque ***Klixon***, est utilisé comme organe de sécurité. Une bilame en forme de portion de sphère convexe, sous l'effet d'un échauffement, se retourne et devient concave. Cette déformation brutale agit sur un contact électrique. En refroidissant, la bilame reprend sa forme initiale.



2.5.3. Thermostat à canne

C'est un système thermostatique à dilatation linéaire d'une tige métallique, surtout employé dans les fours et les chauffe-eau électriques. La canne est constituée d'une tige en INVAR (alliage fer - nickel dont le coefficient de dilatation est presque nul) placée dans un tube en métal (laiton par exemple) à fort coefficient de dilatation. Tige et tube sont soudés à l'extrémité de la canne, l'autre extrémité de la tige en invar commande un interrupteur. Sous l'effet de la chaleur, le tube se dilate plus que la tige en invar.



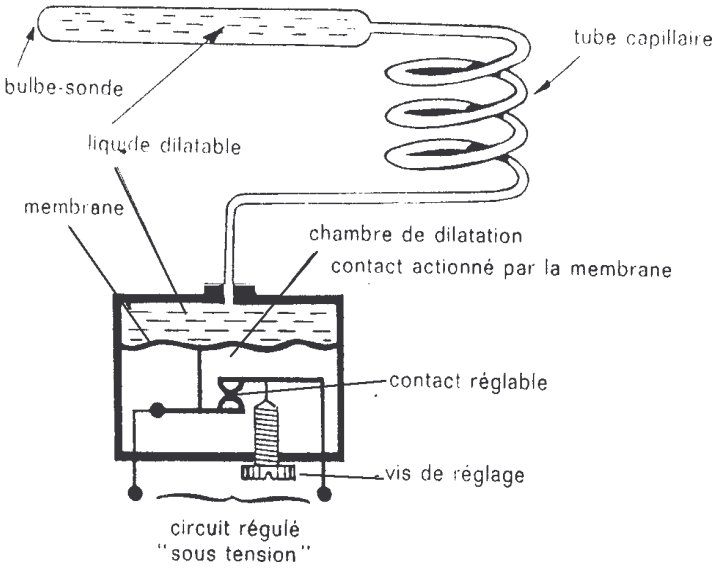


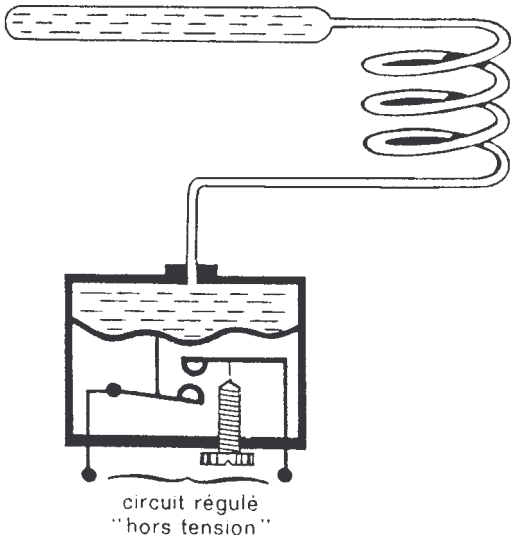
la température de réglage n'est pas atteinte
le circuit régulé est fermé et sous tension

la température de réglage est atteinte
le circuit régulé est ouvert et hors tension

2.5.4. Thermostat à bulbe

C'est un système thermostatique à dilatation de liquide ou à tension de vapeur saturée qui équipe surtout les fours et les réfrigérateurs. Le fluide (diphénil chloré, chlorure de méthyle, liquides aux silicones) est contenu dans un réservoir métallique (le bulbe) qui est placé dans le milieu à contrôler. La dilatation du fluide est transmise et amplifiée par un tube capillaire pour agir sur une membrane déformable qui commande un interrupteur.



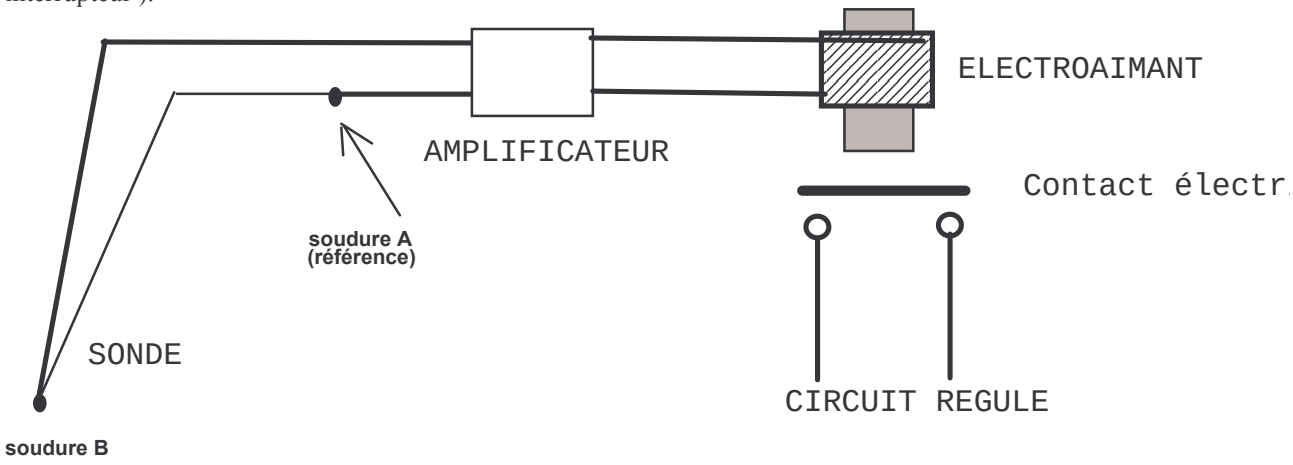


la température de réglage n'est pas atteinte
le circuit régulé est fermé et sous tension

la température de réglage est atteinte
le circuit régulé est ouvert et hors tension

2.5.5. Thermostat à thermocouple électrique

Il est constitué d'un circuit fermé de deux conducteurs métalliques de nature différente soudés en leurs deux extrémités. Lorsque les deux soudures sont portées à des températures différentes un faible courant électrique apparaît. Il est utilisé après éventuellement amplification pour alimenter la bobine de l'électroaimant d'un organe de commande (relais, interrupteur).



3. ETATS DE LA MATIERE

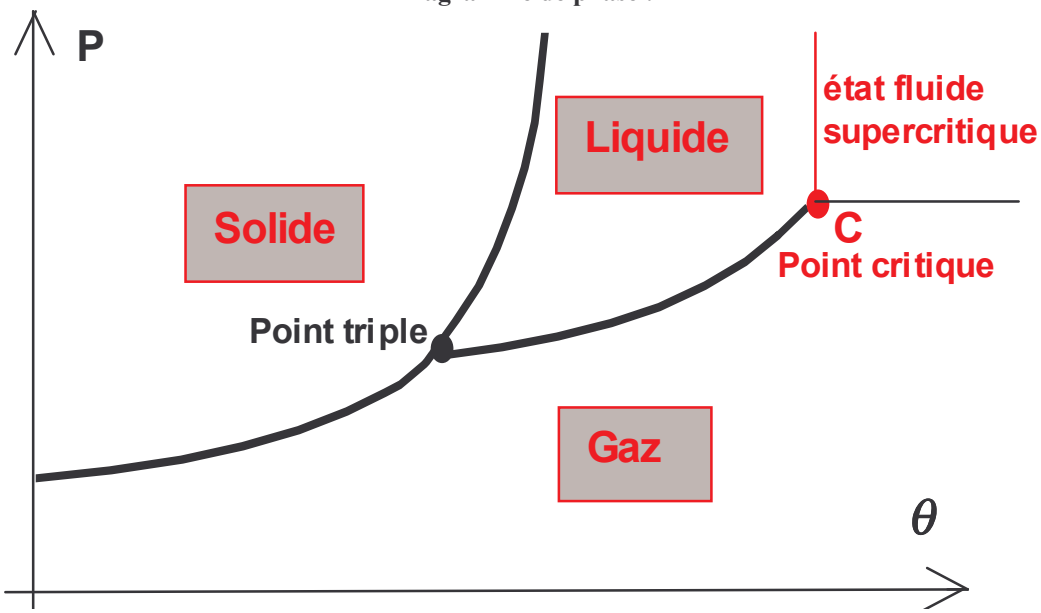
Etat solide : grains de matière (molécules, ions ou atomes)liés rigidement entre eux selon une géométrie bien définie, **état ordonné et condensé.**

Etat liquide : liens plus faibles, liberté de mouvement des grains de matière, mais distances intermoléculaires constantes, **état condensé et désordonné**.

Etat gazeux : molécules pratiquement indépendantes et agitées dans tous les sens, **état dispersé et désordonné**.

L'état de la matière dépend de la **température** et de la **pression.**

Diagramme de phase :

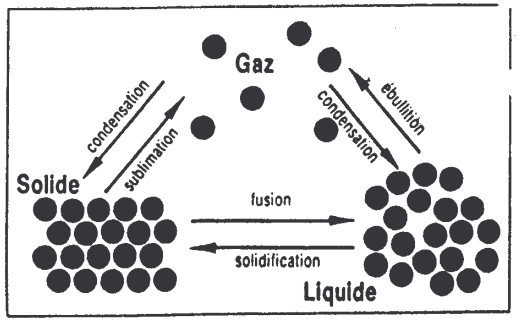


Le point (pression et température) où les 3 phases (solide, liquide et gazeuse) coexistent est appelé ***point triple***.
Au ***point critique***, les densités du gaz et du liquide sont égales, on ne peut plus les différencier l'un de l'autre ; au delà de ce point, le corps est en phase ***supercritique*** : fluide qui présente la faible viscosité d'un gaz et la forte densité d'un liquide.
Chaque corps pur possède un diagramme de phase spécifique qui permet de connaître son état en fonction de ses conditions de température et de pression, ainsi que de prévoir ses changements d'état en fonction des variations de température ou de pression.

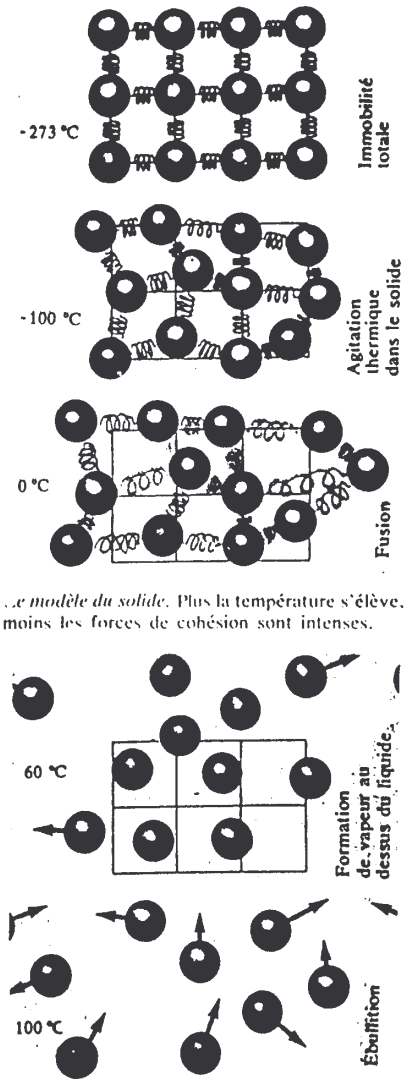
Document : Etats de la matière

PROPRIÉTÉS	ÉTAT SOLIDE	ÉTAT LIQUIDE	ÉTAT VAPEUR (GAZ)
Forme des corps	A une forme propre	Prend la forme du récipient sans occuper tout le volume offert	Prend la forme du récipient et occupe tout le volume offert
Compressibilité	Très faible Peu déformable Transmet les forces et les vibrations (sons)	Très faible Très déformable Transmet les pressions et les vibrations (sons)	Très grande. Ne transmet ni les forces ni les pressions Transmet les vibrations (sons)
Propriétés mécaniques	Dureté Résistance	Fluidité	Compressibilité, expansibilité
Dilatation par la température	Très faible	Limitée	Très grande
Masse volumique	Entre 500 et 22 500 $kg \cdot m^{-3}$	Entre 500 et 3 000 $kg \cdot m^{-3}$	Dépend de la pression Toujours très inférieure à celle des liquides
Miscibilité	Pas entre solides Nécessite de passer par l'état liquide	Oui et non. Variable selon les corps en présence	Toujours, sous forme de mélanges homogènes de gaz
Couleur, aspect	Couleur propre selon l'état de surface Parfois transparents	Couleur propre Presque toujours transparents	Couleur propre Toujours transparents
Conductivité électrique	Très variable	Rarement conducteurs	Non conducteurs sauf dans des conditions exceptionnelles

— *Principales propriétés des solides, liquides et gaz.* Les valeurs numériques relatives à chaque corps, pour chaque propriété, figurent dans des livres appelés « Tables des constantes »



— *Les changements d'états physiques.*

Variation des grandeurs physiques	Les modèles correspondants
CAS DE L'EAU sous pression atmosphérique normale. La *température* s'élève. De la *chaleur* est apportée à la glace et à l'eau. Le *volume* varie. La *masse* est invariable. *L'agitation* des molécules croît avec la température. A 0 °C il y a coexistence de la *phase solide* et de la *phase liquide*. La *masse volumique* du liquide est différente de celle du solide. Les *molécules gazeuses* s'échappent du liquide d'autant plus facilement que la température croît. *Au-dessus de* 100 °C toutes les molécules sont libres.	 *Le modèle du solide.* Plus la température s'élève, moins les forces de cohésion sont intenses. *Les modèles du liquide et du gaz.*

4. QUANTITE DE CHALEUR

4.1. PRODUCTION DE CHALEUR

La chaleur ou énergie thermique ou énergie calorifique est une ***forme d'énergie.*** Elle est produite :

- par transformation de l'énergie chimique au cours de réactions chimiques de ***combustion***.
- par transformation de l'énergie électrique par ***effet Joule*** (échauffement produit par le passage d'un courant dans un conducteur).
- à partir de ***l'énergie rayonnante*** (infra-rouge, micro-ondes,).

4.2. CONVENTION DE SIGNE

- si un corps isolé reçoit une quantité de chaleur Q, on affecte cette quantité du signe + (positif)
- si un corps isolé cède une quantité de chaleur Q, on affecte cette quantité du signe - (négatif)

4.3. UNITES DE QUANTITE DE CHALEUR

Unité légale (S.I.)	le **Joule** (**J**) et le kiloJoule (kJ)

Unités usuelles :	la **calorie** (**cal**)	1 cal = 4,18 J
	la **millithermie** (**mth**)	1 mth = 1 kcal
	le **Watt heure** (**W.h**)	1 Wh = 3 600 J
	la **thermie** (**th**)	1 th = 1 Mcal
	la **frigorie** (**fg**)	1 fg = - 1 kcal

5. CHALEUR ET TEMPERATURE

Un **apport** ou une **perte d'énergie calorifique** (cause) provoque comme effet:

- soit une **variation de température sans changement d'état physique**,
- soit un **changement d'état physique sans changement de température**.

5.1. QUANTITE DE CHALEUR ECHANGEE PAR UN CORPS QUI NE CHANGE PAS D'ETAT.

Q la quantité de chaleur en joules (J)

- dépend de la nature de la substance,
- est proportionnelle à la masse m de la substance,
- est proportionnelle à la variation de température de θi à θf .

$$\boxed{Q = m\,c\,(\theta f - \theta i) \quad \text{ou} \quad Q = m\,c\,\Delta\theta}$$

m masse du corps en kg ,
θf température finale en K (ou en °C) , **θi** température initiale en K (ou en °C)
c est un coefficient qui caractérise la nature de la substance appelé **capacité thermique massique** (ou **chaleur massique**)

Remarques :

1°) On peut exprimer indifféremment, dans l'application de cette formule, les températures en kelvin ou en degré Celsius, puisqu'on utilise une différence de température et qu'un écart de 1 K et un écart de 1 °C sont équivalents.

2°) La convention de signe est cohérente, en effet si $Q = m\,c\,\Delta\theta$ ou $Q = m\,c\,(\theta f - \theta i)$
avec θf, θi températures finale et initiale : si $\Delta\theta > 0$ alors $Q > 0$ et $\theta f > \theta i$ il y a réchauffement
si $\Delta\theta < 0$ alors $Q < 0$ et $\theta f < \theta i$ il y a refroidissement

5.2. CAPACITE THERMIQUE MASSIQUE

La capacité thermique massique d'un solide ou d'un liquide est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse de ce corps pour élever sa température de 1 K (ou 1 °C). Dans le S.I. la capacité thermique massique s'exprime en : **joules par kilogramme et par kelvin** (**J/kg.K** ou **J.kg^{-1}.K^{-1}**).
Parfois, on exprime (hors S.I.) la quantité de chaleur en calories, la masse en grammes et la chaleur massique en calories par gramme et par degré Celsius (cal/g.°C).

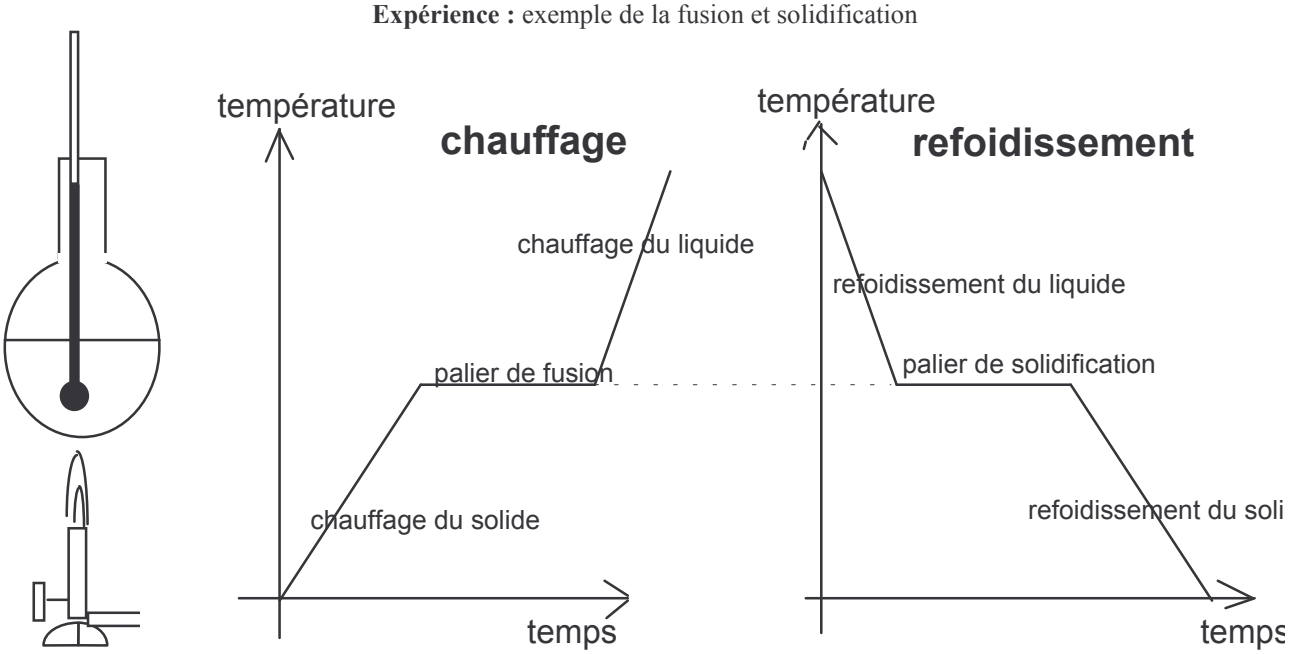
Cas de l'eau : Par définition, la calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 g d'eau de 15 °C à 16 °C, la capacité thermique massique de l'eau est donc 1 cal/g.°C, c'est à dire :

$$1 \times 4{,}18 \times 1\,000 = 4\,180 \text{ J/kg.K} \qquad (1 \text{ cal} = 4{,}18 \text{ J et } 1 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g})$$

Remarque : La capacité thermique massique d'un corps varie en réalité avec la température, mais on peut, en première approximation, négliger cette variation et considérer les chaleurs massiques comme constantes.

5.3. QUANTITE DE CHALEUR ECHANGEE PAR UN CORPS QUI CHANGE D'ETAT.

Expérience : exemple de la fusion et solidification



Sous pression constante, la température reste constante pendant tout changement d'état.

Q la quantité de chaleur en joules (J) nécessaire au changement d'état dépend de la nature de la substance et est proportionnelle à la masse m (en kg) de la substance.

$$\boxed{Q = m\,L}$$

L (en J.kg^{-1} ou J/kg) est la **chaleur latente de changement d'état** : la quantité de chaleur nécessaire, à la température de changement d'état, pour faire changer d'état 1 kg de corps pur.

L est positive ou négative selon le sens de la transformation :

- ➔ un corps qui fond absorbe de la chaleur : il crée du froid, la fusion est une transformation **endothermique**, **L > 0**
- ➔ un corps qui se vaporise absorbe de la chaleur : il crée du froid, la vaporisation est une transformation **endothermique**, **L > 0**
- ➔ un corps qui se solidifie cède de la chaleur: il est refroidi, la solidification est une transformation **exothermique**, **L < 0**
- ➔ un corps qui se condense cède de la chaleur: il est refroidi, la condensation est une transformation **exothermique**, **L < 0**

5.4. QUELQUES DONNEES

Chaleurs massiques c de quelques produits usuels en $kJ.kg^{-1}.°C^{-1}$ (ou kJ/kg.°C) :

éthanol	2,48
huile d'olive	1,25
beurre	2,3
viande de porc	2,1
viande de boeuf	3,1
aluminium	0,89
acier inox	0,46
cuivre	0,38
verre	0,79
verre Pyrex	0,84
porcelaine	1,05

matières aqueuses ou très hydratées	environ 4
matières grasses	1 à 2
métaux	< 1

valeur moyenne approchée à 0,1 près :	**EAU**	**LEGUMES**	**VIANDES**
Capacité thermique massique c dans les températures négatives	**2,1 kJ/kg.°C**	**2 kJ/kg.°C**	**1,8 kJ/kg.°C**
Chaleur latente L de décongélation (+) ou de congélation (-)	**334 kJ/kg**	**313,5 kJ/kg**	**234 kJ/kg**
Capacité thermique massique c dans les températures positives	**4,18 kJ/kg.°C**	**3,8 J/kg.°C**	**2,8 kJ/kg.°C**
Chaleur latente L de vaporisation	**2 257 kJ/kg**		

1 litre de N_2 qui passe de -196°C à 0°C en se vaporisant absorbe environ 300 kJ

1 kg de CO_2 qui passe de -79°C à 0°C en se sublimant absorbe environ 326 kJ

5.5. EXEMPLE DE CAS PRATIQUES, CALCULS NUMERIQUES

Ex 1. On verse 3 kg de potage à 50 °C dans une soupière en porcelaine de masse 1,5 kg à la température de 15 °C. Le potage se refroidit au contact de la soupière. Si on néglige les pertes thermique avec l'extérieur, calculez la température d'équilibre de l'ensemble (potage + soupière)

Chaleur massique du potage : 3,9 kJ $(kg.°C)^{-1}$ Chaleur massique de la porcelaine : 1,1 kJ $(kg.°C)^{-1}$

A l'équilibre thermique, si on considère que le potage et la soupière n'échangent de la chaleur qu'entre eux, on peut écrire :

$3 \times 3,9 \times (x - 50) + 1,5 \times 1,1 \times (x - 15) = 0$

$11,7\,x - 585 + 1,65\,x - 24,75 = 0$

$13,35\,x - 609,75 = 0$

$x = 609,75 / 13,35$

$\mathbf{x = 45,7\ °C}$

Ex 2. On veut rafraîchir une bouteille de vin blanc de 25 °C à 5 °C dans un seau à glace isotherme contenant 1 l d'eau à 15 °C. La masse de la bouteille en verre est 400 g, sa chaleur massique 0,9 kJ/kg.°C. La masse de vin est 750 g, sa chaleur massique 4,0 kJ/kg.°C. Calculez la masse minimale de glace à - 15 °C nécessaire à l'opération.

si on considère que l'échange de chaleur ne s'effectue qu'entre le vin, la bouteille, l'eau et la glace,
la chaleur perdue est :

$Qf = 0,75 \times 4 \times (5 - 25) + 0,4 \times 0,9 \times (5 - 25) + 1 \times 4,17 \times (5 - 15)$

$Qf = - 60 - 7,2 - 41,8 = - 109$ kJ

la chaleur gagnée est :

$Qc = x \times 2,1 \times (0 - (- 15)) + x \times 334 + x \times 4,18 \times (5 - 0)$

$Qc = x \times 31,5 + x \times 334 + x \times 20,9$

$Qc = x \times 386,4$

Si on néglige les pertes de chaleur, on peut écrire :

$Qf + Qc = 0$

$x \times 386,4 - 109 = 0$

$x = 109 / 386,4 = \mathbf{0,282\ kg}$

Ex 3. Pour déterminer la puissance d'une plaque chauffante électrique, on mesure la durée nécessaire à la vaporisation d' 1/2 l d'eau en ébullition à 100 °C. On trouve 9,5 min; Quelle est la puissance de la plaque ?

La quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation de 1/2 l d'eau est
$Q = 0,5 \times 2257 = 1128,5$ kJ
Le temps nécessaire est : $t = 9,5 \times 60 = 570$ s
La puissance de la plaque est donc
$P = E / t$
$P = 1128,5 / 570 = 1,979$ kW ≈ **2 kW**

Ex.4. La puissance d'un brûleur est 9,8 kW. Il entretient l'ébullition d'une solution aqueuse. Calculer la perte d'eau en masse au bout d'une demi-heure si la vapeur n'est pas recyclée.

$t = 0,5 \times 3600 = 1800$ s
$P = 9,5$ kW $= 9500$ W
L'énergie alors fournie est
$Q = P \times t = 9500 \times 1800 = 17\,200\,000$ J $= 17\,200$ kJ
Or cette énergie sert à vaporiser une masse m d'eau
et la chaleur latente de vaporisation de l'eau est $L = 2257$ kJ.kg^{-1}
Donc $Q = m \times L$
$17\,200 = m \times 2257$
$m = 17\,200 / 2257 =$ **7,57 kg**

Ex. 5. On mélange 60 l d'eau à 55 °C et 100 l d'eau à 10 °C. Quelle est la température finale ? Que faut-il supposer ?

Eau froide : $c = 4\,180$ J/kg.°C $m = 100$ kg $\theta_i = 10$°C $\theta_f = x$ °C
$\mathbf{Q_f = m\ c\ (\theta_f - \theta_i)} \Rightarrow Q_f = 100 \times 4\,180 \times (x - 10)$

Eau chaude : $c = 4\,180$ J/kg.°C $m = 60$ kg $\theta_i = 55$°C $\theta_f = x$ °C
$\mathbf{Q_c = m\ c\ (\theta_f - \theta_i)} \Rightarrow Q_c = 60 \times 4\,180 \times (x - 55)$

Si on suppose qu'il n'y a pas de pertes thermiques, l'eau chaude et l'eau froide n'échange de la chaleur qu'entre elles et :
$Q_f = -Q_c \Rightarrow 100 \times 4\,180 \times (x - 10) = -[60 \times 4\,180 \times (x - 55)]$
$\Rightarrow 100 \times (x - 10) = 60 \times (55 - x)$
$\Rightarrow 100x - 1\,000 = 60 \times 55 - 60x$
$\Rightarrow 100x - 1\,000 = 60 \times 55 - 60x$
$\Rightarrow 100x + 60x = 3\,300 + 1\,000$
$\Rightarrow 160x = 4\,300 \Rightarrow x = 4\,300 \div 160 =$ **26,875 °C ≈ 27 °C**

Ex. 6. On veut un bain à 37 °C dans une baignoire de 185 l. L'eau chaude est distribuée à 54 °C et l'eau froide à 8°C. Quelles quantités d'eau chaude et froide faut-il puiser ?

Eau froide : $c = 4\,180$ J/kg.°C $m = x$ kg $\theta_i = 8$°C $\theta_f = 37$ °C
$\mathbf{Q_f = m\,.\,c\,.\,(\theta_f - \theta_i)} \Rightarrow Q_f = x \times 4\,180 \times (37 - 8) = x \times 4\,180 \times 29$
Eau chaude : $c = 4\,180$ J/kg.°C $m = (185 - x)$ kg $\theta_i = 54$°C $\theta_f = 37$ °C
$\mathbf{Q_c = m\,.\,c\,.\,(\theta_f - \theta_i)} \Rightarrow Q_c = (185 - x) \times 4\,180 \times (37 - 54) = (185 - x) \times 4\,180 \times (-17)$

Si on suppose qu'il n'y a pas de pertes thermiques, l'eau chaude et l'eau froide n'échange de la chaleur qu'entre elles et :
$Q_f = -Q_c \Rightarrow x \times 4\,180 \times 29 = -[(x - 185) \times 4\,180 \times (-17)] \Rightarrow x \times 29 = (185 - x) \times 17$
$\Rightarrow 29x + 17x = 185 \times 17 \Rightarrow 46x = 3\,145 \Rightarrow x = 3\,145 \div 46 \Rightarrow x = 68,369\,565 \approx 68,37$ kg

Il faut donc **68,37 l d'eau froide** et 185 - 68,37 = **116,63 l d'eau chaude**

Ex. 7. Un bain-marie de puissance 3 kW a une contenance en eau de 14 l. On le remplit avec une eau froide à 12 °C. Si les pertes sont de 25 % , en combien de temps l'eau atteindra-t-elle une température au moins égale à 65 °C ?

P = 3 kW = 3 000 W Eau : c = 4 180 J/kg.°C m = 14 kg θ_i = 12°C θ_f = 65 °C

Q = m c (θ_f - θ_i) ⇒ Q = 14 × 4 180 × (65 - 12) = 3 101 560 J

Si il y a 25 % de pertes, cette énergie représente 75 % de l'énergie E que doit produire l'appareil.

E = 3 101 560 / 0,75 = 4 135 413,3 J

P = E / t ⇔ t = E / P ⇔ t = 4 135 413,3 ÷ 3 000 = 1 378,47 s ≈ **23 min**

données	chaleurs massiques moyennes usuelles en kJ/kg.°C		chaleur latente moyenne de (dé)congélation (- ou +)
	congelé	décongelé	en kJ/kg
viandes	1,80	2,76	234
légumes	1,96	3,85	313,5
H_2O	2,1	4,18	334

Ex 8. Un bain-marie de puissance 3 kW a une contenance en eau de 14 l. On le remplit avec une eau froide à 12 °C. Si les pertes sont de 25 % , en combien de temps l'eau atteindra-t-elle une température au moins égale à 65 °C ?

P = 3 kW = 3 000 W Eau : c = 4 180 J/kg.°C m = 14 kg θ_i = 12°C θ_f = 65 °C

Q = m c (θ_f - θ_i) ⇒ Q = 14 × 4 180 × (65 - 12) = 3 101 560 J

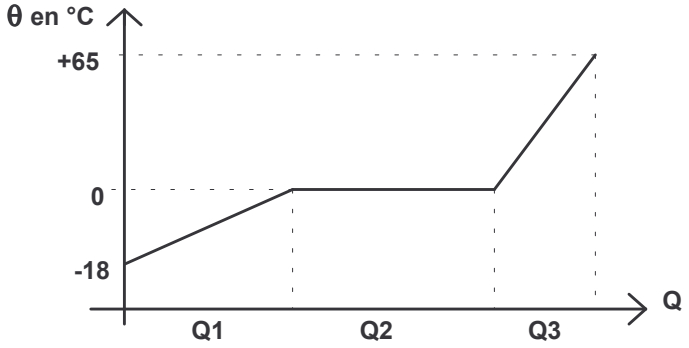
S'il y a 25 % de pertes, cette énergie représente 75 % de l'énergie E que doit produire l'appareil.

E = 3 101 560 / 0,75 = 4 135 413,3 J

P = E / t ⇔ t = E / P ⇔ t = 4 135 413,3 ÷ 3 000 = 1 378,47 s ≈ **23 min**

Ex.9. Calculez l'énergie nécessaire pour porter 7,5 kg de légumes surgelés de - 18 °C à + 65 °C.

légumes m = 7,5 kg



➔ de θ_i = -18°C à θ_f = 0 °C les légumes sont congelés c = 1,96 kJ/kg°C

la quantité de chaleur qu'il faut leur donner pour les amener de - 18 °C à 0°C est :

Q_1 = m . c . (θ_f - θ_i) = 7,5 × 1,96 × [0 - (-18)] = 264,6 kJ

➔ à 0°C les légumes décongèlent L = 313,5 kJ/kg

la quantité de chaleur qu'il faut donner aux légumes pour les décongeler à 0°C est :

Q_2 = m.L = 7,5 × 313,5 = 2 351,25 kJ

➔ de θ_i = 0°C à θ_f = 65 °C les légumes sont décongelés c = 3,85 kJ/kg°C

la quantité de chaleur qu'il faut leur donner pour les amener de 0°C à 65°C est :

Q_3 = m . c . (θ_f - θ_i) = 7,5 × 3,85 × (65 - 0) = 1 876,875 kJ

La quantité de chaleur qu'il faut donner à 7,5 kg de légumes surgelés pour les amener de - 18°C à 65°C est donc :

$Q_1 + Q_2 + Q_3$ = 264,6 + 2 351,25 + 1 876,875 = 4 492,725 kJ ≈ **4 493 kJ**

$Q_1 + Q_2 + Q_3$ ≈ 4 492,725 ÷ 3 600 ≈ 1,25 kWh

$Q_1 + Q_2 + Q_3$ ≈ 4 492,725 ÷ 4,18 ≈ 1 075 kcal

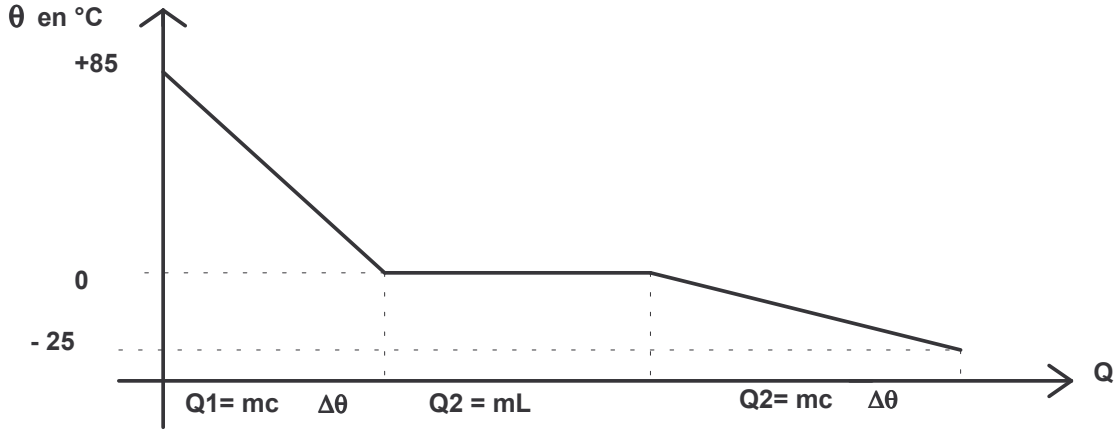
<u>Ex. 10</u>. Dans une cellule de refroidissement rapide, on surgèle 15 kg de viande et 25 kg de légumes cuisinés. La température d'entrée des produits est + 85 °C et leur température de sortie est - 25 °C.

a) Calculez la quantité de chaleur qui doit être prise aux produits par la cellule.

b) Celle-ci a un rendement de 65 % , calculez en kW.h l'énergie électrique consommée et le coût de l'opération si le prix du kW.h électrique est 0,4968 F.

c) Si on veut que cette opération se fasse en 45 minutes, calculez la puissance nécessaire de la cellule.

a)



viande m = 15 kg	légumes m = 25 kg
➔ de θ_i = 85°C à θ_f = 0 °C la viande est décongelée c = 2,76 kJ/kg°C la quantité de chaleur qu'il faut lui prendre pour l'amener de 85°C à 0°C est : $Q_1 = m.c.(\theta_f - \theta_i) = 15 \times 2,76 \times (0 - 85) = -3\,519$ kJ	➔ de θ_i = 85°C à θ_f = 0 °C les légumes sont décongelés c = 3,85 kJ/kg°C la quantité de chaleur qu'il faut leur prendre pour les amener de 85°C à 0°C est : $Q_1 = m.c.(\theta_f - \theta_i) = 25 \times 3,85 \times (0 - 85) = -8\,181,25$ kJ
➔ à 0°C la viande gèle L = - 234 kJ/kg la quantité de chaleur qu'il faut prendre à la viande pour la congeler à 0°C est : $Q_2 = m.L = 15 \times (-234) = -3\,510$ kJ	➔ à 0°C les légumes gèlent L = - 313,5 kJ/kg la quantité de chaleur qu'il faut prendre aux légumes pour les congeler à 0°C est : $Q_2 = m.L = 25 \times (-313,5) = -7\,837,5$ kJ
➔ de θ_i = 0°C à θ_f = -25°C la viande est congelée c = 1,8 kJ/kg°C la quantité de chaleur qu'il faut lui prendre pour l'amener de 0°C à - 25 °C est : $Q_3 = m.c.(\theta_f - \theta_i) = 15 \times 1,8 \times (-25 - 0) = -675$ kJ	➔ de θ_i = 0°C à θ_f = -25°C les légumes sont congelés : c = 1,96 kJ/kg°C la quantité de chaleur qu'il faut leur prendre pour les amener de 0°C à - 25 °C est : $Q_3 = m.c.(\theta_f - \theta_i) = 25 \times 1,96 \times (-25 - 0) = -1\,225$ kJ
La quantité de chaleur qu'il faut prendre à 1,5 kg de viande pour l'amener de 85°C à - 25°C est donc : **$Q_1 + Q_2 + Q_3$ = - 3 519 - 3 510 - 675 = - 7 704 kJ**	La quantité de chaleur qu'il faut prendre à 2,5 kg de légumes pour les amener de 85°C à - 25°C est donc : $Q_1 + Q_2 + Q_3 = -8\,181,25 - 7\,831,25 - 1\,225 =$ **17 263,75 kJ**

La quantité de chaleur qu'il faut prendre au plat cuisiné constitué de 15 kg de viande et 25 kg de légume pour l'amener de 85°C à - 25°C est alors :

$Q = (-7\,704) + (-17\,263,75) =$ **24 967,75 kJ**

$Q = 24\,967,75 \div 4,18 \approx 5\,973$ kcal $Q = 24\,967,75 \div 3\,600 \approx$ **6, 94 kWh ≈ 6 940 Wh**

b) $E_u = Q = 6,94$ kWh $r = 65\% = 0,65$ $r = \frac{E_u}{E_a} \Leftrightarrow E_a = \frac{E_u}{r} \Leftrightarrow E_a = 6,94 \div 0,65 \approx 10,68$ kWh

Si 1 kWh coûte 0,4968 F, le coût de l'opération sera : $10,68 \times 0,4968$ **≈ 5,3 F**

c) t = 45 min = 0,75 h $E_a = 10,68$ kWh $E_u = 6,94$ kWh

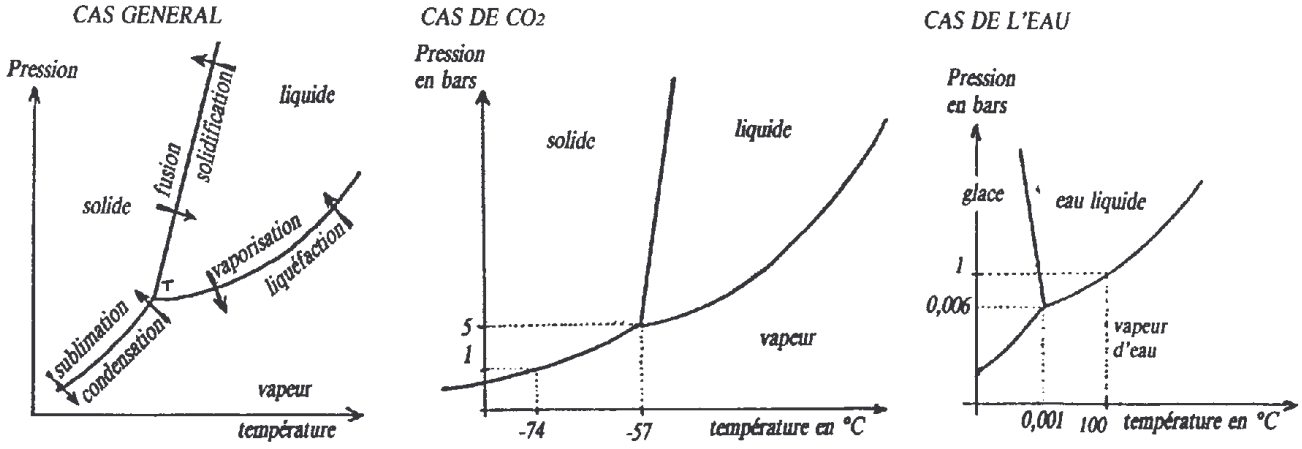
$P_u = \frac{E_u}{t} \Leftrightarrow P_u = 6,94 \div 0,75 \approx$ **9,25 kW** (puissance frigorifique)

$P_a = \frac{E_a}{t} \Leftrightarrow P_a = 10,68 \div 0,75 \approx 14,24$ kW (puissance électrique absorbée)

6. ETAT GAZEUX ET VAPORISATION

6.1. PRESSION

Comme la température, c'est une grandeur qui détermine l'état d'un corps (**grandeur d'état**)



Cas CO2 : **La pression du point triple étant supérieure à la pression atmosphérique normale : le CO2 solide se sublime sous une pression ordinaire.**

Cas eau : **La courbe de fusion (équilibre eau ⟷ glace" a une pente exceptionnellement négative : une augmentation de pression favorise la fusion. A une température inférieure à 0°C, la glace, sous vide, se sublime en vapeur d'eau : procédé de lyophilisation des aliments.**

Pour chaque corps pur, on peut représenter graphiquement l'évolution des points de changement d'état (pression et température) et déterminer l'état (ou les changements d'état) d'un corps en fonction des conditions de température et de pression et de leurs modifications.
Le point (pression et température où les 3 phases (solide, liquide et gazeuse) coexistent est appelé point triple.

6.1.1. Unités de pression

Dans le S.I. la pression s'exprime en Pascal (Pa), c'est une unité très petite : 1 pascal est la pression exercée sur une surface de 1 m² par une force pressante de 1 Newton.

On utilise plutôt son multiple le bar.

1 bar = 10^5 Pa = 100 000 Pa 1 hectoPascal = 1 millibar

On utilise aussi l'atmosphère (atm) et le cm de mercure:

1 atm = 101 325 Pa # 1 bar 1 cm de mercure # 1 330 Pa

6.1.2. Pression dans un liquide au repos

<u>Principe fondamental de l'hydrostatique</u> : la différence de pression **Δp** entre deux points d'un liquide en équilibre est égal au produit du poids volumique **ϖ** du liquide par la dénivellation **h** entre ces deux points (distances entre les plans horizontaux contenant ces points).

$$\Delta p = \varpi \times h$$

Δp en Pascals **ϖ poids volumique en N/m³** **or** $\varpi = \rho \times g$
ρ masse volumique en kg/m³
g accélération de la pesanteur au lieu considéré en N/kg

$$\boxed{\Delta p = \rho \times g \times h}$$

Unité utilisée en ventilation :	**le mm de colonne d'eau (mm CE)**	
h = 1mm = 10^{-3} m	pour l'eau ρ =1 000 kg/m³ = 10^3 kg/m³	à Paris g = 9,81 N/kg
1 mm CE équivaut donc à :	$10^3 \times 9{,}81 \times 10^{-3}$ = 9, 81 Pa ≈ 10 Pa ≈ 0,1 hPa ≈ 0,1 mbar	**1 mm CE ≈ 0,1 mbar**
de même	**le cm de colonne d'eau (cm CE) : 1 cm CE ≈1 hPa ≈ 1 mbar 10 m CE ≈ 1 bar ≈ 1 atm**	

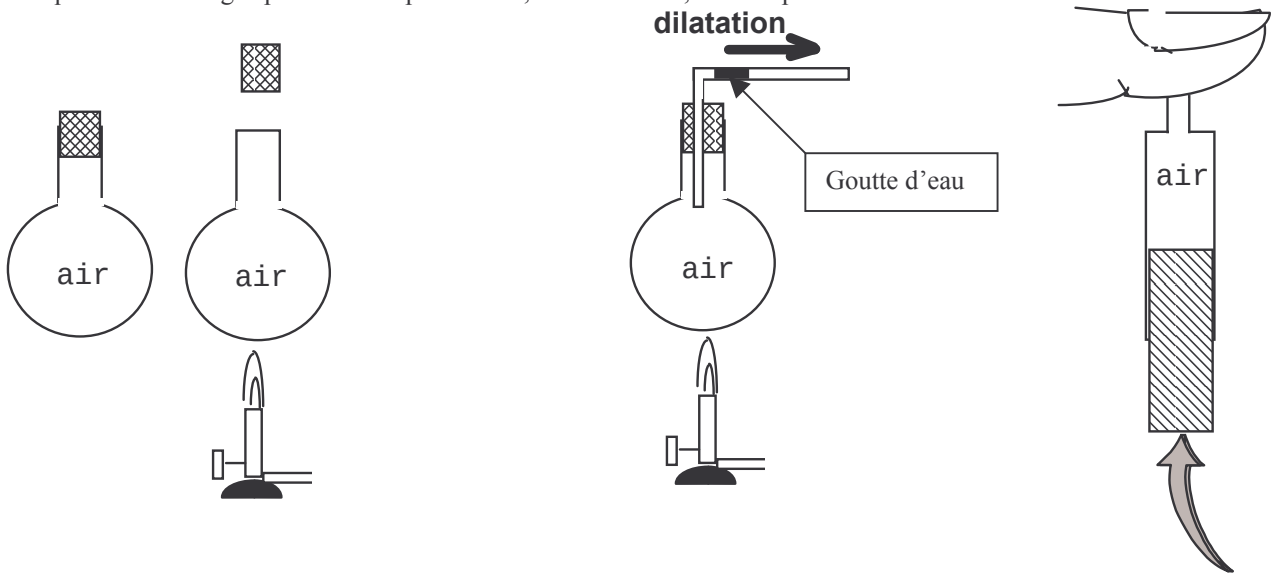
6.1.3. Pression d'un gaz au repos

La pression exercée par un gaz dans une enceinte est due au bombardement incessant des parois par les molécules en agitation thermique. Elle est la même en tout point du gaz et caractérise l'état du gaz, en étant à notre échelle la traduction de l'agitation et des chocs moléculaires.

Pression atmosphérique : C'est la pression exercée par l'atmosphère sur toute surface en contact avec elle. Elle varie avec l'altitude, le lieu, les conditions météorologiques et le temps qui passe (les masses d'air chaud ont un plus faible poids volumique que les masses d'air froid et elles se déplacent par convection).
Pression atmosphérique normale : elle correspond à une dénivellation de 76 cm de mercure, à 0°C, au niveau de la mer et à la latitude 45°.

6.2. PROPRIETES DES GAZ

Une quantité fixe de gaz présente une pression P , un volume V , une température T



V constant, T augmente => P augmente

P constant , T augmente => V augmente

T constant, V diminue => P augmente

On montre que pour une quantité donnée de matière à l'état gazeux, on a : $\frac{P \times V}{T}$ = Constante

- ➔ si T constant : P augmente <=> V diminue ou P diminue <=> V augmente
- ➔ si P constant (par exemple sous la pression atmosphérique)
  T augmente ⇔ V augmente ou T diminue ⇔ V diminue (dilatation)
- ➔ si V constant (par exemple dans un récipient indéformable)
  T augmente ⇔ P augmente ou T diminue ⇔ P diminue

6.3. GAZ PARFAIT

Un gaz est caractérisé par :

- **n** le nombre de mole de molécules (quantité de matière)
- **P** la pression du gaz en Pa
- **V** le volume du gaz en m^3
- **T** la température absolue du gaz en Kelvin

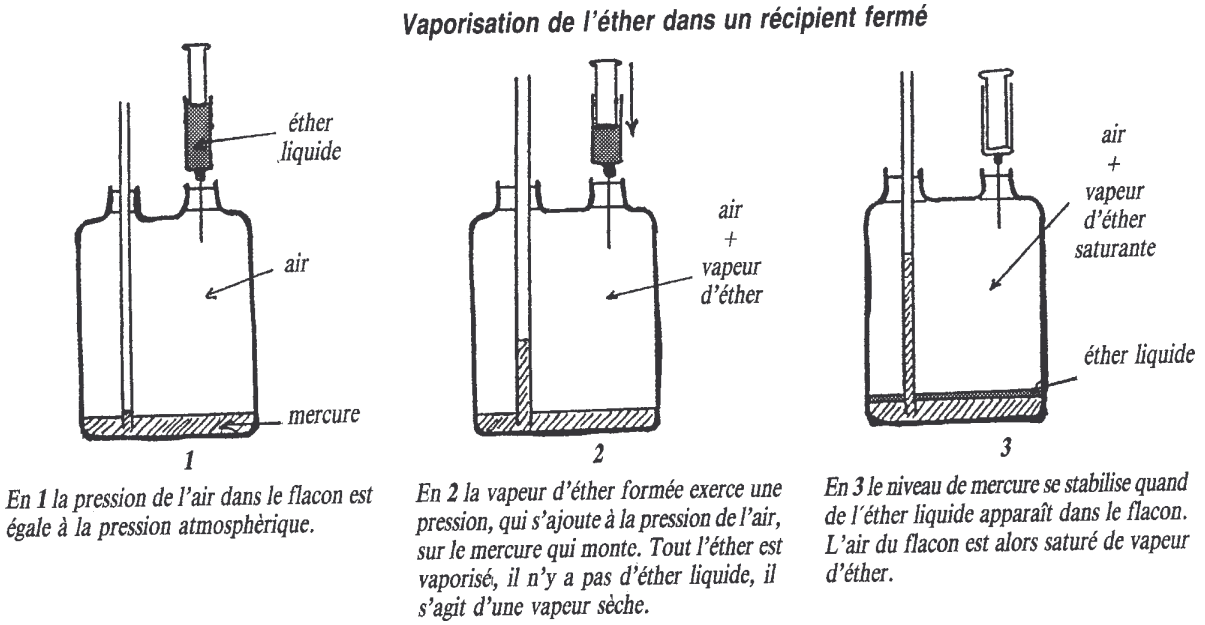
Aux températures usuelles les gaz suivent approximativement la loi des gaz parfaits :

P . V = n . R . T R constante des gaz parfait = 8,31441 $J.mol^{-1}.K^{-1}$

A 0°C, sous pression atmosphérique normale, une mole de n'importe quel gaz occupe un volume de $8{,}31441 \times 273 \div 101\,325 = 0{,}0224\ m^3 = 22{,}4$ litres

Les gaz s'écartent progressivement du comportement d'un gaz parfait lorsqu'ils s'approchent des conditions de température et de pression pour lesquelles ils se liquéfient.

6.4. PRESSION DE VAPEUR, VAPEUR SECHE, VAPEUR SATURANTE



Tout liquide émet à tout moment une certaine quantité de vapeur qui exerce donc une certaine pression P_V dite **pression de vapeur**. Quand le liquide se vaporise totalement, la vapeur obtenue, qui n'est pas en présence du liquide, est dite **vapeur sèche**.
Pour une température donnée, la pression de vapeur émise par un liquide est maximale quand l'équilibre entre la vapeur et le liquide est atteint. La vapeur est alors appelée **vapeur saturante** ou vapeur "humide". Sa pression est appelée **pression de vapeur saturante** P_{VS} (ou tension maximale de vapeur ou point de saturation). La pression de vapeur saturante P_{VS} dépend de la nature du corps (elle est d'autant plus élevée que le liquide est plus volatil) et varie avec la température: elle croit fortement si la température s'élève et diminue si la température baisse (application: dans les cuiseurs à vapeur sèche, la vapeur surchauffée peut atteindre une pression élevée sans se condenser).

L'évaporation est la vaporisation lente d'un liquide par sa surface en contact avec l'atmosphère. (Application : séchage du linge). L'évaporation absorbe de la chaleur (sensation de froid en sortant de l'eau, rôle de la transpiration dans la thermorégulation du corps...)

Loi de Dalton relative à l'évaporation

v vitesse d'évaporation (masse de liquide évaporée par unité de temps)
S surface libre du liquide
P pression totale subie par la surface du liquide (de la part de l'atmosphère qui règne au-dessus du liquide)
P_V pression de la vapeur au dessus du liquide
P_{VS} pression de vapeur saturante à la température considérée

$$v = C^{te} \times S \times \frac{P_{VS} - P_V}{P}$$

Conséquences : si T ↗ alors P_{VS} ↗ ⇒ v ↗ si S ↗ ⇒ v ↗ si P ↘ ⇒ v↗
si $P_V < P_{VS}$ il y a évaporation avec production de vapeur sèche
si $P_V = P_{VS}$ il y a équilibre vapeur saturante / liquide de la surface

L'ébullition est la vaporisation rapide et tumultueuse d'un liquide sous forme de bulles de vapeur qui prennent naissance au sein du liquide. Il s'agit d'une vaporisation dans la masse du liquide et pas seulement en surface comme dans l'évaporation.
Sous une pression constante, l'ébullition d'un corps pur a lieu à une température fixe (appelée point d'ébullition) et la température reste constante tant que dure l'ébullition.
La température d'ébullition augmente et diminue en même temps que la pression régnant au dessus du liquide.

Ex.: - si la pression dans une "Cocotte-Minute" est de 1,75 atmosphère, l'eau reste liquide jusqu'à 115 °C et les aliments cuisent plus vite.
- au sommet du Mont-Blanc, la pression atmosphérique est d'environ 0,6 atmosphère et l'eau bout à l'air libre à 85 °C, (au sommet de l'Everest à 71 °C).

Interprétation : Pour chaque corps pur, la pression de sa vapeur saturante P_{VS} augmente avec la température T. Si on chauffe un liquide, sa température T augmente et la pression de vapeur saturante P_{VS} augmente avec T. Tant que le corps reste liquide, la pression atmosphérique P subie par le liquide, reste supérieure à sa pression de vapeur saturante ($P_{VS} < P$). A un moment donné, la pression de vapeur saturante P_{VS}, qui augmente avec T, devient égale à la pression que le liquide subit ($P_{VS} = P$). Toute la masse du liquide est alors, à cette température, en équilibre avec sa vapeur et peut se vaporiser, l'ensemble du liquide entre en ébullition.

Loi fondamentale : **Un liquide, sous une pression donnée P subie par le liquide, bout à une température θ_e qui correspond à une pression de vapeur saturante P_{VS} du corps égale à la pression P supportée par le liquide**.

Cas de l'eau		
Température en °C ➔	**Pression de vapeur saturante de la vapeur d'eau**	
	en bars ou atm	en cm de mercure
0,01	0,006	0,46
10	0,012	0,92
20	0,023	1,75
30	0,041	3,15
40	0,072	5,51
50	0,121	9,23
60	0,196	14,90
70	0,307	23,30
80	0,467	35,50
81	0,500	38,00
90	0,691	52,50
95	0,834	63,40
96	0,866	65,80
97	0,897	68,20
98	0,929	70,60
99	0,963	73,20
100	1,000	76,00
118	1,838	139,70
120	2,000	152,00
143	4,000	304,00
164	7,000	532,00
170	8,000	608,00
Température d'ébullition de l'eau	➔ **Pression subie par l'eau**	

La **formule de Duperray** n'est valable qu'en première approximation entre 100°C et 250°C

$$P = \left(\frac{\theta e}{100}\right)^4$$

P pression en atmosphère θ_e en °C

7. CHANGEMENTS D'ETATS D'UNE SOLUTION BINAIRE

m masse de soluté

m' masse de solvant

M masse molaire du soluté

$$\boxed{S = \frac{m}{m'}}$$

concentration de la solution

Si S est égal à la solubilité du soluté dans le solvant considéré, à la température considérée, S est maximal et on a une solution saturée, avec présence de soluté solide.

Lois de Raoult :

Le solvant voit son point de congélation abaissé de $\Delta\theta = Kf \cdot \frac{S}{M}$

Kf constante cryoscopique du solvant

Le solvant voit son point d'ébullition élevé de $\Delta\theta = Ke \cdot \frac{S}{M}$

Ke constante ébullioscopique du solvant

Application : les antigels, le salage des routes ...

Exemple : pour l'eau Kf = 1,85 °C.kg / mol Ke = 0,52 °C.kg / mol

Or la masse molaire du chlorure de Sodium est 58,5 g

⇨ de l'eau salée à 7 % sous pression atmosphérique normale gèle donc à : $0 - \frac{1,85 \times 0,07}{0,0585} = \mathbf{-2,21\ °C}$

et bout à : $100 + \frac{0,52 \times 0,07}{0,0585} = \mathbf{100,62\ °C}$ (Na = 23 g Cl = 35,5 g ⇨ M = 58,5 g = 0,0585 kg)

⇨ De même le sérum physiologique (solution aqueuse de Na Cl à 9 °/°°) gèle à : $0 - \frac{1,85 \times 0,009}{0,0585} = \mathbf{-0,28\ °C}$

et bout à : $100 + \frac{0,52 \times 0,009}{0,0585} = \mathbf{100,08\ °C}$

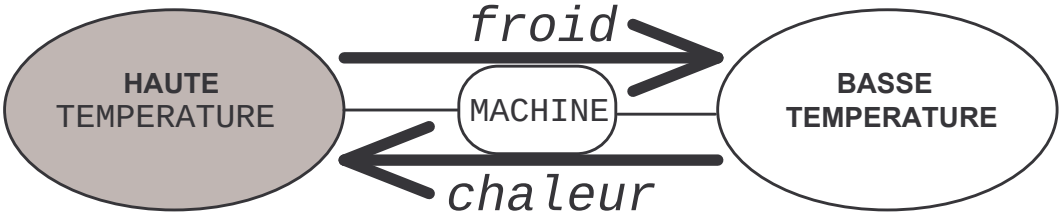
8. TRANSFERTS DE CHALEUR

Entre deux corps, à des températures différentes, se produit un flux calorifique, la chaleur se déplace du corps chaud vers le corps froid jusqu'à l'équilibre thermique. Aucun moyen ne peut empêcher l'échange de chaleur, seule son intensité peut être modifiée.
La chaleur se propage de 3 façons :

- ➔ par conduction dans les solides,
- ➔ par convection dans les fluides (liquides et gaz)
- ➔ par rayonnement dans le vide ou un milieu transparent.

Le corps chaud se refoidit **Le corps froid se réchauffe**

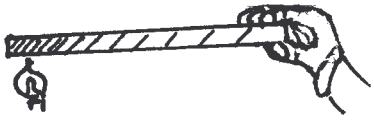
L'échange de chaleur s'effectue toujours spontanément du corps le plus chaud vers le plus froid. L'inverse ne peut se faire de lui-même et nécessite l'intervention d'une machine thermodynamique.

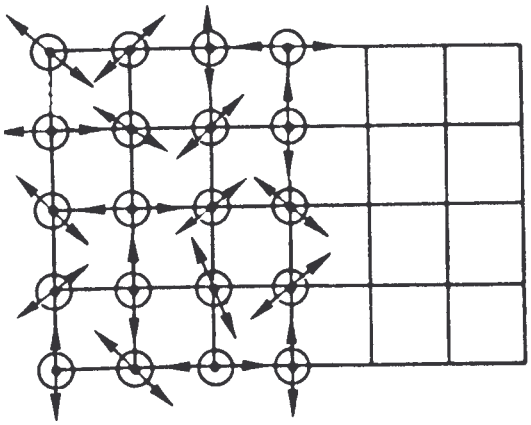


Le corps chaud se réchauffe **Le corps froid se refroidit**

8.1. PROPAGATION PAR CONDUCTION

La chaleur se propage d'un point à un autre du matériau en passant d'un grain de matière (molécule, atome) à l'autre. La transmission de l'énergie s'effectue au cours des chocs entre les molécules ou atomes, dus à l'agitation thermique.





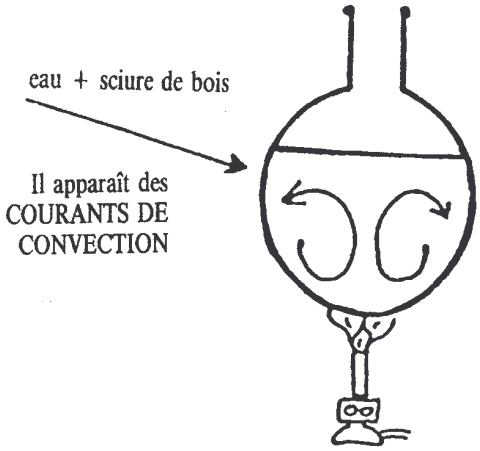
Les métaux et alliages sont de bons conducteurs de la chaleur, d'où leur emploi pour les batteries et appareils culinaires (cuivre, aluminium, fonte...). Remarque : Les bons conducteurs de la chaleur le sont aussi de l'électricité.
L'amiante, le liège, le feutre sont des isolants thermiques. L'air est un bon isolant, par conséquent tous les matériaux contenant de l'air le sont aussi : laine, plume, fourrures, matières plastiques expansées, laine de verre....
Le bois, le verre, la porcelaine, les matières plastiques sont des matériaux intermédiaires.
Les fluides (liquides ou gaz) immobiles sont de mauvais conducteurs de la chaleur, mais ils propagent facilement la chaleur par convection en entrant en mouvement.

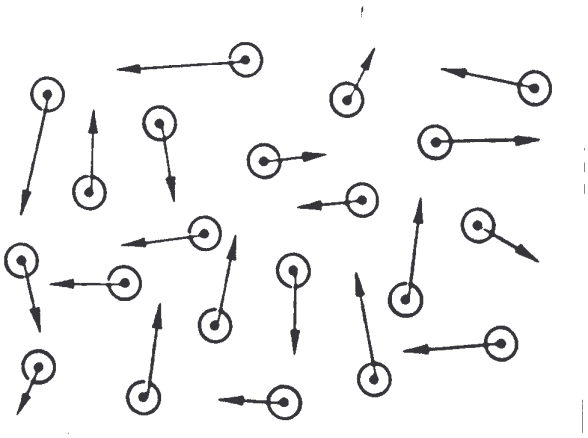
Applications de la transmission de chaleur par conduction :

- ⇨ cuisson par contact avec l'ustensile culinaire (poêle, sauteuse, grill, etc..., l'adjonction d'une petite quantité de corps gras assure un meilleur contact).
- ⇨ transmission de la chaleur aux récipients culinaires par les plaques électriques, la plaque du fourneau.... (les poignées doivent être donc isolées.)
- ⇨ passage de la chaleur de l'eau du chauffage central à la fonte des radiateurs...

8.2. PROPAGATION PAR CONVECTION

Dans un fluide chauffé, il apparaît des courants de convection à cause des différences de masse volumique entre le fluide chaud et le fluide froid. En effet, le fluide chaud en se dilatant a une masse volumique plus faible que celle du fluide froid. Par application du principe d'Archimède, le fluide chaud, qui a une densité par rapport au fluide froid inférieure à 1, va monter, le fluide froid, lui, va descendre.





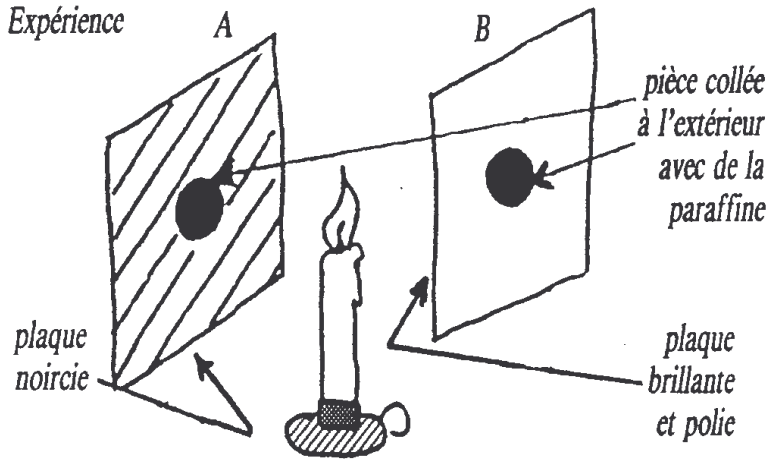
Applications : tirage d'une cheminée, circulation par thermosiphon, chauffage à air chaud, ventilation naturelle, four à convection, lampes d'ambiance animées, phénomènes atmosphériques, vents...
cuisson des aliments par immersion (dans l'eau, l'huile ...)

8.3. PROPAGATION PAR RAYONNEMENT

Tous les corps émettent de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, dues aux oscillations des électrons des atomes constituant la matière. Absorbée par un autre corps, cette énergie rayonnée se transforme alors en chaleur. Cette transmission de chaleur par rayonnement se fait dès que deux corps, à des températures différentes, sont séparés par un milieu perméable aux ondes. Ce transfert ne nécessite aucun support matériel et se produit même dans le vide. L'énergie reçue par la surface du corps froid se divise en 3 parties (une partie est réfléchie, une partie traverse le corps, une partie est absorbée par le corps et élève sa température).

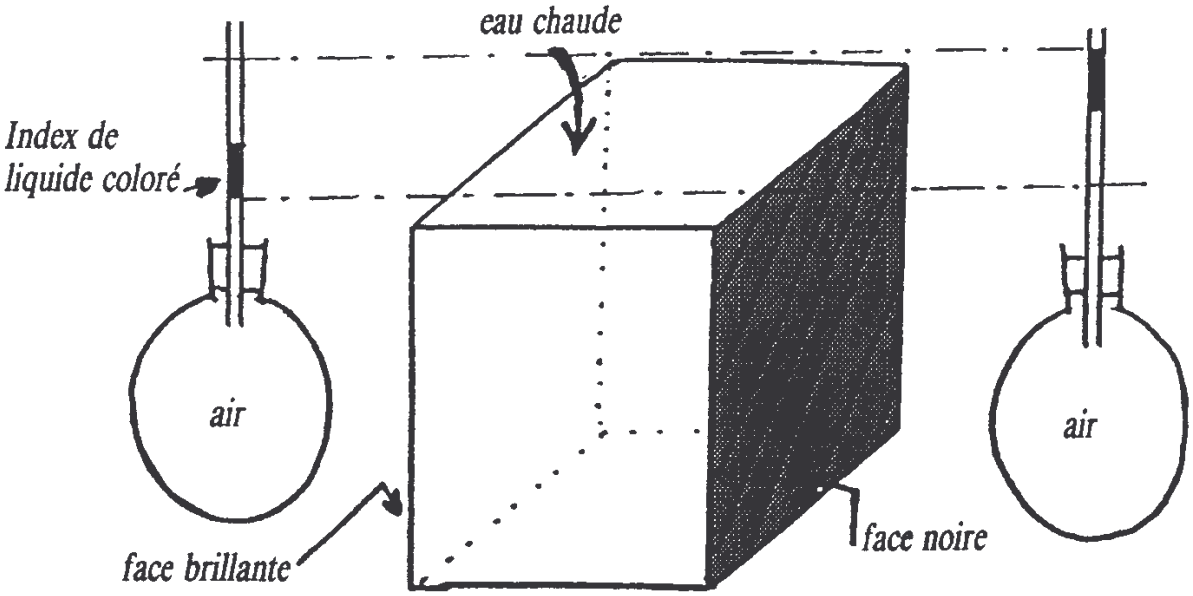
Applications : maisons solaires, capteurs solaires, fours à micro-ondes, appareils de chauffage à infra rouge ...

Absorption de rayonnement, rôle de l'état de surface

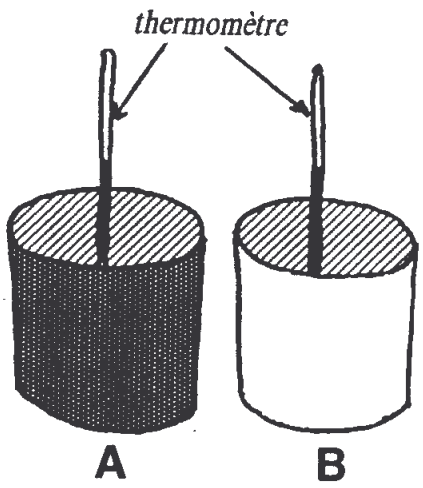


La pièce A tombe la première

Emission du rayonnement, rôle de l'état de surface



La face noire rayonne plus que la face brillante



A : récipient noirci
B : récipient brillant

Si on les remplit tous deux d'eau chaude, en les laissant à l'air ambiant, c'est A qui se refroidit le plus vite.

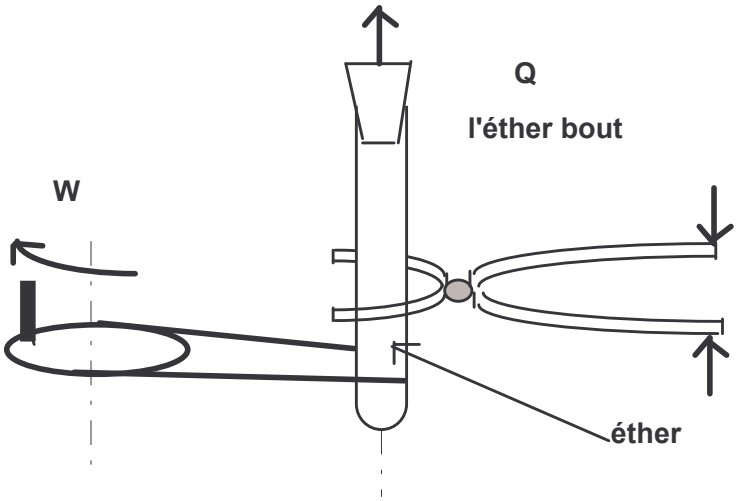
Si on les remplit tous deux de glace, en les laissant à l'air ambiant, c'est A qui se réchauffe le plus vite.

Ce sont les corps noirs et mats qui émettent le mieux et absorbent le mieux l'énergie rayonnante.

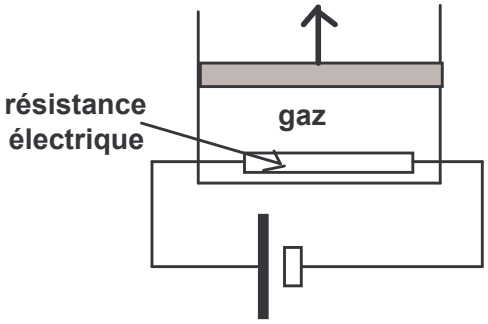
Ce sont les corps clairs et brillants qui émettent le moins et absorbent le moins l'énergie rayonnante.

9. TRAVAIL ET CHALEUR

EQUIVALENCE TRAVAIL MECANIQUE - CHALEUR



W ➔ Q



Q ➔ W

Cas du moteur thermique : un mélange air / essence est comprimé et enflammé ➔ chaleur ➔ pression des gaz de combustion ➔ force pressante sur le piston.

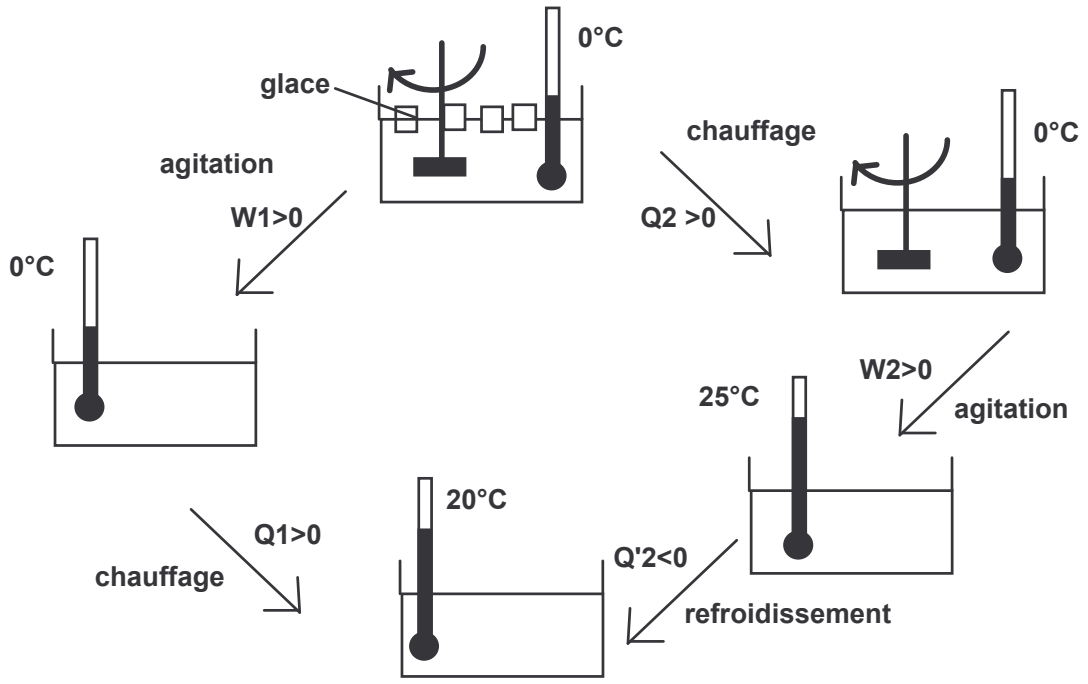
Convention de signe :

W reçu par le système ⇨ W > 0
Q reçu par le système ⇨ Q > 0

W cédé par le système ⇨ W < 0
Q cédé par le système ⇨ Q < 0

10. PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

Dans une transformation où un système échange du travail W et de la chaleur Q avec l'extérieur, $W + Q = C^{te}$ et ne dépend que de l'état initial et de l'état final (indépendamment du chemin des transformations suivi). C'est le **principe de l'état initial et de l'état final.**



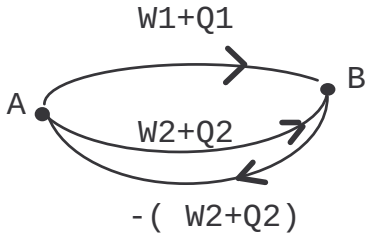
$$Q_1 + W_1 = Q_2 + W_2 + Q'_2$$

Cas d'une transformation cyclique : le système revient à son état initial

$W_1 + Q_1 = W_2 + Q_2 \Rightarrow (W_1 + Q_1) - (W_2 + Q_2) = 0$

Au cours d'un cycle : $W + Q = 0$

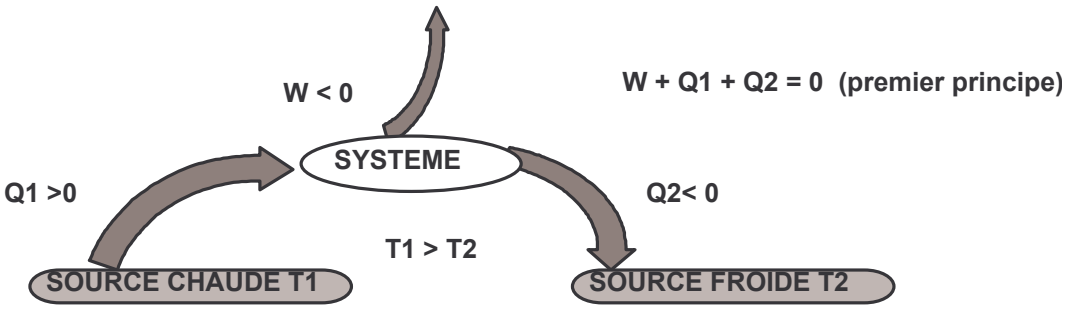
Ce premier principe permet de calculer les bilans énergétiques mais n'indique pas la possibilité d'une transformation



11. DEUXIEME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

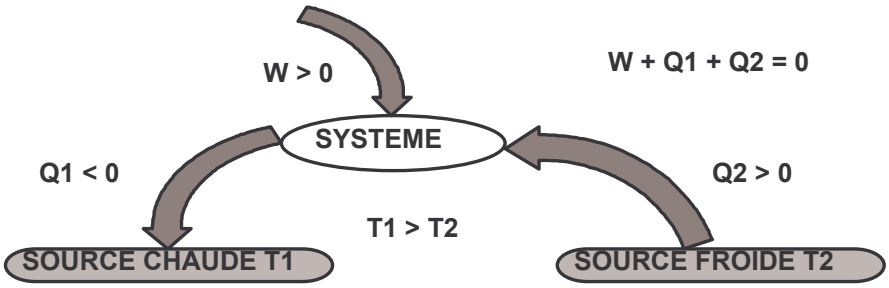
Il est impossible de réaliser une machine thermique qui échange de la chaleur avec une seule source

Un **moteur thermique** ne peut, au cours d'un cycle de transformations, fournir du travail mécanique **W**, que s'il prend de la chaleur $\mathbf{Q_1}$ à une source chaude à la température $\mathbf{T_1}$ et en restitue une partie $\mathbf{Q_2}$ à une source froide $\mathbf{T_2}$.



Cas du moteur à explosion source froide : corps du moteur refroidi par l'eau du radiateur
source chaude : gaz de combustion

A l'inverse d'un moteur thermique, une **machine frigorifique ou pompe à chaleur,** au cours d'un cycle de transformations, absorbe du travail mécanique **W**, prend de la chaleur $\mathbf{Q_2}$ à une source froide à la température **T2** et restitue de la chaleur $\mathbf{Q_1}$ à une source chaude $\mathbf{T_1}$



12. THEOREME DE CARNOT

Théorème de Carnot : Dans les **conditions optimales de fonctionnement** d'une machine thermique (cycles de transformations réversibles) on a :

$$\boxed{\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \Leftrightarrow -\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad T_1 \text{ et } T_2 \text{ en K}}$$

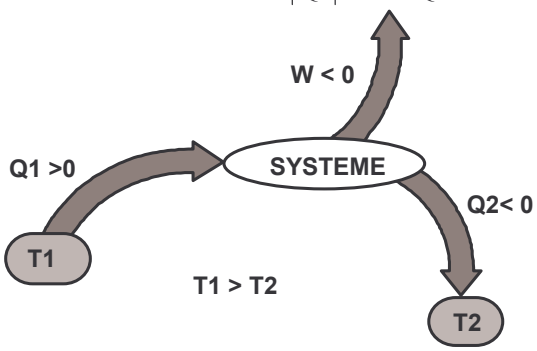
Dans le cas général on a : $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \Leftrightarrow -\frac{Q_1}{Q_2} \leq \frac{T_1}{T_2}$

13. RENDEMENT THERMIQUE D'UNE MACHINE THERMIQUE

13.1. RENDEMENT THERMIQUE D'UN MOTEUR THERMIQUE

Energie utile : $W < 0$ énergie absorbée : $Q_1 > 0$

rendement : $r = \left|\frac{W}{Q_1}\right| = -\frac{W}{Q_1}$



au cours d'un cycle de la machine

or $W + Q_1 + Q_2 = 0$ (1er principe)

donc $W = -Q_1 - Q_2$

d'où $r = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$

$r < 1$

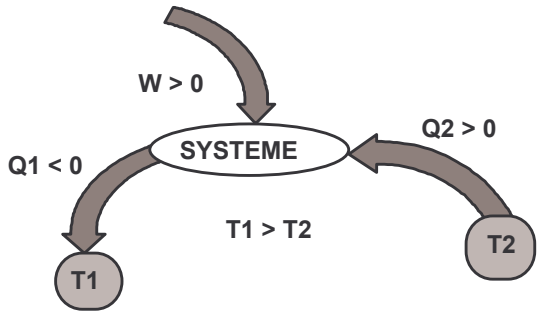
D'après le théorème de Carnot, on a au maximum

$-\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$

Le rendement maximal d'un moteur thermique est donc

$$\boxed{r_{max} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Leftrightarrow r \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

13.2. RENDEMENT THERMIQUE D'UNE POMPE A CHALEUR OU D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE



Energie absorbée : $W > 0$

Energie utile : 2 cas

machine frigorifique : $Q_2 > 0$

thermopompe : $Q_1 < 0$

(pompe à chaleur destinée au chauffage)

$W = -Q_1 - Q_2$

13.2.1.Rendement thermique d'une machine frigorifique :

$$r = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{-Q_1 - Q_2} = \frac{-\frac{Q_2}{Q_1}}{\frac{Q_1}{Q_1} + \frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{-\frac{Q_2}{Q_1}}{1 + \frac{Q_2}{Q_1}}$$

Or on a au maximum (théorème de Carnot) : $-\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \Leftrightarrow -\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ Donc :

$$\boxed{\mathbf{r_{max}} = \frac{\frac{T_2}{T_1}}{1 - \frac{T_2}{T_1}} = \frac{\frac{T_2}{T_1}}{\frac{T_1}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}} \Rightarrow r_{max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}}$$

Il est possible que $T_1 - T_2 < T_2$ et alors $r_{max} > 1$, r est appelé ***efficacité e*** plutôt que rendement.
Plus $T_1 - T_2$ est petit, plus T_1 et T_2 ont des valeurs proches, meilleure est l'efficacité de l'appareil.
Plus l'écart entre T_1 et T_2 sera grand, plus l'efficacité sera mauvaise. L'implantation d'un appareil frigorifique doit en tenir compte (si possible dans un local non chauffé ou loin d'une source de chaleur).

$$e_{max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \qquad e \leq \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

13.2.2.Rendement thermique d'une thermopompe :

$$r = -\frac{Q_1}{W} = \frac{-Q_1}{-Q_1 - Q_2} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{\frac{Q_1}{Q_2}}{\frac{Q_1}{Q_2} + \frac{Q_2}{Q_2}} = \frac{\frac{Q_1}{Q_2}}{1 + \frac{Q_1}{Q_2}}$$

Or on a au maximum (théorème de Carnot) : $-\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ Donc :

$$\boxed{\mathbf{r_{max}} = \frac{-\frac{T_1}{T_2}}{1 - \frac{T_1}{T_2}} = \frac{-T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow r_{max} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}}$$

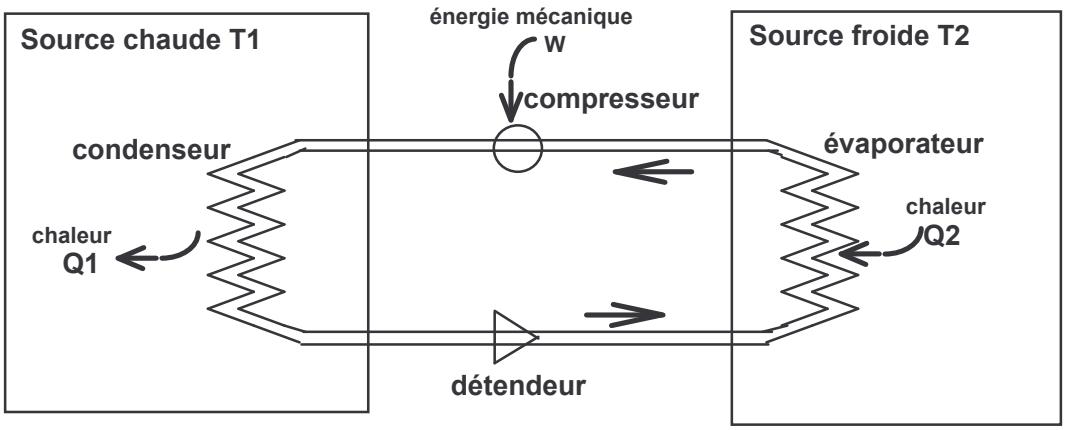
Il est possible que $T_1 - T_2 < T_2$ et alors $r_{max} > 1$, r est appelé ***efficacité*** ou ***coefficient de performance*** **CoP** plutôt que rendement.
Plus $T_1 - T_2$ est petit, plus T_1 et T_2 ont des valeurs proches, meilleure est le CoP de l'appareil. Plus l'écart entre T_1 et T_2 sera grand, plus le CoP sera mauvais.

$$\boxed{CoP_{max} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \qquad CoP \leq \frac{T_1}{T_1 - T_2}}$$

$$e_{max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \qquad e \leq \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

14. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES A CHALEUR

Une machine frigorifique est un cas particulier de pompe à chaleur ou machine thermique qui permet d'inverser la loi des échanges thermiques : elle sert à transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude.



Une pompe à chaleur est une machine thermodynamique dans laquelle le système qui évolue (un fluide circulant en circuit fermé) revient à son état initial après avoir :

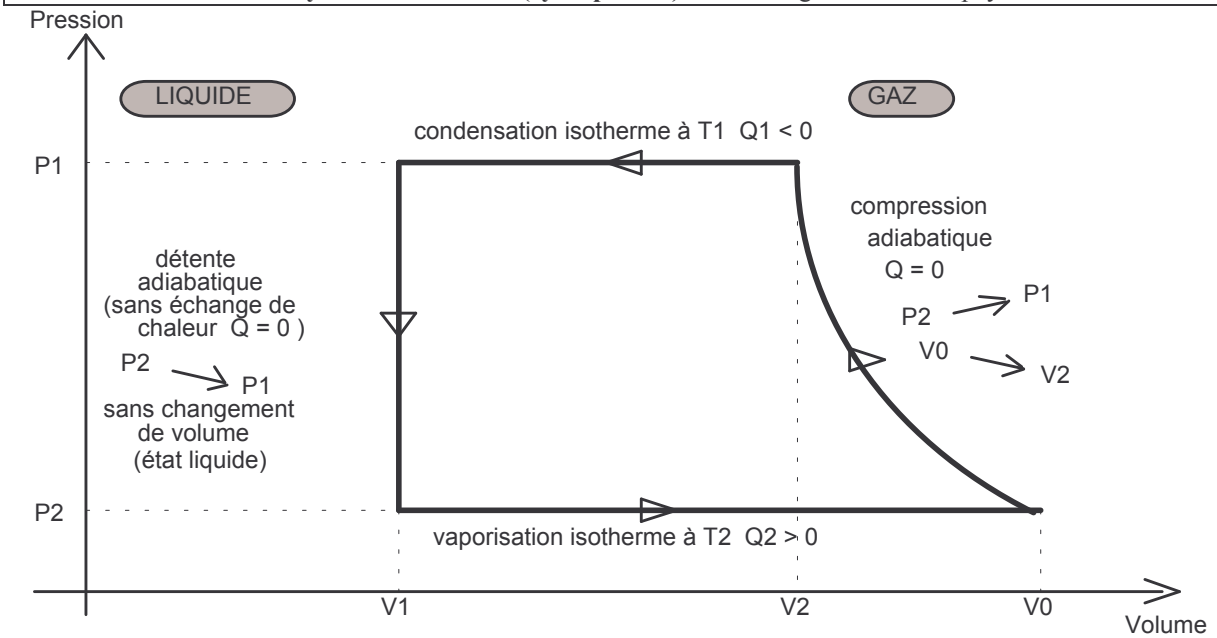
- ⇨ reçu de l'énergie mécanique ($W > 0$) dans le **compresseur**,
- ⇨ enlevé une quantité de chaleur ($Q_1 > 0$) à une source froide à la température T_2 , en se vaporisant (le liquide devient gazeux, changement d'état endothermique) dans **l'évaporateur** ou **échangeur froid**
- ⇨ restitué une quantité de chaleur ($Q_1 < 0$) à une source chaude à la température T_1, en se condensant (le gaz devient liquide, changement d'état exothermique) dans le **condenseur** ou **échangeur chaud**.

On a alors : $W + Q_1 + Q_2 = 0$ ($Q_1 < 0$, $Q_2 > 0$, $W > 0$)

Le cycle des transformations subies par le fluide d'une machine frigorifique est un **cycle de Carnot**.

- ◆ dans le compresseur :
  - le fluide est gazeux à l'entrée comme à la sortie.
  - il y est comprimé, sa pression croît et donc sa température augmente.
- ◆ dans le condenseur :
  - le fluide entre avec une température supérieure à celle de la source chaude.
  - il se refroidit, se liquéfie et cède sa chaleur de condensation à la source chaude.
  - la pression est élevée et varie très peu.
- ◆ dans le détendeur :
  - la pression du liquide doit être abaissée pour favoriser sa vaporisation ultérieure dans l'évaporateur.
  - la pression diminue et donc la température baisse.
- ◆ dans l'évaporateur :
  - le fluide entre avec une température inférieure à celle de la source froide .
  - il se réchauffe, se vaporise en enlevant la chaleur nécessaire à la source froide.
  - la pression est basse et varie très peu.

Cycle de CARNOT (cycle parfait) Diagramme de Clapeyron



On montre que : $W = \int PdV$ le travail mécanique absorbé au cours d'un cycle de transformations est représenté sur le diagramme de Clapeyron par l'aire contenue à l'intérieur de la courbe représentant ce cycle.

Le cycle parfait de CARNOT est un cycle théorique : en réalité les transformations isothermes et adiabatiques qu'il décrit ne sont pas parfaites, il y a une légère variation de T et de P.

15. DIFFERENTS ORGANES D'UNE POMPE A CHALEUR (P.A.C.)

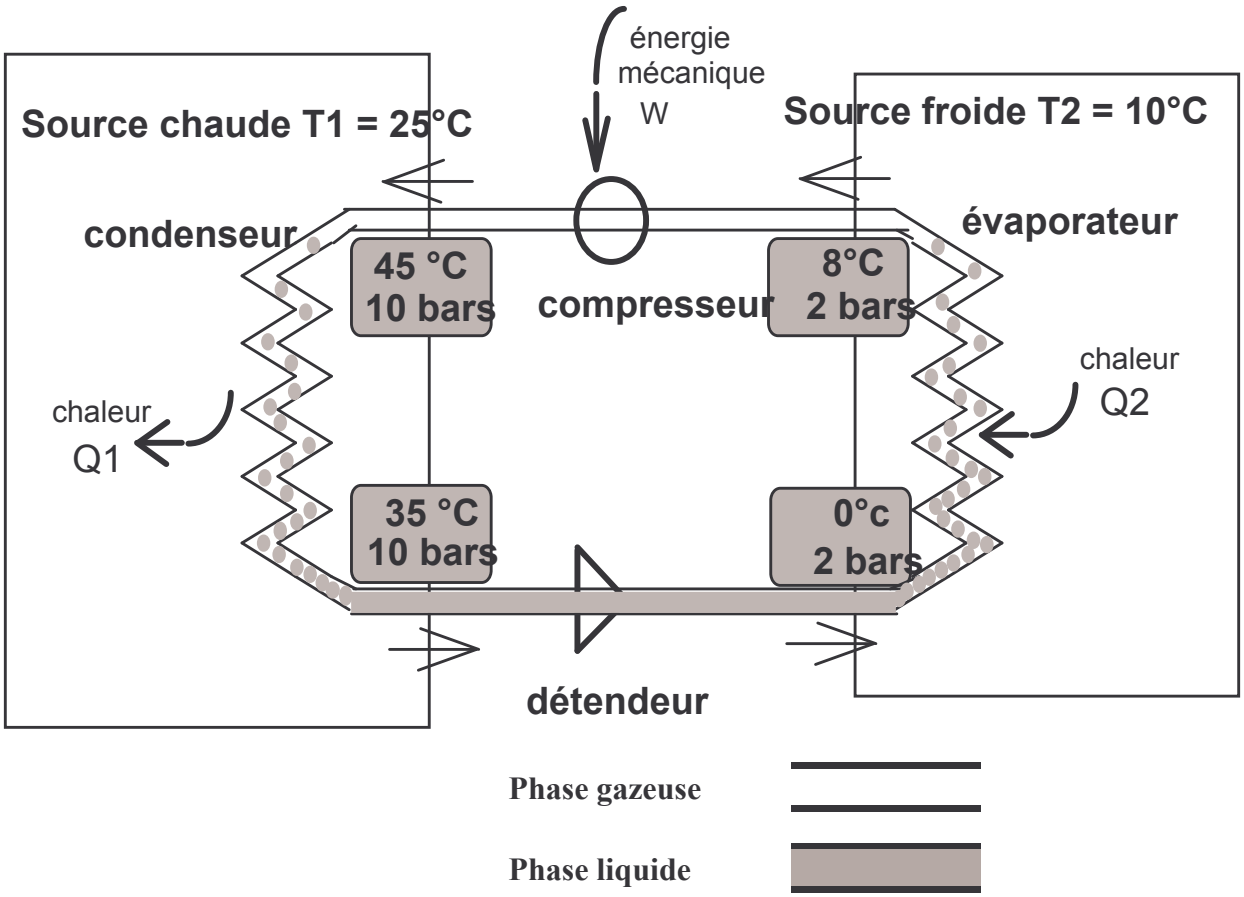
On les trouve aussi bien dans une thermopompe (destinée au chauffage), que dans un groupe frigorifique (chambre froide, congélateur, réfrigérateur, climatisation).

Le fluide qui circule encore le plus souvent dans ces machine est appelé FREON. Il s'agit là d'un nom de marque, le corps en question est CFC (chloro- fluoro-carbone) destructeurs de la couche d'ozone.

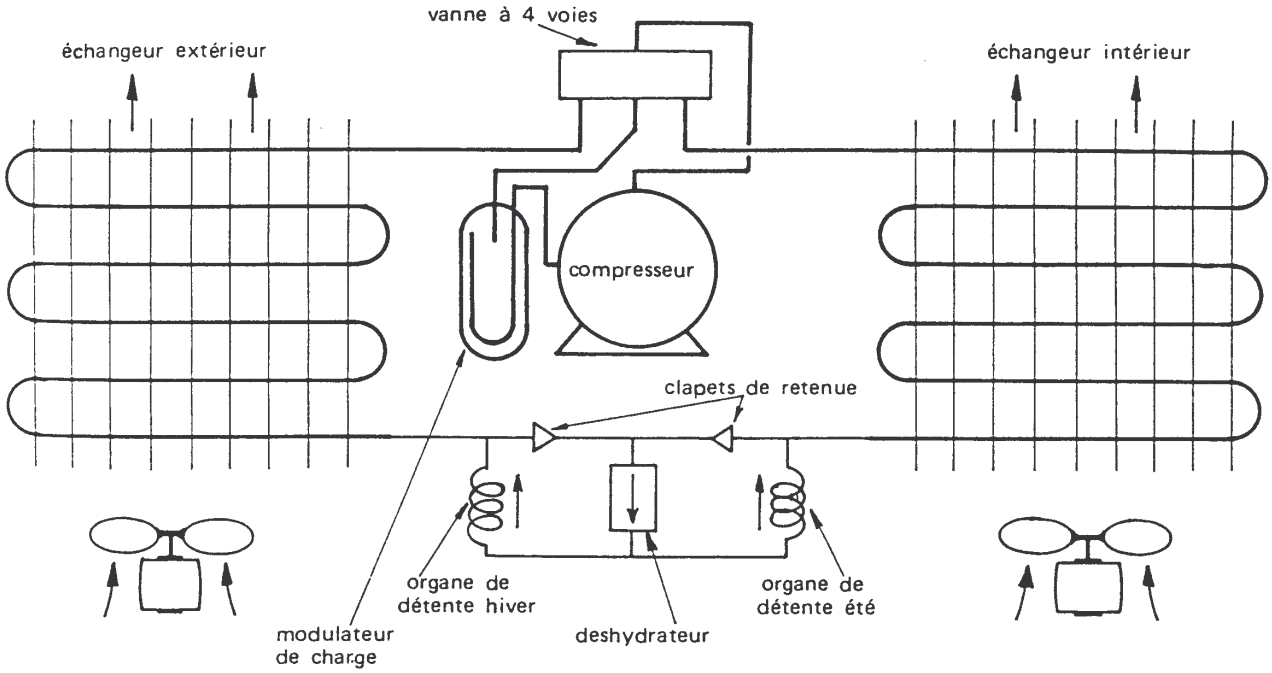
- Le compresseur, entraîné par un moteur électrique, doit être étudié et mis au point précisément pour les besoins de la P.A.C considérée. Son fonctionnement est commandé par un thermostat de régulation.
- Les échangeurs ont des surfaces d'échange doivent être les plus grandes possible (échangeurs à ailettes, à aiguilles, à serpentin...)
- Le détendeur est le plus souvent un tube capillaire.
- Un déshydrateur facultatif, en déshumidifiant le fluide, évite la formation éventuel de cristaux de glace qui pourraient empêcher la circulation du fluide et endommager l'appareil.
- Un modulateur de charge a pour rôle de stocker le fluide en excédent et d'assurer une protection supplémentaire du compresseur contre les coups de liquide, appelé aussi bouteille anticoup, c'est une garantie de bon fonctionnement

Dégivrage : du givre peut se former sur l'évaporateur et nuit alors à l'échange thermique. Le dégivrage est assuré par un arrêt ou une inversion du cycle commandée par une vanne d'inversion 4 voies, déclenche par une horloge, un thermostat ou une sonde. Il est parfois assuré par des résistances chauffantes.

Schéma d'une thermopompe, exemples de température et de pression de fonctionnement



Document : Différents organes d'une P.A.C. réversible



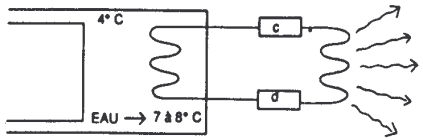
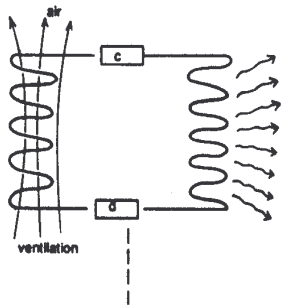
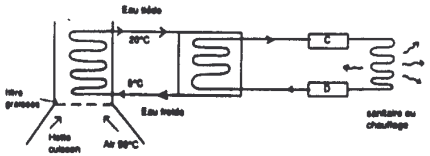
Circuit frigorifique de pompe à chaleur.

Variation du CoP en fonction de la température de la source froide et de celle de la source chaude :

exemple : (Documentation LEROY-SOMER)

(source chaude) Températures de sortie ↓		Températures extérieures (source froide)								
		− 6 °C	− 3 °C	0 °C	+ 3 °C	+ 6 °C	+ 9 °C	+ 12 °C	+ 15 °C	+ 18 °C
30 °C	Pu (kW)	37	40,5	44	47	51	55	58,8	62	64,5
	Pa (kW)	12,8	13,1	13,6	14	14,4	14,9	15,4	15,9	16,4
	CoP	2,89	3,09	3,23	3,35	3,54	3,69	3,81	3,90	3,93
40 °C	Pu (kW)	33,4	37	41	44,2	48,6	52,3	56	59	62
	Pa (kW)	13,6	14,2	14,8	15,5	16,2	16,8	17,4	18	18,8
	CoP	2,46	2,6	2,77	2,85	3	3,11	3,22	3,26	3,30
50 °C	Pu (kW)	30	34	37,8	41,8	46	50	53,5	56,8	59,8
	Pa (kW)	14,5	15,4	16	16,8	17,5	18,4	19	19,8	20,6
	CoP	2,06	2,20	2,36	2,49	2,65	2,72	2,82	2,87	2,90
55 °C	Pu (kW)	28	32	36	40	44,4	48,5	52	55,3	56,1
	Pa (kW)	15	15,8	16,5	17,2	18	18,8	19,6	20,4	21,2
	CoP	1,86	2,02	2,18	2,33	2,47	2,56	2,65	2,7	2,76

Document : Différents types de P.A.C. (source : L. FORT Physique appliquée en hôtellerie restauration éd. BPI)

« Source froide » Schéma de principe de la P.A.C.	Exemples de réalisations Conditions particulières	Difficultés	Avantages
1) Eaux naturelles 	– eau de rivière – eau de lac – eau de mer – nappe phréatique – ... débit minimum : 3 m³/heure température optimale : supérieure à 8 °C	– nécessité d'une autorisation des administrations – forage souvent couteux – pompage souvent couteux – nécessité de longues canalisations – risques de gel – risques de corrosion – adaptation nécessaire des radiateurs (basse T)	– relative inertie thermique des eaux naturelles – très **intéressant** dans le cas de puisage sur la nappe phréatique (T constante à 12 °C env.) **bon C.O.P. en général** – réversibilité (climatisation)
2) Eaux de recupération **même schéma**	– eaux usées domestiques – eaux de rejet industriel	envisageable uniquement dans certains cas de proximité d'implantations industrielles	en refroidissant les eaux de rejet on limite la pollution thermique,...
3) Air extérieur 	installable partout bon fonctionnement si la température extérieure est supérieure à 7 °C performances médiocres si 2 °C < T < 7 °C ne fonctionne plus si T < 2 °C	– relève nécessaire par temps froid (cf perche) – problèmes de **givrage** de l'évaporateur – problèmes de **bruit** C.O.P. médiocre en général (< 2)	installable sans autorisation réversibilité possible (application en climatisation)
4) Air extrait 	très indiqué dans le cas de Ventilation Mécanique Contrôlée ou VMC cas particulier intéressant dans l'hôtellerie P.A.C. ou l'Air Extrait des Cuisines ← (voir schéma)	problèmes liés à l'intermittence de l'utilisation des cuisines : nécessité de – stockage (sanitaire) – appoint (chauffage)	très bon C.O.P. en général

CHAPITRE 3 : APPAREILS FRIGORIFIQUES

FONCTION D'USAGE : abaisser ou maintenir la température d'aliments (destinés soit à la consommation domestique, soit à la commercialisation, soit à la restauration collective), à une valeur qui permette sa conservation, soit en **FROID POSITIF** (REFRIGERATION), soit en **FROID NEGATIF** (CONGELATION) en respectant les contraintes réglementaires et les règles d'hygiène.

1. ETUDE DE LA FONCTION PRINCIPALE : PRODUIRE DU FROID DANS UNE ENCEINTE ISOLEE

1.1. PRINCIPE DE LA PRODUCTION DU FROID

Refroidir un corps, c'est lui prendre de la chaleur, de façon à abaisser sa température.
La chaleur, forme d'énergie, s'exprime dans le SI (Système International d'unités) en joules (J) et kiloJoule (kJ), mais aussi souvent en :

calories	1 cal = 4,18 J	**kilocalories**	1 kcal = 4 180 J = 4,18 kJ
thermies	1 th = 1 000 kcal = 4 180 kJ	**millithermies**	1 mth = 1 kcal = 4,18 kJ
wattheures	1 Wh = 3 600 J = 3,6 kJ	**kilowattheures**	1 kWh = 3 600 kJ

- ⇨ Si un corps se réchauffe, il absorbe une quantité de chaleur Q , notée positivement (Q > 0).
- ⇨ Si un corps se refroidit, il perd une quantité de chaleur Q , notée négativement (Q < 0).

Le FROID est donc de la "chaleur négative". On exprime la quantité de froid en **frigories** (fg) : un corps qui perd une kilocalorie (ou une millithermie) se refroidit et gagne une frigorie.

1 fg = - 1 kcal = - 1 mth = - 4,18 kJ

Produire du froid, produire des frigories, c'est prendre de la chaleur, arracher des calories au milieu réfrigéré (et donc le contraire du chauffage).

1.2. PHENOMENES PRODUISANT DU FROID

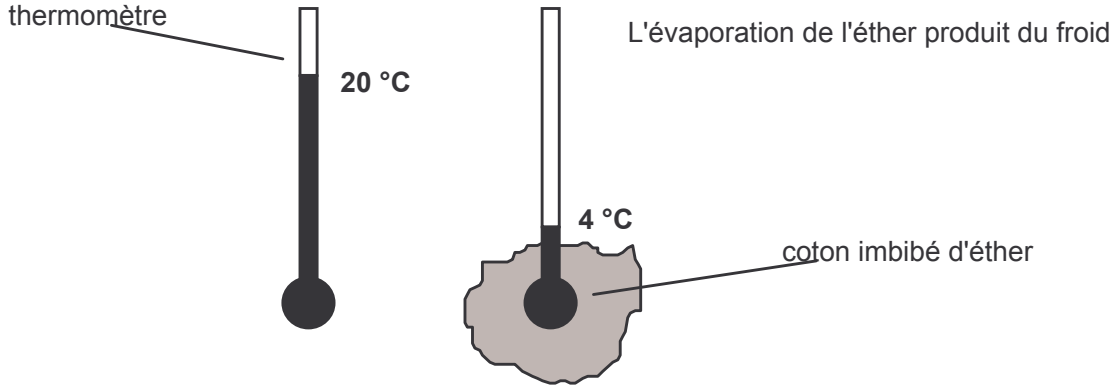
Pour refroidir un milieu, il suffit parfois d'y provoquer un phénomène endothermique qui absorbera la chaleur prise à ce milieu.

1.2.1. Changements d'état de la matière

La fusion d'un solide, la vaporisation d'un liquide (favorisée par une basse pression), la sublimation d'un solide absorbent de la chaleur et donc peuvent produire du froid. Inversement la solidification d'un liquide, la condensation d'un gaz (favorisée par une pression élevée) produisent de la chaleur.

1.2.2. Evaporation

Un liquide qui s'évapore prend de la chaleur au milieu qui est en contact avec lui et produit du froid.



Application : la gargoulette ou alcarazas : de l'eau conservée dans un récipient en terre poreuse reste fraîche à cause du phénomène d'évaporation au travers des parois.

1.2.3. Dissolution

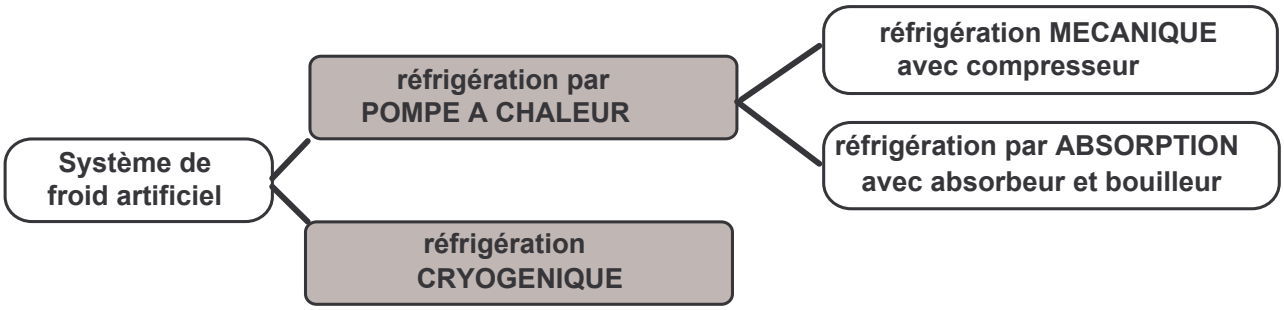
La dissolution dans l'eau de certains corps est endothermique. La dissolution dans l'eau de sels comme :

- le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3)
- le chlorure d'ammonium (NH_4Cl)
- le nitrate de sodium ($NaNO_3$)
- le thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$)
- le nitrate de potassium (KNO_3)

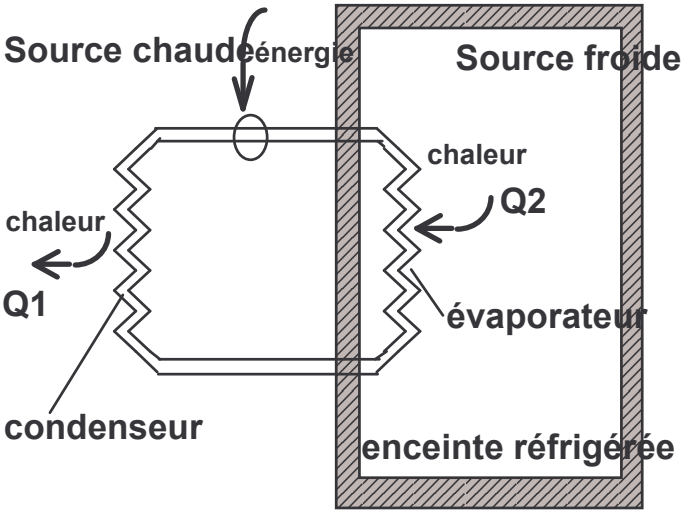
en quantité suffisante, permet d'atteindre des températures proches de 0 °C, voire inférieures.
Application : Certaines sorbetières dites "sans énergie"; en réalité, elles consomment un produit.

1.3. SYSTEMES DE FROID ARTIFICIEL

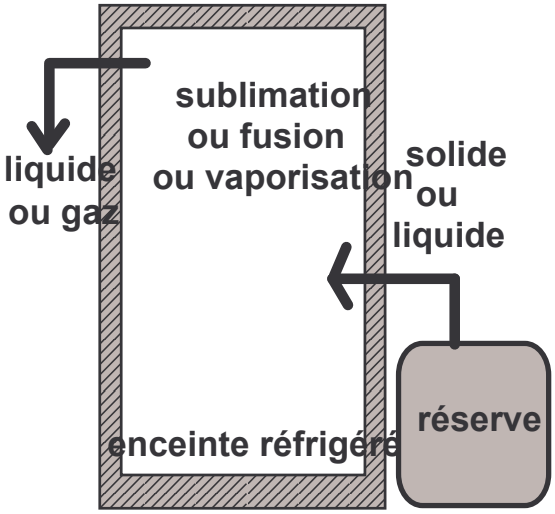
Il existe deux solutions techniques pour produire du froid dans une enceinte isolée : la cryogénie et la machine frigorifique (ou pompe à chaleur) qui présente deux variantes (groupe mécanique ou groupe à absorption):



Cas de la pompe à chaleur :



Cas de la réfrigération cryogénique :



1.4. REFRIGERATION MECANIQUE

1.4.1. Principe de fonctionnement

Une machine frigorifique permet, à l'inverse de la loi des échanges thermiques, de transférer de la chaleur d'une source froide vers une source chaude. C'est un circuit fermé constitué :

- d'un **COMPRESSEUR**,
- d'un **DETENDEUR**,
- d'un échangeur chaud ou **CONDENSEUR**,
- d'un échangeur froid ou **EVAPORATEUR**.

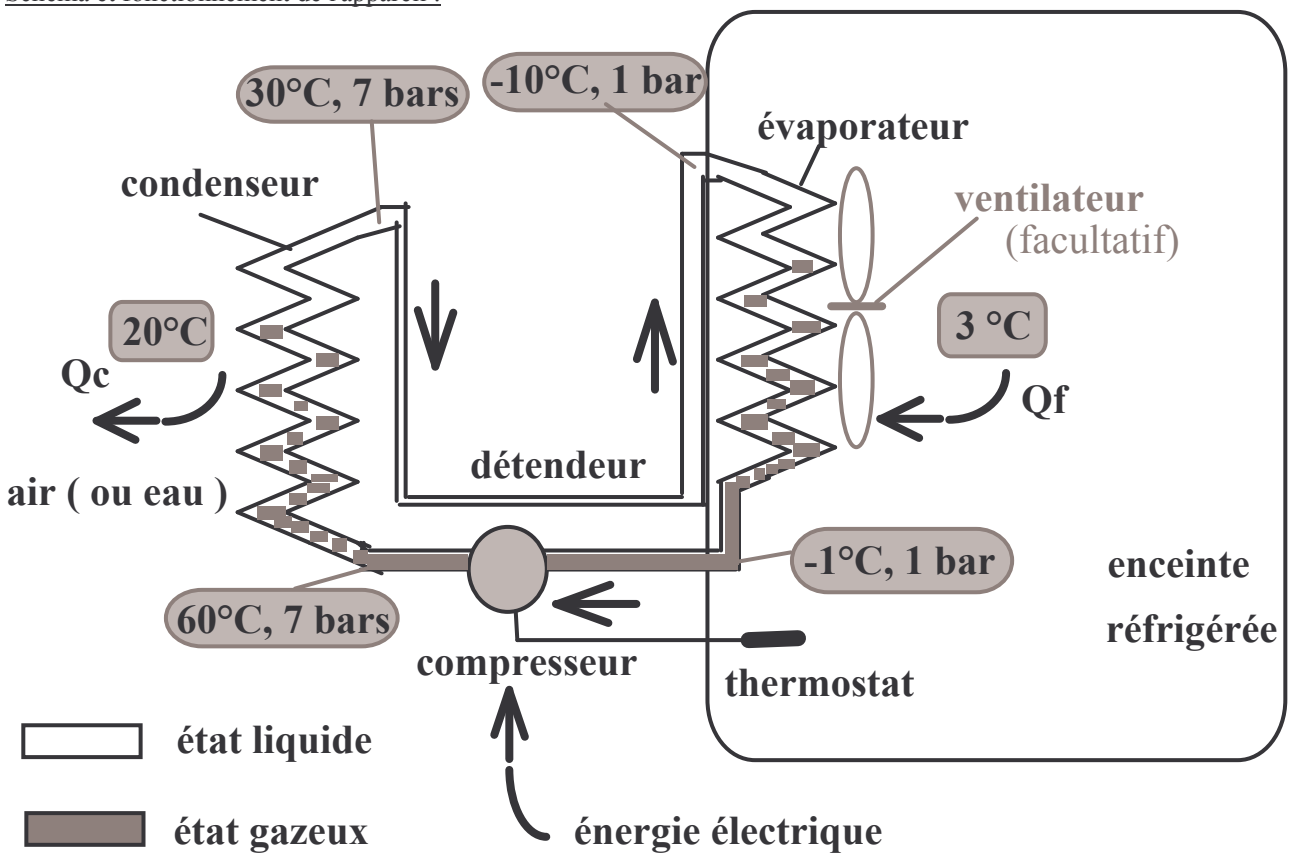
Un **FLUIDE** (tantôt liquide, tantôt gazeux) **FRIGORIGENE** circule dans ce circuit fermé et assure ces transferts de chaleur au cours d'un cycle de transformation :

⇒ Le fluide se vaporise dans l'évaporateur et absorbe de la chaleur dans l'enceinte frigorifique isolée.

⇒ Le compresseur aspire les vapeurs, en augmente la pression et les refoule dans le condenseur qui est refroidi, en général, par l'air ambiant. Les vapeurs s'y liquéfient en rejetant de la chaleur à l'extérieur.

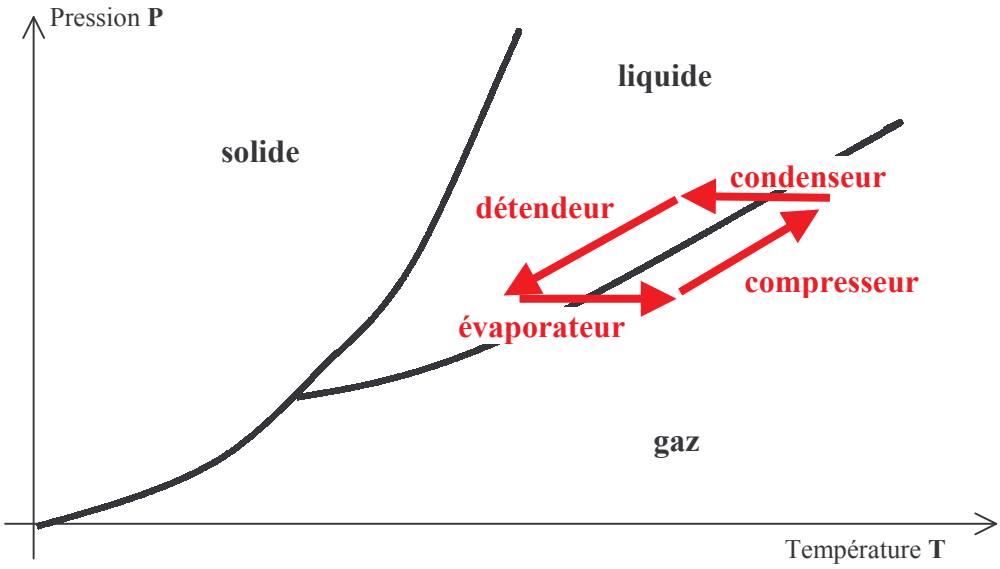
⇒ Le détendeur (en général un capillaire) règle l'arrivée du liquide à l'évaporateur : il doit en abaisser la pression, en effet une pression trop forte s'opposerait à la vaporisation

Schéma et fonctionnement de l'appareil :



- dans le **compresseur** électrique : le fluide gazeux est comprimé, sa pression croît de façon à favoriser sa liquéfaction ultérieure dans le condenseur. Sa pression croît et donc sa température augmente, mais il reste gazeux.
- dans le **condenseur** : le fluide gazeux entre avec une température supérieure à celle de l'air ou de l'eau dans lequel baigne le condenseur, il se refroidit, se liquéfie (changement d'état exothermique) et cède sa chaleur de condensation à l'air ou à l'eau en contact avec le condenseur. La pression reste élevée et varie très peu.
- dans le **détendeur** (en général long tube capillaire) la pression du liquide doit être abaissée pour favoriser sa vaporisation ultérieure dans l'évaporateur. La température du liquide baisse.
- dans **l'évaporateur** : le fluide entre avec une température inférieure à celle de la source froide, il se réchauffe, se vaporise (changement d'état endothermique) en enlevant la chaleur nécessaire aux denrées placées dans la cellule et ainsi abaisse leur température. La pression est basse et varie très peu.

Cycle de CARNOT d'une machine frigorifique à Pompe A Chaleur : Diagramme Pression – Température



Document : Principe de fonctionnement d'un réfrigérateur à compression (source : CEDEF)

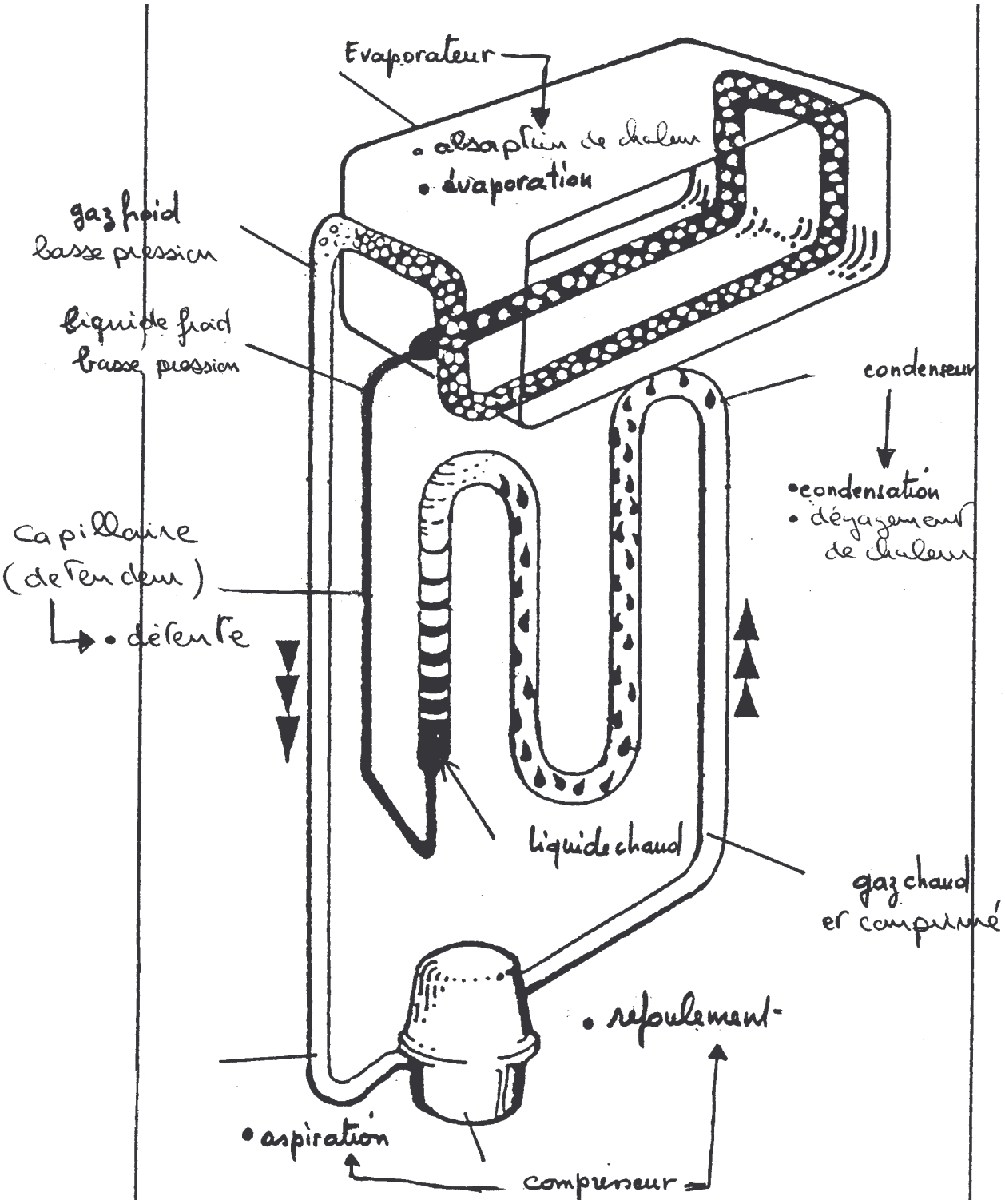
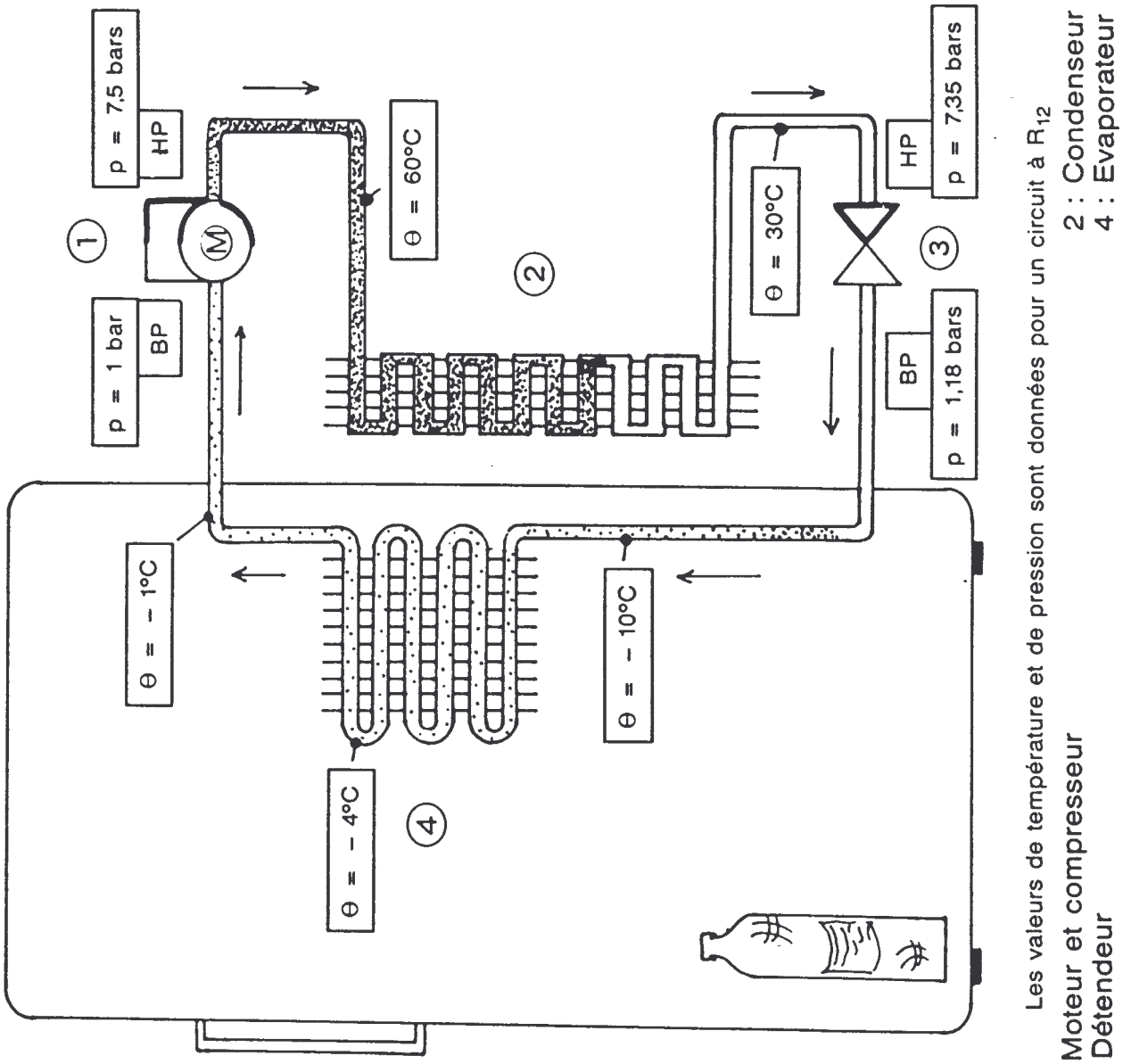


Schéma de principe d'un réfrigérateur (source : Rougier et Chétien, Equipements, Sciences appliquées)

Exemple de valeur de pression et de températures données pour un fluide R12, maintenant interdit et en général remplacé par du R134



1.4.2. Puissance

Le compresseur absorbe de l'énergie mécanique provenant d'un moteur en général électrique. Si Ea (en wattheures) est l'énergie électrique absorbée pendant la durée d'utilisation t (en heures), on définit pour chaque appareil.

sa PUISSANCE ABSORBEE (en Watts) : $\boxed{Pa = \frac{Ea}{t}}$

elle est parfois exprimée en chevaux (ch) : **1 ch = 735 W**

L'appareil réfrigère l'enceinte en y absorbant, à l'évaporateur, une quantité de chaleur Qf (en Wh) pendant la durée d'utilisation t (en h). On définit alors sa PUISSANCE FRIGORIFIQUE (en W) :

$\boxed{Pf = \frac{Qf}{t}}$ parfois exprimée en fg/h **1 fg/h ≈ 1,16 W**

Cette puissance varie en fonction de l'écart de température entre les échangeurs (températures intérieure et extérieure).

1.4.3. Commande et régulation

Remarque : Dans le cas d'un appareil frigorifique, la fonction de régulation peut être considérée comme une fonction principale puisque l'enceinte doit être maintenue à une température fixe et bien précise, définie par la fonction d'usage de l'appareil.

Le compresseur est commandé par un **thermostat** en général **à bulbe** ou **à thermocouple** muni d'une **sonde**,. Il s'arrête dès que la température désirée est atteinte et se déclenche dès que la température dans l'enceinte dépasse cette température. Le fonctionnement de l'appareil est donc irrégulier et intermittent et on considère alors le plus souvent une puissance absorbée ***moyenne*** et une puissance frigorifique ***moyenne***.

1.4.4. Fluides frigorigènes

Les fluides frigorifiques doivent être stables et inertes vis à vis des matériaux avec lesquels ils sont en contact, ininflammables, non toxiques et non explosifs ; ils doivent avoir un point d'ébullition aussi bas que possible et une chaleur latente de vaporisation aussi grande que possible.

C'étaient, jusque récemment, essentiellement des hydrocarbures chloro-fluorés ou **CFC**, ***chlorofluorocarbones*** (appelés souvent improprement sous le nom de marque **Fréon**). Les plus utilisés étaient le monofluoro-trichloro-méthane ($CFCl_3$), noté réfrigérant R11 et le difluoro-diichloro-méthane (CF_2Cl_2), noté réfrigérant R12. Ils offraient une grande sécurité à l'emploi et une très longue durée de vie aux installations. Mais ces produits sont en grande partie responsables de la destruction de la couche d'ozone de l'atmosphère qui nous protège des ultraviolets (UV) solaires les plus dangereux.

A l'occasion des réparations ou de la destruction de groupes frigorifiques, les CFC sont, presque toujours et de façon totalement irresponsable, vidangés dans l'atmosphère. Inertes dans la basse atmosphère, arrivés dans la stratosphère, ils diffusent vers le haut, se mélangent aux autres espèces chimiques et, sous l'influence du fort rayonnement UV qui y règne, sont photodissociés :

$$CFCl_3 + h\nu \rightarrow {}^{\bullet}CFCl_2 + Cl^{\bullet}$$
$$CF_2Cl_2 + h\nu \rightarrow {}^{\bullet}CF_2Cl + Cl^{\bullet}$$

Rappel : l'énergie d'une radiation est : $\boxed{E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}}$

h constante de Planck : $6,62 \cdot 10^{-34}$ ν fréquence de la radiation en s^{-1} (ou Hz)

λ longueur d'onde de la radiation en m **c** célérité de la lumière dans le vide : 3.10^8 m/s

Dans ces deux réactions, c'est une liaison C-Cl qui est dissociée et l'atome de chlore libéré peut réduire une molécule d'ozone O_3 en dioxygène O_2 : $Cl^{\bullet} + O_3 \rightarrow ClO^{\bullet} + O_2$

$ClO^{\bullet}$, très actif, capte alors les atomes d'oxygène, résidus d'autres réactions : $ClO^{\bullet} + {}^{\bullet}O^{\bullet} \rightarrow Cl^{\bullet} + O_2$

$Cl^{\bullet}$ est alors de nouveau libre de détruire une nouvelle molécule d'ozone. Son séjour moyen dans la stratosphère étant de 2 ans, on montre qu'il est capable de détruire environ 100 000 molécules d'ozone.

En 1985, une convention signée à Vienne préconise le gel progressif de l'utilisation des CFC dans les réfrigérateurs, sa suppression dans les aérosols et les extincteurs. Le protocole de Montréal (16/09/1987) réglemente la production et la consommation des CFC.

Les accords de Copenhague (octobre 1992) interdisent l'emploi des CFC début 1996, ceux-ci devant être remplacé par des ***hydrochlorofluorocarbones*** (**HCFC**) jusqu'en 2030 ou de préférence par des ***hydrofluorocarbones*** (**HFC**) et des ***fluorocarbones*** (**FC**).

La **réglementation européenne** interdit depuis 1er janvier 2004, la production et la mise sur le marché d'équipements neufs contenant des H.C.F.C. La récupération des gaz H.C.F.C. est obligatoire. Le contrôle de l'étanchéité de l'installation doit être réalisé au moins une fois par an. Au 1er janvier 2010, le rechargement des installations au cours d'opérations d'entretien de maintenance avec des H.C.F.C. neufs sera interdit. Au 1er janvier 2015, le rechargement des installations au cours d'opérations d'entretien de maintenance avec des H.C.F.C. recyclés sera interdit.

Dans les HCFC et les HFC, le rôle de l'hydrogène est de fragiliser la molécule qui, moins stable, sera décomposée avant d'atteindre la stratosphère. Leur effet sur l'ozone est 50 fois plus faible que celui des CFC.
Les **fluorocarbones** (**FC**) comme le **R 14 (CF_4)** et le **R 116 (C_2F_6)** sont sans effet sur l'ozone, mais ils contribuent, ainsi que les **hydrofluorocarbones** (**HFC**) de façon directe et importante à ***l'effet de serre*** : une molécule de ces composés est équivalente, selon sa composition à plusieurs milliers de molécules de CO_2. Il est probable que dans le futur, l'usage de tout dérivé halogéné sera proscrit, il faudra alors modifier profondément les systèmes frigorifiques.

Les fluides frigorigènes (CFC, HCFC ou HFC) sont notés **Rxyz** (ou x, y et z sont des nombres entiers) et leur formule générale est : $\mathbf{C_{(x+1)} H_{(y-1)} F_z Cl_{(2x+5-y-z)}}$

Si x = 0 on ne l'indique pas.
Le cas y=1 (pas de H) correspond aux CFC ou aux FC, le cas 2x + 5 = y + z (pas de Cl) aux HFC.

CFC		HCFC		HFC	
R 11	$CFCl_3$	R 21	$CHFCl_2$	R 23	CHF_3
R 12	CF_2Cl_2	R 22	CHF_2Cl	R 125	CF_3CHF_2
R 13	CF_3Cl	R 123	CF_3-$CHCl_2$	R 134	CF_3-CH_2F
R 113	$C_2F_3Cl_3$	R 124	CF_3-CHClF	R 152	CH_3-CHF_2
R 114	$C_2F_4Cl_2$				
R 115	C_2F_5Cl				

Substitution des CFC dans les appareils de réfrigération ou de climatisation	
Produit remplacé	Substitut
CFC-11 ou R 11	HCFC-123 ou R 123
CFC-12 ou R 12	HCFC-22 ou R 22 et HFC-134 ou R134
CFC-113 ou R 113	Fréon SMT
CFC-114 ou R 114	HCFC-124 ou R 124

Le R 14 (CF_4) et le R 116 (C_2F_6) sont des FC sans effet sur l'ozone, mais de contribution directe et importante à l'effet de serre. Une molécule de R134 (CF_3-$CHCl_2$) a un effet de serre équivalent à 1200 molécules de CO_2.
Le R 502 (?) est un mélange (CHF_2Cl, C_2F_5Cl). On trouve aussi des hydrocarbures bromo-fluorés comme le TRIFLUORO-BROMO-METHANE (CF_3Br) ou réfrigérant R 13B1.

1.4.5. Evaporateur

Placé dans l'enceinte à réfrigérer, c'est l'échangeur froid. Les formes en sont très diverses. En restauration, les SERPENTINS A AILETTES (la surface doit être maximale pour favoriser les échanges de chaleur) sont fréquents.
L'air de l'enceinte, refroidi au contact de l'évaporateur, peut être brassé par un VENTILATEUR (on parle alors de FROID VENTILE opposé au FROID STATIQUE). Ce procédé, souvent appelé par les constructeurs "turbo-froid", a l'avantage d'éviter le givre et les odeurs par un recyclage constant de l'air en circulation.
La chaleur absorbée provient des produits conservés et de l'air ambiant. Cet air contient de la vapeur d'eau qui va se condenser et former du givre isolant sur l'évaporateur, si celui-ci est à moins de 0 °C, et ainsi nuire de façon importante au rendement de l'appareil. Il convient donc de dégivrer le plus souvent et le plus régulièrement possible l'installation.

1.4.6. Organes de détente

TUBE CAPILLAIRE : C'est le détendeur le plus courant et le moins coûteux. Il est en général en cuivre, de diamètre intérieur 0,6 à 2 mm, de longueur 0,5 à 3 m. On y obtient une perte en charge importante qui limite la pression du réfrigérant qui l'a traversé.
Avantages : robuste et inusable, étanche, peu coûteux.
Inconvénients : le fluide doit être déshydraté, car la moindre trace d'eau peut former un glaçon susceptible de boucher le capillaire. On adjoint donc au capillaire un **filtre déshydrateur**, c'est un cylindre de cuivre qui contient des cristaux d'alumino-silicate de soude ou de silicagel et qui est placé à la sortie du condenseur.

DETENDEUR THERMOSTATIQUE : Utilisé dans des installations de fortes puissances, il est plus coûteux mais a l'avantage de régler automatiquement le débit de fluide de façon à obtenir un rendement maximal.

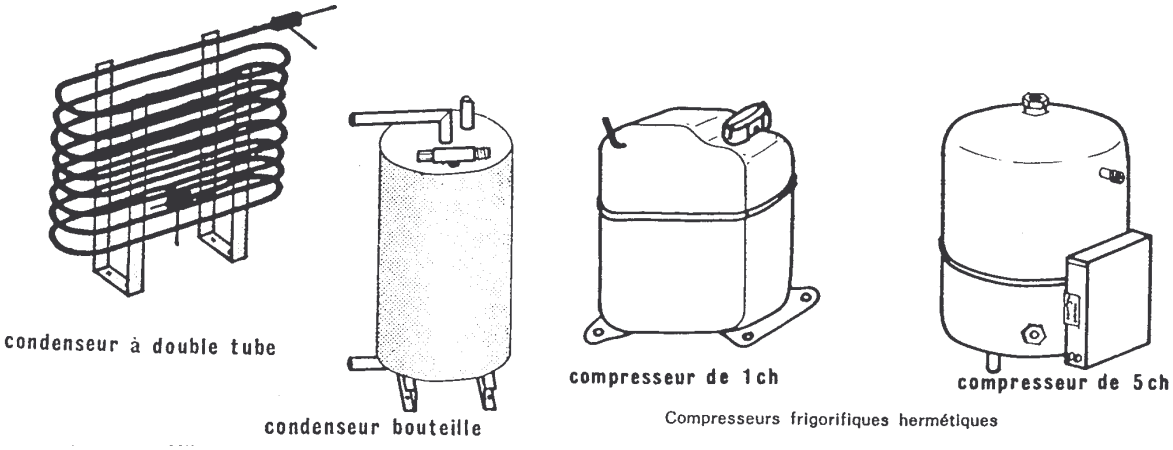
1.4.7. Condenseur

condenseurs statiques : formés d'un simple serpentin soudé sur une tôle d'acier percée d'ouïes ou sur une grille de fils d'acier refroidi par l'air ambiant (appareils courants, petites installations).

condenseurs ventilés : refroidis par une circulation forcée d'air, plus compacts et constitués d'un réseau de tube sertis ou soudés sur des ailettes de refroidissement, un ventilateur force l'air à passer entre les ailettes (haut de gamme).

condenseurs à eau :refroidi par une circulation permettent de récupérer de la chaleur utilisable, par exemple pour produire de l'eau chaude (installations importantes), ils sont :

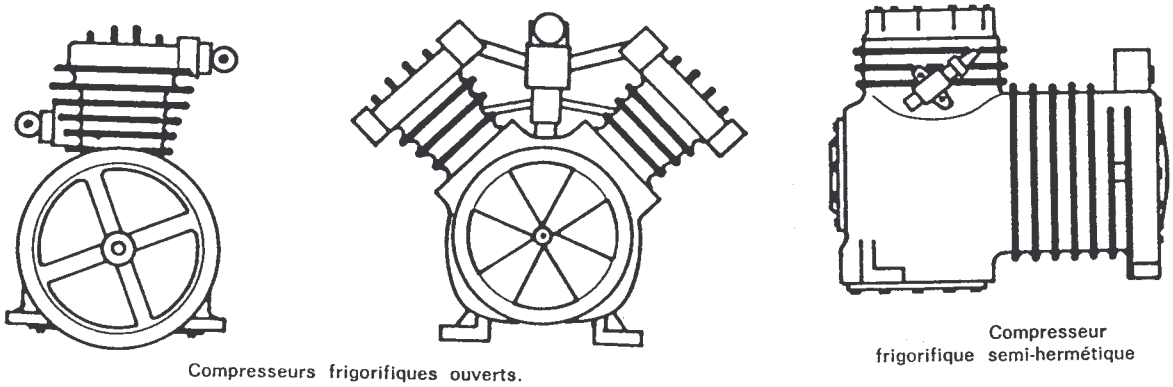
- ➔ soit à doubles tubes concentriques : l'eau circule dans le tube extérieur à contre-courant du fluide frigorifique qui circule dans le tube intérieur.
- ➔ soit à bouteille : le condenseur est un serpentin plongé dans une cuve dans laquelle circule l'eau de refroidissement.



1.4.8. Motocompresseur

Il est composé d'un moteur électrique accouplé à un compresseur.
Le choix du compresseur dépend de la puissance frigorifique demandée. Les divers types de compresseurs diffèrent par l'écart de pression et le débit de fluide obtenus. On trouve des compresseurs qui présentent de grands écarts de pression mais de faibles débits : alternatif à membrane (grosses installations), alternatifs à piston (petits appareils).
ou des pressions plus faibles mais d'importants débits (rotatifs à palettes, rotatifs à vis)
ou de gros débits, sous fortes pressions : centrifuges ou turbocompresseurs.
Il existe trois catégories de groupes de compression :

- ⇨ OUVERTS (grandes puissances), le moteur d'entraînement est séparé du compresseur. Ils sont démontables et donc facilement réparables, mais lourds et de prix élevé. Leur étanchéité est difficile à réaliser.
- ⇨ HERMETIQUES (puissances < 7,5 ch), l'ensemble du système est enfermé dans un carter étanche (double cloche en tôle d'acier soudée hermétiquement); ils sont légers et peu encombrants, assez silencieux, moins coûteux mais difficiles à réparer (ex: compresseurs des réfrigérateurs domestiques).
- ⇨ SEMI-HERMETIQUES (puissances > 5 ch), compromis entre les deux autres types, ils sont démontables mais présentent une étanchéité moins délicate car le moteur électrique et le compresseur sont dans la même carcasse.



Les compresseurs sont munis d'un organe de sécurité : le **PRESSOSTAT** qui coupe le courant en cas de pression trop forte.

1.4.9. Système de dégivrage

Cette fonction peut être considérée comme une fonction principale car si l'évaporateur est recouvert de givre (isolant thermique) il ne peut correctement remplir sa fonction : refroidir l'enceinte.

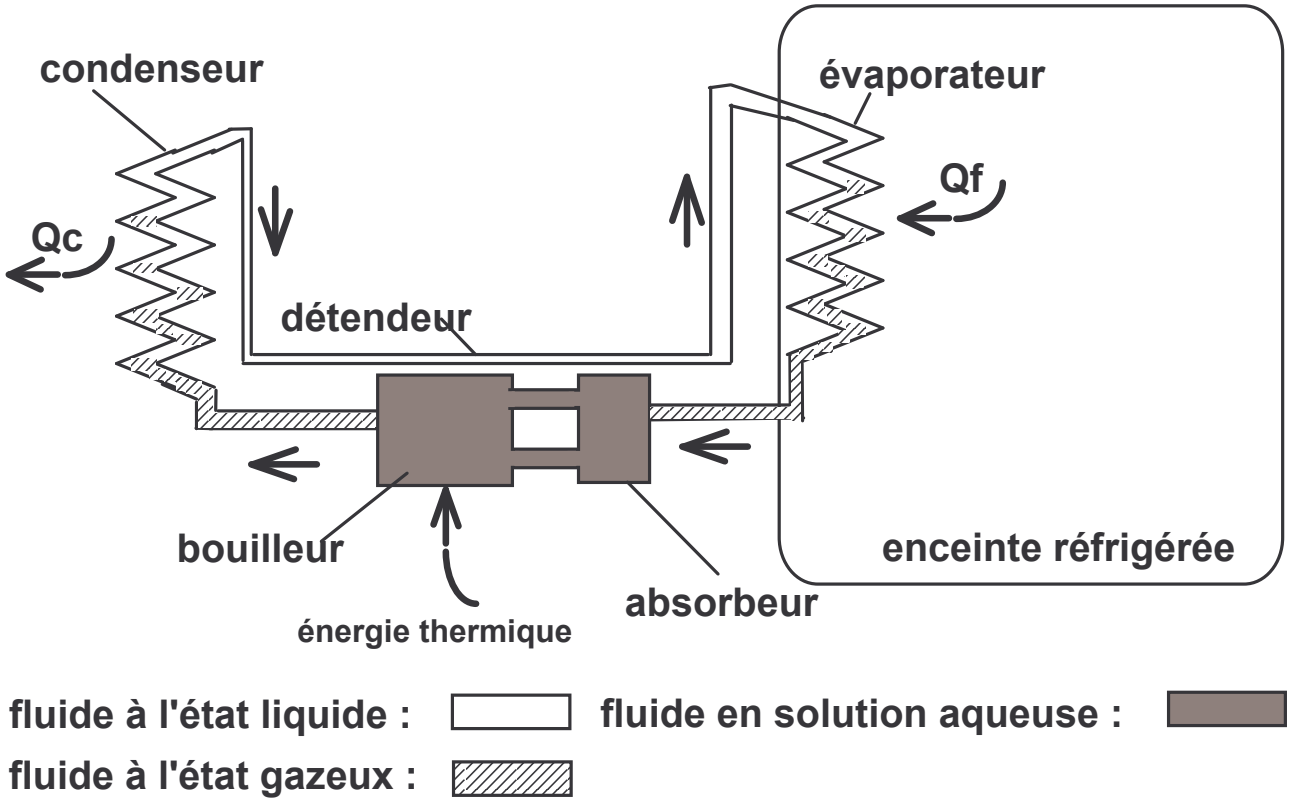
a) ***manuel*** : thermostat sur arrêt ou mise hors tension (sur les appareils qui n'ont pas besoins de dégivrage fréquent)
b) ***semi-automatique*** : arrêt commandé par l'utilisateur, l'appareil redémarre quand le bulbe du thermostat sous l'évaporateur atteint +5°C. (appareil en froid positif)
c) ***automatique*** : Le dégivrage est assuré par :

- soit l'arrêt puis la remise en fonctionnement automatique du groupe
- soit des résistances électriques chauffantes

Son déclenchement est assuré par une horloge de programmation ou une sonde qui détecte le givre sur l'évaporateur.
L'arrêt du cycle de dégivrage est commandé soit par une minuterie (dégivrage chronométrique), soit par le thermostat quand la température du bulbe atteint 3 à 5°C (dégivrage chrono-thermostatique).
L'eau est évacuée et vaporisée soit par des résistances, soit par la chaleur du condenseur ou du compresseur.

1.5. REFRIGERATION PAR ABSORPTION

Très utilisé dans les années 1950 pour de petits réfrigérateurs ménagers, ce procédé n'est plus guère employé que dans de grosses installations où l'on dispose d'une source de chaleur bon marché (ainsi que pour les réfrigérateurs de camping) ou lorsque le bruit du compresseur s'avère gênant (réfrigérateur - bar de salon ou de chambre en hôtellerie). Ils sont très rares dans le cadre de la restauration collective. La différence avec le système mécanique réside dans le remplacement du compresseur par un ABSORBEUR et un BOUILLEUR et l'utilisation comme fluide réfrigérant de l'ammoniac (NH_3) noté réfrigérant R 717.



La circulation de l'ammoniac dans le circuit repose sur sa très grande solubilité dans l'eau (l'eau peut absorber jusqu'à 900 fois son volume d'ammoniac sous pression normale). L'ammoniac gazeux venant de l'évaporateur est aspiré et absorbé par l'eau de l'absorbeur. Le mélange eau-ammoniac est ensuite chauffé dans le bouilleur, l'ammoniac s'évapore et est refoulé vers le condenseur. L'énergie consommée est donc ici de la chaleur. Pour le reste, le fonctionnement est identique à celui du système mécanique.
On peut utiliser également comme fluide des CFC, le solvant qui les absorbe est alors de l'éthylène-glycol.

Document : Les machines à absorption

(source : L. FORT, Physique chimie appliquées aux équipements de l'hôtellerie restauration)

La solubilité d'un gaz dans un liquide sur lequel il n'a pas d'action chimique diminue lorsque la température augmente.

Cette propriété s'applique en particulier aux solutions de gaz ammoniac dans l'eau (solutions dites « ammoniaque »).

A 0°C : 1 litre d'eau dissout 1 000 litres de gaz NH_3.

A des températures proches de 100°C il ne subsiste que des traces de NH_3.

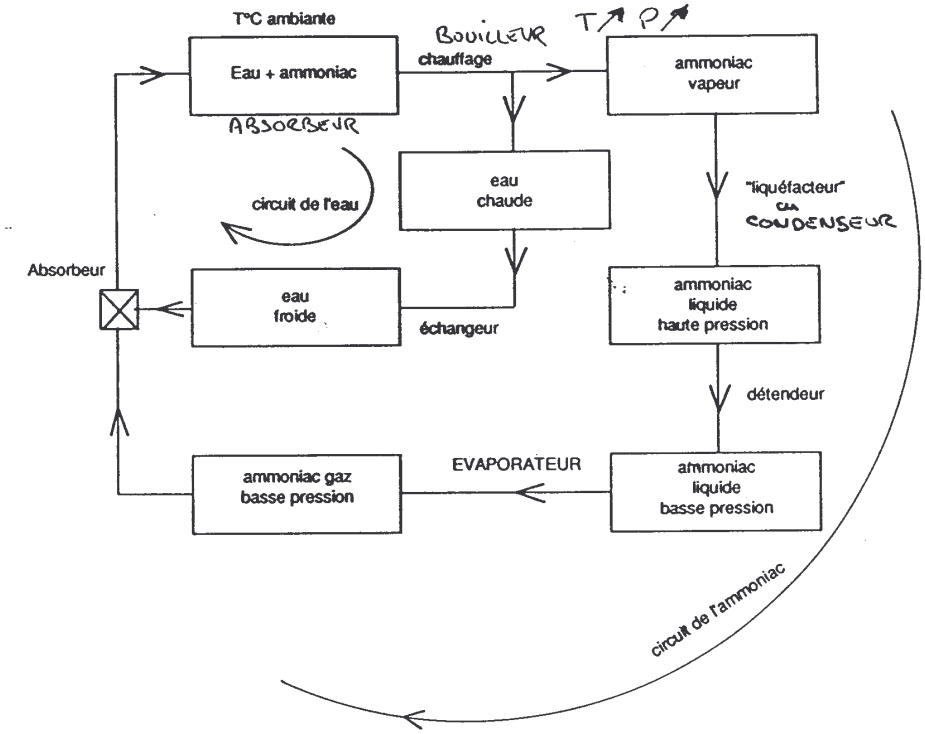
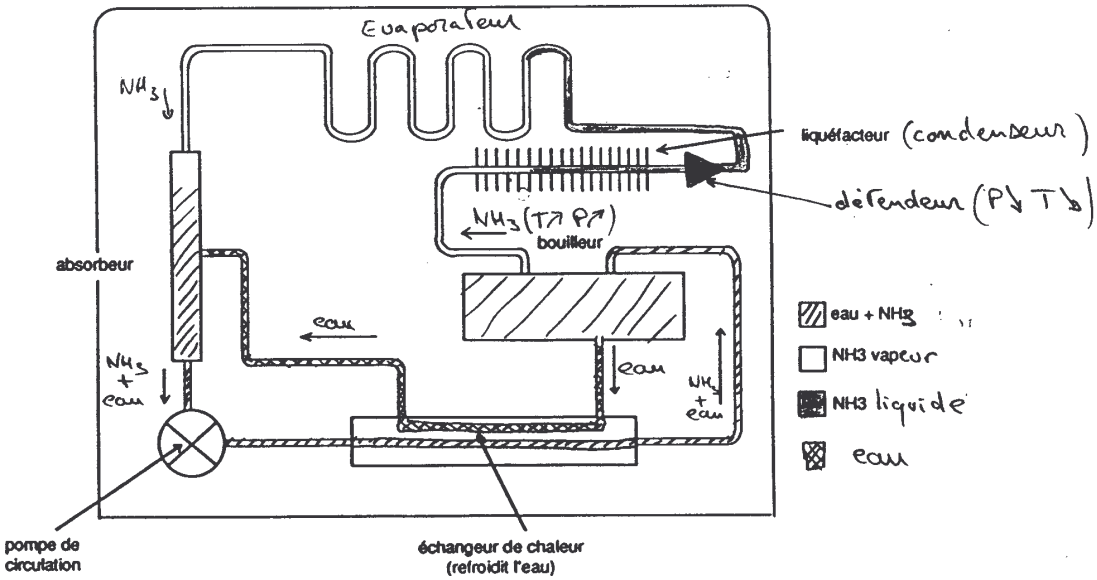


Schéma de principe : double circulation eau-ammoniac dans la machine frigorifique à absorption

REFRIGERATEUR A ABSORPTION



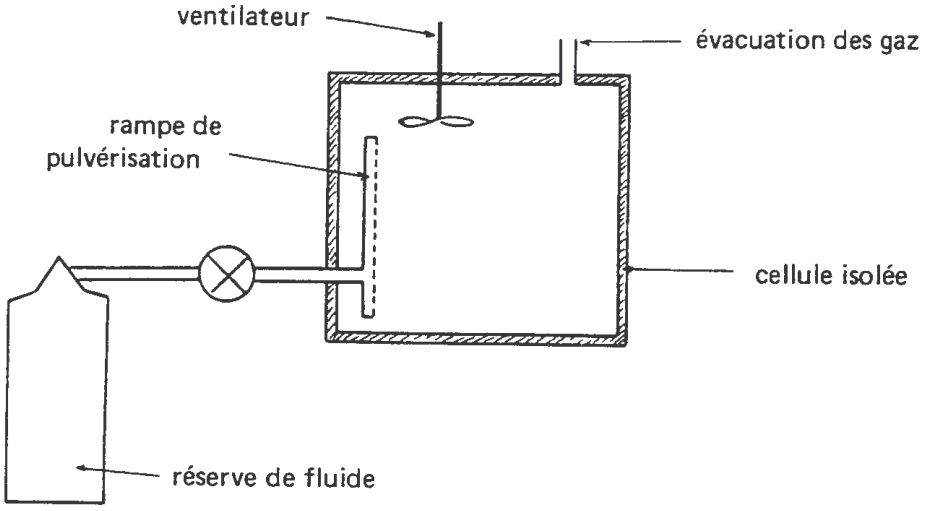
1.6. REFRIGERATION CRYOGENIQUE

On utilise la vaporisation d'un liquide ou la sublimation d'un solide, à très basse température, à l'intérieur d'une enceinte isotherme. Ce changement d'état endothermique va absorber de la chaleur, refroidir et congeler le contenu de l'enceinte. Le réfrigérant utilisé est soit le DIAZOTE (N_2), soit du DIOXYDE DE CARBONE (CO_2). Ces produits sont liquéfiés industriellement et stockés sous pression : N_2 sous 2 bars et CO_2 sous 20 bars à - 20 °C.

Le diazote liquide N_2 se vaporise à - 196 °C, sous pression normale (1 bar) en produisant 36 frigories (150 kJ) par litre. Le diazote gazeux obtenu produit ensuite 36 frigories (150 kJ) pour se réchauffer de - 196 à 0 °C.
Le CO_2 liquide, détendu à la pression atmosphérique, produit un mélange de CO_2 gazeux et de CO_2 solide appelé neige carbonique qui se sublime (en gaz carbonique) à - 78,9 °C en fournissant 68 frigories (248 kJ) par kg de CO_2 liquide initial. Le gaz carbonique obtenu se réchauffe ensuite jusqu'à 0 °C en apportant 10 frigories (42 kJ).

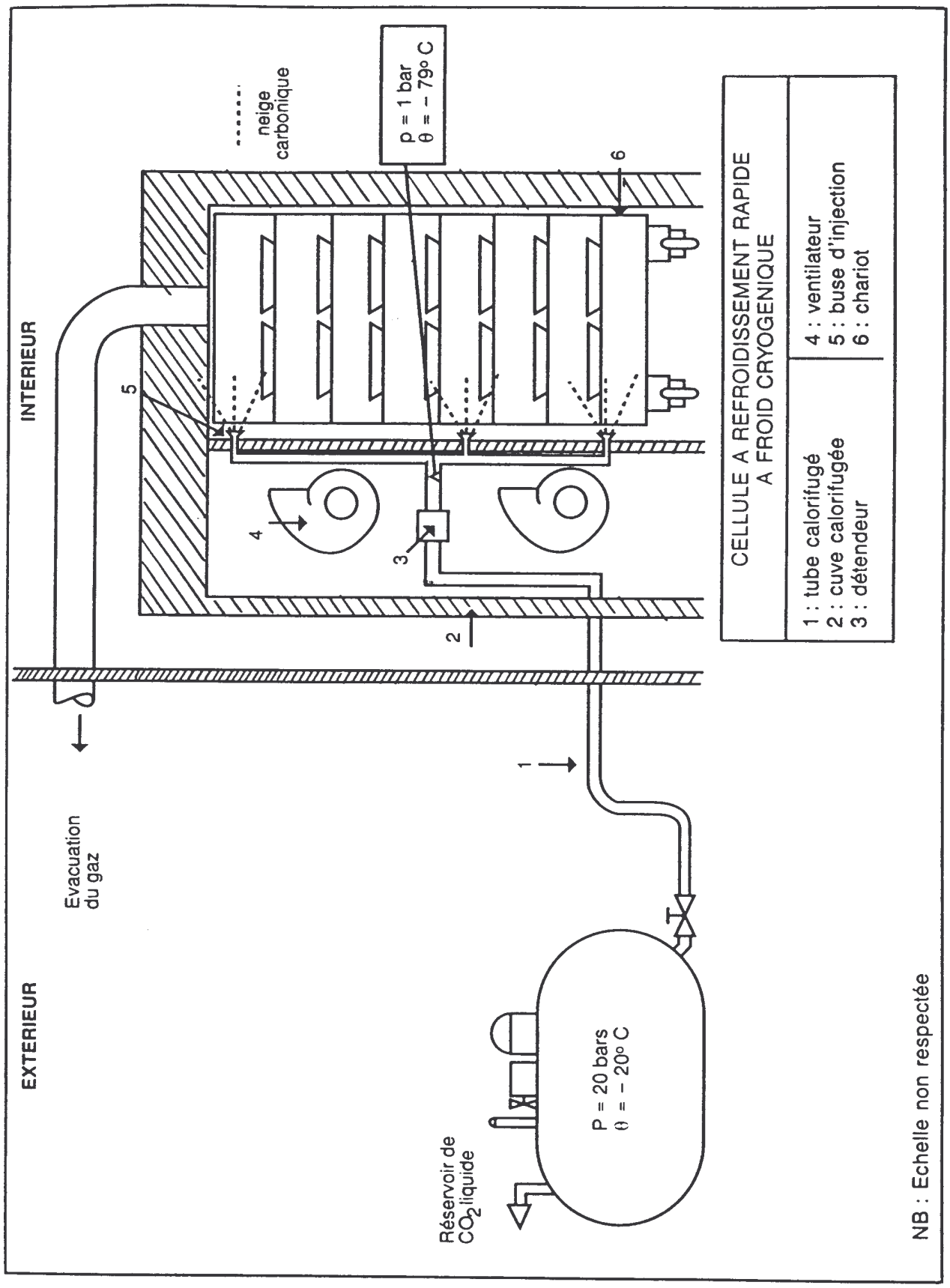
Remarque : Ne pas oublier que contrairement à la réfrigération mécanique, le fluide n'est pas ici récupérable. Ses vapeurs sont rejetées dans l'atmosphère.

Suivant les quantités de produit à congeler, on a recours à une installation en TUNNEL (utilisation en continu) ou bien en CELLULES (utilisation en discontinu).



Les systèmes cryogéniques sont employés pour la surgélation des produits alimentaires. L'échange de chaleur se fait alors par PULVERISATION ET CONVECTION : Les produits convoyés sur un tapis, sont refroidis et congelés dans l'ambiance froide créée par la pulvérisation du fluide qui s'évapore (N_2 ou CO_2).
Les produits sous vide sont souvent refroidis par IMMERSION dans l'eau glacée. Conditionnés en emballage étanche, l'absence d'air ou de gaz permettant un excellent échange thermique, ils sont plongés dans de l'eau à 2°C, dans laquelle se déverse de la glace. La chaleur absorbée par la fusion de la glace (334 kJ /kg) est prises aux produits alimentaires qui sont ainsi refroidis. Selon le type et le volume de production, on a une installation en PISCINE avec NACELLES TRANSBORDEUSES ou bien des CELLULES A EAU GLACEE.
La glace est produite, éventuellement en différé, par un système de froid mécanique : il s'agit donc là d'un système mixte.

Document : Schéma de principe d'une cellule de refoidissement rapide utilisant un fluide cryogénique
(source : EDF)



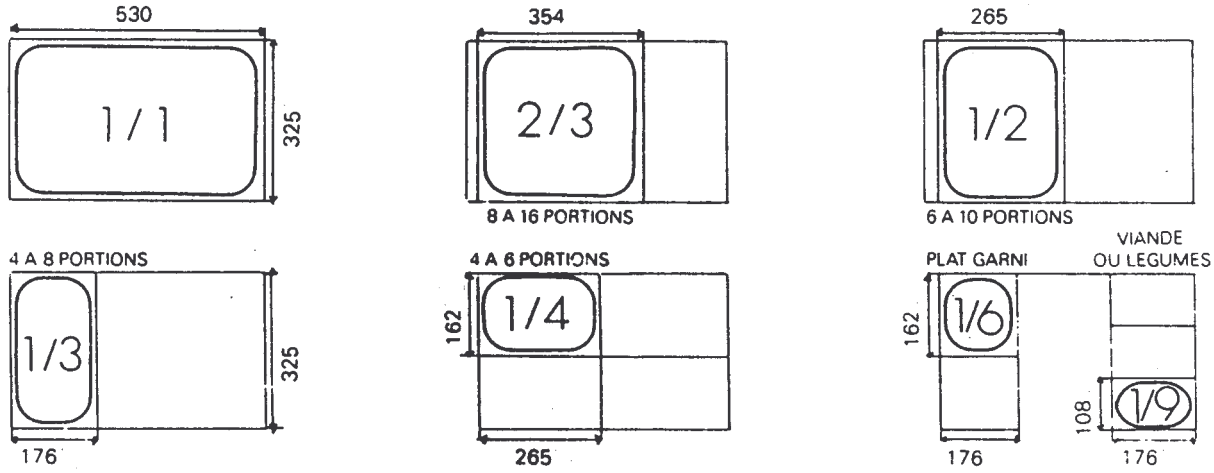
2. AUTRE FONCTION PRINCIPALE : CONTENIR LES ALIMENTS

Ces appareils doivent être conçus pour recevoir des plats, bacs, barquettes et grilles aux dimensions définies par la norme NF H 00-054 AFNOR à partir d'un module de base dit "**GASTRONORME**" : 530 mm x 325 mm

GN 2/1 = 650 x 530 mm

GN 1/1 = 530 x 325 mm **GN 1/2 = 325 x 265 mm** **GN 1/4 = 162 x 265 mm**

GN 2/3 = 325 x 352 mm **GN 1/3 = 325 x 176 mm** **GN 1/6 = 162 x 176 mm**



P varie de 20 à 300 mm.

3. FONCTIONS SECONDAIRES

3.1. INFORMER L'UTILISATEUR

La température de l'enceinte ou des produits est affichée à l'extérieur par un écran à diodes lumineuses ou à cristaux liquides.

3.2. ASSURER LA TRAÇABILITE

La température de l'enceinte ou des produits est enregistrée sur support papier ou magnétique. C'est obligatoire sur les chambres froides stockant de la viande hachée ou des plats préparés à l'avance ainsi que sur les appareils utilisés en restauration différée (liaison froide) et les chambres froide de volume supérieur à 10 m^3.

3.3. ASSURER LA SECURITE

➔ **des aliments** : - choix des matériaux conformes aux règles d'hygiène (norme NF),
- alarme en cas de dysfonctionnement et de dépassement de la température de conservation.

➔ **des utilisateurs** : - conformité de l'alimentation et de l'isolation électrique (Norme NF et UTE),
- impossibilité d'un enfermement éventuel à l'intérieur de l'appareil : les portes des chambres froides doivent obligatoirement pouvoir s'ouvrir de l'intérieur, même si elles sont fermées à clef de l'extérieur. Les chambres froides de plus de 10 m^3 doivent comporter une alarme sonore déclenchable de l'intérieur.

➔ **de l'appareil** : - vérification de la conformité de l'appareil aux normes,
- respect des prescriptions du fabricant concernant l'installation, les conditions de fonctionnement et la maintenance

3.4. PERMETTRE L'ENTRETIEN

Utilisation de matériaux (inox, matières plastiques) et conception (pas de recoins, ni d'angles vifs, ni de zones difficilement accessibles ...) qui facilitent le nettoyage et la désinfection.

3.5. LIMITER LES PERTES DE FROID

L'isolation thermique de l'enceinte doit être performante. Sont en général utilisées des mousses de polyuréthanne dont la conductivité thermique λ est de l'ordre de 0,030 $W.m^{-1}°C^{-1}$.

3.6. DEPLACER L'APPAREIL

La présence de roulettes à blocage sur les appareils de petit volume permet de faciliter le nettoyage - désinfection des locaux.

4. CADRE REGLEMENTAIRE

4.1. REGLEMENTATION EN RESTAURATION COMMERCIALE

L'ancienne réglementation fixaient des ***OBLIGATIONS DE MOYENS*** à mettre en œuvre, très précis et souvent difficilement applicables.

L'arrête du 9 mai 1995 réglemente désormais l'**hygiène des aliments remis directement au consommateur**. Ce texte, conforme à la réglementation européenne (directive communautaire 93/43/CEE du 14 juin 1993) fixe des objectifs à atteindre et une ***OBLIGATION DE RESULTATS*** et se fonde sur une ***responsabilisation*** des professionnels.

La conservation des aliments par le froid a pour objectif de ***« limiter leur altération et le développement de microbes pathogènes ou la formation de toxines à des niveaux susceptibles d'entraîner un risque pour la santé »*** (article 10).

Les denrées conservées ou servies à basse température doivent être réfrigérées immédiatement après leur préparation, « leur réchauffement doit s'effectuer rapidement en vue d'assurer la sécurité alimentaire » (article 11).

La décongélation doit se faire « à l'abri des contaminations, à l'occasion de la cuisson ou du réchauffage, ou dans une enceinte réfrigérée à une température comprise entre 0 °c et 4 °C . Les aliments décongelés ne peuvent être recongelés » (article 12)

Les moyens nécessaires pour atteindre ces résultats seront décrits et détaillés dans des **Guides de bonne pratique d'hygiène** élaborés en concertation avec la profession.

Arrêté du 9 mal 1995 réglementant l'hygiène des aliments remis directement au consommateur

ANNEXE : TEMPERATURES DE CONSERVATION DE CERTAINES DENREES ALIMENT AIRES

Les denrées mentionnées ci-après doivent être maintenues jusqu'à leur remise au consommateur aux températures ci-dessous :	
Sur glace fondante (0°C à +2°C)	Poissons, crustacés, mollusques autres que vivants.
+ 4 °C maximum	Tout aliment très périssable et dont l'absence de maîtrise de la température pendant une courte période peut présenter un risque microbien pour le consommateur, tel que :denrées animales ou végétales cuites ou précuites, prêtes à l'emploi, non stables à température ambiante ; préparations froides non stables à base de denrées animales, notamment les viandes froides, les pâtes farcies, les sandwiches, les salades composées et les fonds de sauce ; produits transformés non stables à base de viande ; abats, volailles, lapins ; découpes de viandes ; produits de la pêche fumés ou saumurés non stables ; préparations non stables à base de crème ou d'oeuf (pâtisseries à la crème, crèmes pâtissières, entremets) ; lait cru, produits frais au lait cru, crème Chantilly non stable ; fromages découpés ou râpés préemballés ; végétaux crus prédécoupés et leurs préparations ; jus de fruits ou de légumes crus de pH supérieur à 4,5 ; produits décongelés ; produits non stables en distributeur automatique.
+8°C maximum	tout aliment périssable et dont l'absence de maîtrise de la température peut générer un risque microbien pour le consommateur moins immédiat, tel que : Produits laitiers frais autres que les laits pasteurisés, desserts lactés ; beurres et matières grasses ; desserts non stables à base de substituts du lait ; produits stables à base de viande tranchée.
-18 °C	glaces, crèmes glacées, sorbets et tout aliment surgelé conformément aux dispositions du décret du 9 septembre 1964 susvisé.
-15 °C	tout aliment congelé.
Supérieur à + 63 °C	plats cuisinés livrés chaud au consommateur.

4.2. REGLEMENTATION EN RESTAURATION COLLECTIVE

L'Arrêté du 26 septembre 1997 (paru au Journal Officiel du 23 Octobre 1997) fixant les conditions d'hygiène applicables dans les établissements de restauration collective à caractère social, conforme à la réglementation européenne (directive communautaire 93/43/CEE du 14 juin 1993) fixe des objectifs à atteindre et une ***OBLIGATION DE RESULTATS*** en se fondant sur une ***responsabilisation*** des professionnels**.**

Les moyens nécessaires pour atteindre ces résultats seront décrits et détaillés dans des **Guides de bonne pratique d'hygiène** élaborés en concertation avec les professionnels.

Toutefois, compte tenu du caractère très sensible et fragile de la population captive qui fréquente ce type de restauration (cantine scolaire, maison de retraite; hôpitaux ....), ce texte fixe aussi une ***OBLIGATION DE MOYENS*** à mettre en œuvre, tout en permettant, avec souplesse, d'en utiliser d'autres, si preuve est faite de leur efficacité, a travers la mise en place d'une méthode H.A.C.C.P. et d'autocontrôles.

Ainsi, ***les plats cuisinés à l'avance*** doivent être :

- ➔ soit **maintenus à une température supérieure à 63 °C depuis la fin de cuisson jusqu'à consommation** (article 19)
- ➔ soit **refroidis, depuis une température à coeur de 63 °C jusqu'à 10 °C en moins de 2 heures** (article 21) puis :
  - ⇨ soit **stockés entre 0 et + 3 °C** (article 21) et **consommés dans un délai maximal de 3 jours après celui de fabrication** (article 40)
  - ⇨ soit **immédiatement congelés et stockés à une température inférieure ou égale à -18 °C**

Le procédé de remise en température doit, dans tous les cas, permettre de **passer de 10 °C à au moins une température à cœur de 63 °C** (température de remise au consommateur) **en moins d'une heure** (article 22)

Arrêté du 26/9/1997 (J.O. du 23/10/1997) fixant les conditions d'hygiène applicables dans les établissements de restauration collective à caractère social (EXTRAITS °)

Article 16
Les denrées alimentaires sont conservées dans des conditions permettant d'en éviter toute altération ou toute détérioration, notamment en les maintenant à des températures inférieures ou égales à celles figurant en annexe du présent arrêté.
Toutes les denrées alimentaires qui sont stockées, manipulées, conditionnées, transportées ou exposées doivent être protégées contre toute contamination susceptible de les rendre impropres à la consommation humaine.

Article 17
Toutes les manipulations ou opérations sur les denrées alimentaires doivent s'effectuer en limitant les risques de contamination et de développement de micro-organismes pathogènes ou de formation de toxines à des niveaux susceptibles d'entraîner un danger pour la santé.
Pour cela, il convient de mettre en place et d'appliquer des règles d'hygiène spécifiques dont l'efficacité est contrôlée conformément aux dispositions de l'article 5.

Article 18
La décongélation des denrées alimentaires se fait à l'abri de toute contamination. La durée de vie des denrées congelées ne peut excéder quatre jours y compris le jour de la mise en décongélation.

Article 19
Les préparations culinaires destinées à être conservées par la chaleur jusqu'au moment de leur consommation sont, dès la fin du dernier traitement thermique, maintenues à une température supérieure ou égale à + 63°C, sauf si l'analyse des risques prévue à l'article 5 montre qu'une température inférieure n'entraîne pas de risque pour la santé du consommateur.

Article 20
Lorsque des préparations culinaires nécessitent un début de traitement tel que braisage, rôtissage, rissolage, friture, blanchiment, pochage, ébullition prolongée, précuisson, cette opération ne peut-être effectuée au plus tôt que la veille de leur consommation et doit être suivie, lorsqu'elle a été réalisée d'un refroidissement rapide.
De même, les préparations culinaires destinées à être conservées par le froid doivent être rapidement refroidies après le dernier stade de traitement thermique ou en l'absence de traitement thermique, après le dernier stade de leur élaboration.

Article 21
Le refroidissement rapide des denrées est opéré de telle manière que leur température à coeur ne demeure pas à des valeurs comprises entre + 63°C et +10°C pendant plus de deux heures, sauf si l'analyse des risques prévue à l'article 5 a prouvé qu'un refroidissement moins rapide reste suffisant pour garantir la salubrité des denrées.
Après refroidissement ces denrées sont conservées dans une enceinte dont la température est comprise entre 0°C et + 3°C.

Article 22
La remise en température des préparations culinaires à servir chaudes est opérée de telle manière que leur température ne demeure pas pendant plus d'une heure à des valeurs comprises entre +10° C et la température de remise au consommateur.
En tout état de cause, cette température ne peut être inférieure à +63°C, sauf si l'analyse des risques prévue à l'article 5 a montré qu'une température inférieure n'entraîne pas de risque pour la santé du consommateur. Ces préparations culinaires doivent être consommées le jour de leur première remise en température.

Article 23
Les préparations culinaires destinées à être consommées froides sont refroidies rapidement, le cas échéant, et entreposées dès la fin de leur élaboration et jusqu'à l'utilisation finale dans une enceinte dont la température est comprise entre 0°C et +3°C.
Ces préparations culinaires sont retirées de cette enceinte au plus près de la consommation, dans un délai maximum de deux heures sous réserve que le produit soit maintenu à une température inférieure ou égale à +10°C sauf si l'analyse des risques prévue à l'article 5 montre qu'un autre couple temps/température offre le même niveau de sécurité pour les consommateurs.

Article 24
La fabrication sur place de viandes hachées crues, destinées à la cuisson, ne doit pas intervenir plus de deux heures avant consommation. Pendant cette période, si elle n'est pas cuite immédiatement, elle est conservée à l'abri des contaminations dans une enceinte dont la température est comprise entre 0°C et +3°C.

Article 25
La récupération des denrées et des boissons déjà servies au consommateur est interdite à l'exception de celles qui n'ont pas été déconditionnées et qui se conservent à température ambiante.
Les excédents des plats prévus au menu du jour, non servis au consommateur, peuvent être représentés le lendemain, pour autant que leur salubrité soit assurée et sous la condition impérative de la mise en place de procédures d'autocontrôles spécifiques et de la mise en oeuvre d'un moyen efficace d'identification de la date de fabrication des plats correspondants.
Les dispositions du deuxième alinéa du présent article ne s'appliquent pas dans les restaurants satellites à l'exception des préparations culinaires à consommer froides qui n'ont pas été déconditionnées et ont été maintenues jusqu'à leur utilisation finale, dans une enceinte dont la température est comprise entre 0°C et +3°C, sans rupture de la chaîne du froid.

Article 26
Lorsque de la glace doit être utilisée pour la préparation de certains produits ou pour leur maintien en température, cette glace est fabriquée à partir d'eau potable, puis manipulée et stockée dans des conditions prévenant toute contamination directe ou indirecte des denrées alimentaires.

Article 40
La détermination de la durée de vie des préparations culinaires élaborées à l'avance est placée sous l'entière responsabilité du responsable de l'établissement. Cependant, la durée de vie des préparations culinaires élaborées à l'avance réfrigérées ne peut excéder trois jours après celui de la fabrication en l'absence d'études de vieillissement dûment documentées réalisées par un laboratoire reconnu. Sur l'une des faces externes de chaque conditionnement des préparations culinaires élaborées à l'avance figure au minimum la date limite de consommation.

Annexe 1 : TEMPERATURES MAXIMALES DE CONSERVATION DES DENREES ALIMENTAIRES ([1])

CONGELEES ([2])	
Toutes denrées surgelées au sens du décret modifié n° 64-949 du 9 septembre 1964 et poissons congelés. Glaces et crèmes glacées .	**- 18 °C**
Autres denrées congelées à l'exception des poissons	**- 12 °C**
REFRIGEREES ([3])	
Poissons, mollusques et crustacés, conditionnés (à l'exception des poissons, mollusques et crustacés vivants)	**Glace fondante ou température de celle-ci de 0 °C à + 2 °C**
Viandes hachées et préparations de viandes hachées	**+2°C**
Abats et préparations de viandes contenant des abats	**+3°C**
Autres préparations de viandes de toutes espèces, y compris la chair à saucisse et la saucisse crue. Viandes de volailles, lapin, rongeurs, gibier d'élevage, gibier à plumes, ovoproduits à l'exception des produits U-H-T	**+4°C**
Végétaux et préparations de végétaux crus prêts à l'emploi	**+4°C**
Oeufs réfrigérés	**+ 5 °C**
Lait pasteurisé	**+6°C**
Viandes d'animaux de boucherie, viandes de gibier ongulé	**+7°C**
Produits laitiers frais (yaourts, kéfirs, crème et fromage frais ([4])	**Température définie sous la responsabilité du fabricant ou du conditionneur**
Divers produits transformés à, base de viandes ; plats cuisinés et préparations culinaires (viande, poisson), produits à base de poisson ([5]).	
Divers produits à base de lait tels que crèmes pâtissières, pâtisseries fraîches, entremets, fromages affinés. Autres denrées	

[1] Température maximale des denrées : il est donc nécessaire de conserver les denrées alimentaires en dessous de cette température ; si le fournisseur indique une température de conservation, c'est cette température qui doit être respectée.
[2] Etat congelé : la température de la denrée indiquée est la température maximale sans limite inférieure.
[3] Etat réfrigéré : la température de la denrée doit être comprise entre la température maximale indiquée et la température de le congélation commerçante de la denrée.
[4] L'expression « fromage frais s'entend des fromages non affinés (dont la maturation n'est pas achevée), prêts à être consommés peu de temps après leur fabrication et qui ont une durée de conservation limitée.
[5] A l'exception des produits ayant subi un traitement complet par salaison, fumage, séchage ou stérilisation.

5. CONSERVATION DES ALIMENTS PAR LE FROID

5.1. ALTERATION DES ALIMENTS

On ne peut conserver un aliment à l'état frais car les cellules (végétales ou animales) y sont vivantes et il subit différentes transformations dues :

- aux réactions chimiques du métabolisme : absorption d'O_2, dégagement de CO_2, de chaleur, réactions enzymatiques
- à l'action de l'oxygène (oxydations)
- à la déshydratation
- aux micro-organismes.

Ses qualités organoleptiques (aspect, consistance, texture, couleur, goût, odeurs) diminuent rapidement : pigmentation (noire, verte), film visqueux, dégagement gazeux, odeur de moisi, goût rance, formation de H_2S...
Les qualités nutritives s'altèrent : formation de substances toxiques, destruction des vitamines, des acides aminés... Les micro-organismes déjà présents dans les aliments ou apportés par les manipulations en se développant peuvent être responsables de toxi-infections alimentaires.

5.2. EFFETS DU FROID CONTRE L'ALTERATION DES ALIMENTS

Le froid arrête sinon freine l'activité enzymatique et microbienne. En effet les réactions du métabolisme bactérien, comme celles catalysées par les enzymes d'un tissu vivant, suivent la loi d'Arrhénius sur la vitesse ($\boldsymbol{v}$) des réactions chimiques en fonction de la température ($\boldsymbol{T}$ en Kelvin) :

$$\boxed{\log v = -\frac{A}{T} + B}$$

A et ***B*** étant deux constantes

Ce phénomène augmente en dessous de 0°C car l'eau transformée en glace n'est plus disponible ni comme solvant ni comme réactif et certains enzymes bactériennes sont dénaturées.

L'action du froid est d'autant plus efficace que la température est basse : lorsqu'elle est trop élevée entre 3 et 10 °C des germes pathogènes peuvent se développer, telles les listéries, hôtes fréquents des frigos mal entretenus. De même certaines moisissures ne détestent pas les basses températures. Cependant si elles nuisent à l'aspect de la denrée, elles ne la rendent pas toxique car la production de toxines n'est décelée qu'au-dessus de 10 °C.
La congélation maintient les aliments en l'état, ce qui veut dire que les microbes ne sont pas tués. Ainsi des salmonelles ont été retrouvées vivantes après dix ans de congélation à -18 °C. Certes le nombre initial de germes peut diminuer pour certains comme les clostridies dans de fortes proportions, mais jamais en totalité. La conservation des prélèvements pour examens microbiologiques est donc préférable entre 0 et 3 °C plutôt que par congélation.
Mais le froid peut accélérer voire provoquer certaines dégradations : ainsi l'oxygène étant plus soluble à basses températures, les phénomènes d'oxydation seront rapides en chambres froides. Il en est de même de la transmission des odeurs de fruits, de légumes ou de moisi. Ce qui explique pourquoi il faut stocker à part les produits odorants et conditionner de façon étanche les produits sensibles.
Dans les chambres froides, l'air est relativement sec : l'hygrométrie est basse, déterminée par le point le plus froid de l'enceinte, celle qui collecte le givre. La dessiccation superficielle est rapide. Certaines denrées qui n'aiment pas l'humidité, parce qu'à l'origine d'une odeur de relent et de poissage dus à la prolifération de germes de type pseudomonas, seront conservées nues pour une courte période. Telles sont les viandes, les volailles, les produits de charcuterie… D'autres seront conservées à l'abri de l'air, le conditionnement sous vide ou sous atmosphère contrôlée est alors une solution quasi idéale.
Les œufs ne se conservent pas mieux au froid qu'à la température ambiante. Le vieillissement qui se traduit en particulier par une augmentation de la hauteur de la chambre à air dépend essentiellement de l'hygrométrie de l'atmosphère environnant. Ainsi, par temps orageux, les œufs ne vieillissent pas ! Dans tous les cas, l'œuf sera conservé petite pointe en bas. S'ils sont entreposés au froid, dès la sortie de chambre, les œufs seront le siège d'un phénomène de condensation sur la coquille, qui est perforée de très nombreux pores légèrement obturés par la cuticule quand elle est intacte. Cette eau facilite la pénétration des germes à l'intérieur. Donc un œuf sorti du réfrigérateur doit être aussitôt utilisé et ne pas y revenir. Un œuf conservé au froid perd sa catégorie A.

Les règles d'utilisation du froid

- ➔ ***Denrées saines*** : il ne faut soumettre au froid que des denrées saines crues ou après cuisson et de toutes les façons éviter les contaminations.
- ➔ ***Froid précoce*** : le froid doit être appliqué immédiatement après l'abattage, la pêche, la récolte ou les divers traitements des industries agroalimentaires, les préparations culinaires, la cuisson en particulier si elle n'est pas suivie d'une consommation immédiate. Seuls les aliments stables peuvent y échapper.
- ➔ ***Froid continu*** : le froid n'est efficace que lorsqu'il est appliqué. C'est la chaîne continue du froid.
- ➔ ***Froid intense*** : plus le froid est à son niveau le plus bas, plus efficace sera la conservation.

Documents :

ACTION DE LA TEMPERATURE SUR LA MULTIPLICATION DES MICRO-ORGANISMES

120° ← Destruction de toutes les formes sporulées

100°

← Destruction de la plupart des formes végétatives (sauf thermorésistants) en fonction du temps d'aplication

63° ← Limite inférieure des plats cuisinés chauds

Micro-organismes thermophiles

LE DEVELOPPEMENT DES MICROBES
DIMINUE QUAND LA TEMPERATURE AUGMENTE

40°

DEVELOPPEMENT IMPORTANT DES MICROBES

30° *Micro-organismes mésophiles*

← Prolifération intense à température ambiante

20°

RALENTISSEMENT DU DEVELOPPEMENT DES MICROBES
QUAND LA TEMPERATURE DIMINUE

10°

Micro-organismes psychrotrophes

3° ← **Arrêt de la multiplication des germes mésophiles et de la plupart des pathogènes**

Micro-organismes psychrophiles

0°C

Micro-organismes cryophiles

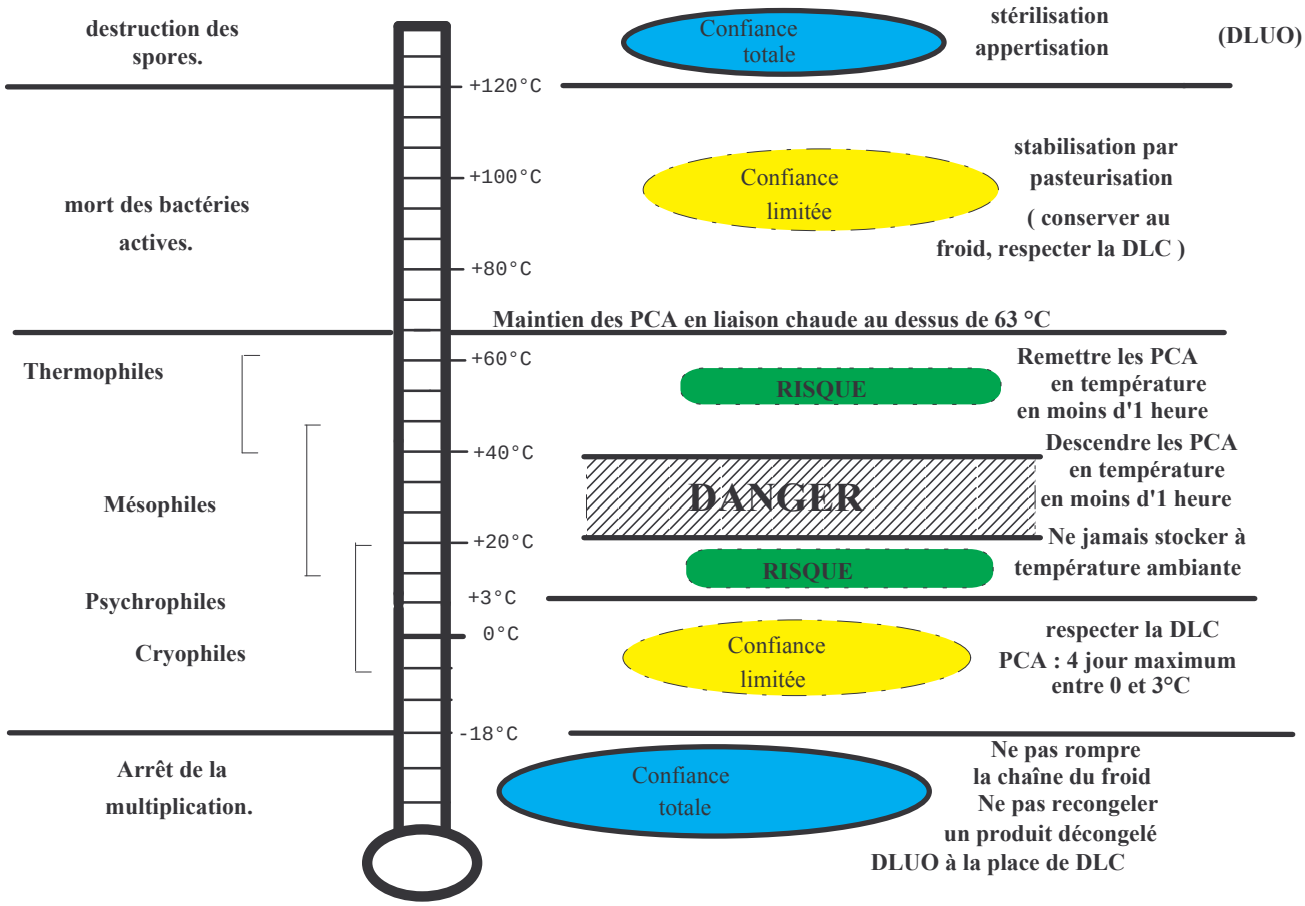
-10° ← **Arrêt de toute multiplication bactérienne**

-18° ← **Arrêt de la multiplication des levures et des moisissures donc arrêt total de tout développement microbien**

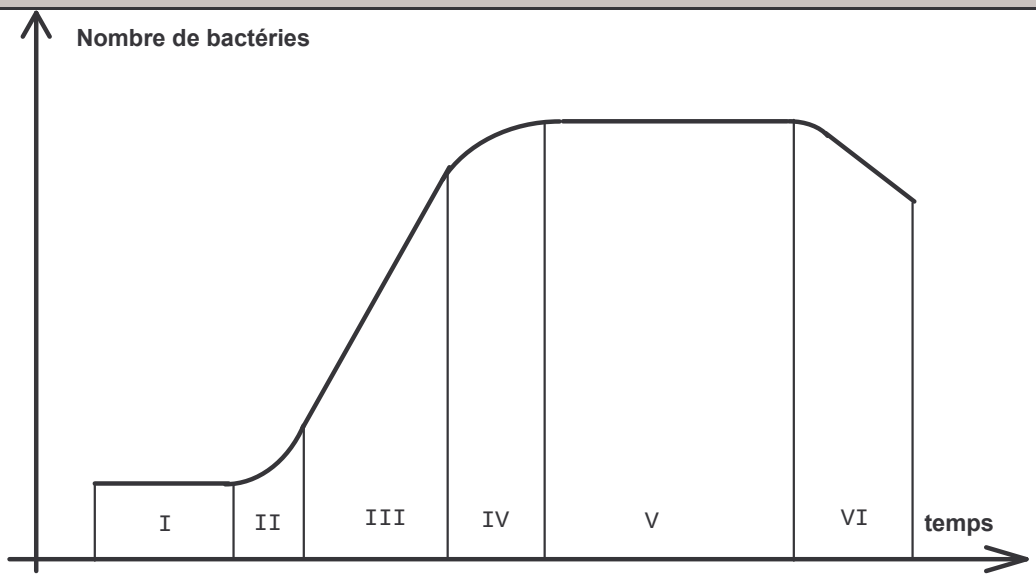
EFFETS de la TEMPÉRATURE sur les ALIMENTS et sur les MICROBES

Le tableau se lit facilement : la colonne du centre indique les températures des aliments : elles vont de – 20 °C à +100 °C. Les effets sur les composants de la viande occupent la partie gauche et les indications sont à hauteur de la zone des températures qui provoquent les modifications mentionnées.
Dans la partie droite sont indiqués les effets sur les microbes : la multiplication qui correspond à la zone dangereuse sur le plan hygiénique avec des temps de génération : durée séparant deux multiplications, et l'action mortelle avec les seuils thermiques bactéricides pour quelques catégories de germes.

Sur les composants	Sur la viande	°C	Sur la multiplication des microbes	Action mortelle
		110		
Apparition de substances solubles : odeurs et goût de "bouillon"	Viandes bouillies	100	Ebullition de l'eau	
Gélification du collagène : attendrissement des viandes de 2e et 3e catégories		90		
	Viandes braisées	80		
Réactions de Maillard		73		
Rétraction des fibres conjonctives et coagulation des protéines solubles : exsudation	Viandes bien cuites	70 68 63		
Fusion des graisses	Viandes à point-rosées	60	ZONE DANGEREUSE Germes thermophiles Germes mésophiles Germes psychrophiles Flore x2 en 8 à 10 mn	Spores de bactéries Spores de moisissures Germes thermophiles Salmonelles Coliformes Pseudomonas
	Viandes saignantes	50		
	Viandes bleues	45 40	20 à 30 mn	
	Zone de putréfaction verte	30	5 à 7 heures	Seuil thermique bactéricide
		20		
	Poissage et mauvaises odeurs de "Frigo"	10 7 3		
Formation de cristaux de glace	Cristallisation de l'eau de constitution	0	Glace fondante Arrêt de la multiplication	Réfrigération
		-10		
		-18 -20		Surgélation



Courbe de croissance des bactéries en fonction du temps dans un milieu nutritif non renouvelé



I	*phase de latence*	Temps d'adaptation des cellules bactériennes au milieu, pas de multiplication
II	*phase d'accélération*	Début de la multiplication bactérienne.
III	*phase exponentielle*	La croissance ou multiplication est maximale et très rapide.
IV	*phase de ralentissement*	Le milieu nutritif s'épuise, les bactéries sont trop nombreuses, la multiplication est très ralentie.
V	*phase stationnaire*	Certaines cellules se multiplient, d'autres meurent, le nombre de bactéries reste constant.
VI	*phase de lyse*	Le milieu nutritif est épuisé, les cellules bactériennes meurent progressivement.

Les bactéries peuvent se multiplier à différentes températures. On peut distinguer trois grands groupes de bactéries dans la flore pathogène ou la flore d'altération des aliments (en particulier les PCA, plats cuisinés à l'avance).

Micro-organismes :	**Psychrophiles**	**Mésophiles**	**Thermophiles**
Températures de développement : maximum Optimale minimum	**+30°C** **-10°C**	**+45°C** **30 à 37°C** **+10°C**	**+65°C** **50 à 55 °C** **+40°C**
exemples:	Clostridium botulinum E Listéria monocytogenes Pseudomonas Yersinia enterocolitica	Salmonella Staphylococcus aureus Clostridium perfringens Clostridium botulinum A,B	Lactobacille
Arrêt de la multiplication	Listéria - 1,5 °C	Salmonella 5,2 °C Staphylococcus aureus : 6,7 °C Clostridium perfringens : 6,5°C	
Arrêt de la toxinogénèse	Clostridium botulinum E : 3,3°C	Staphylococcus aureus Clostridium botulinum A, B : 10 °C	
Exemple de courbes de croissance	Nombre de bactéries temps 6 jours 12 jours	Nombre de bactéries temps 2 heures	Nombre de bactéries temps 1 heure
Développement	**Lente**		**Rapide**
Phase exponentielle	**Longue**		**Courte**
PCEA : apparition du risque	**4 jours**	**2 heures**	**1 heure**

Aucune bactérie ne peut se développer au-dessous de - 10 °C. Aucune levure, aucune moisissure ne peut se développer au-dessous de - 18 °C. Une température inférieure à -18 °C stoppe la multiplication des microbes mais ne les détruit pas (la congélation n'est pas une stérilisation).

Il faut passer le plus rapidement possible de la température de fin de cuisson d'un plat à la température de réfrigération et éviter de rester dans la zone critique de développement microbien (de 20 °C à 40 °C). De même un aliment conservé par le froid sera porté au plus vite à sa température de cuisson.

5.3. CONGELATION ET SURGELATION DES ALIMENTS

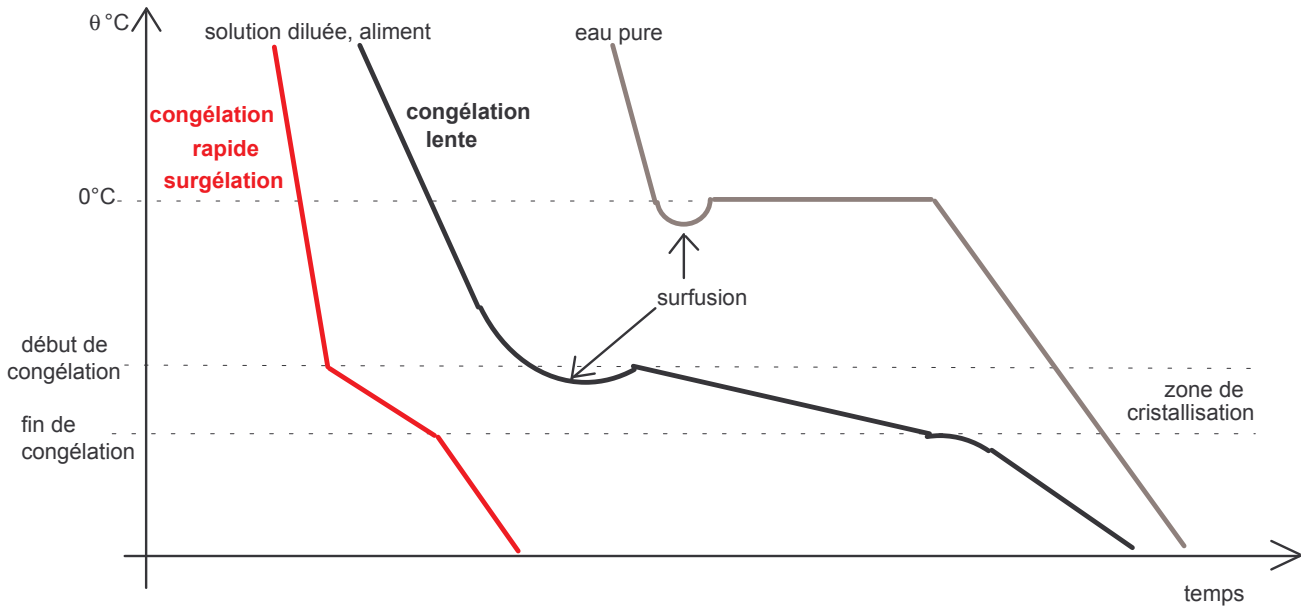
5.3.1. Avantages :

- Préservation des qualités nutritives de l'aliment.
- Economies: fruits et légumes achetés au meilleur cours.
- Gain de temps: plats cuisinés, légumes épluchés, produits semi-élaborés...

5.3.2. Etude physique

L'eau est le principal constituant des aliments (Viandes : 65 à 74 %, Fruits et légumes 80 à 90 %, Poissons 80 %) sous forme d'eau liée (constituant des macromolécules organiques, responsable de la texture des tissu) et d'eau libre (solvant des composés cellulaire) qui seule passe sous forme solide ou glace, lors de la congélation de l'aliment.

Lorsque l'on refroidit de l'eau, sous pression normale, après un phénomène instable de ***surfusion*** où l'eau ne contenant pas encore de germes cristallins reste à l'état liquide à une température inférieure à sa température de solidification, les premiers cristaux apparaissent et croissent. La température reste constante à 0 °C tout au long de la solidification.



Lorsque l'on congèle un aliment, Il ne s'agit pas d'eau pure mais d'une solution complexe qui cristallise (par exemple pour la viande la cristallisation commencera en dessous de 0 °C pour s'arrêter presque totalement vers - 8 °C) : les premiers cristaux apparaissent dans l'aliment à une température dite de congélation commençante variable (-1°C pour les viandes maigres, -2°C à -3°C pour les fruits ...) Ces premiers cristaux servent de germes à la croissance cristalline au fur et à mesure que se poursuit la congélation : les molécules d'eau libre migrent et viennent s'agréger à un germe existant. La vitesse de croissance des cristaux dépend de la vitesse de refroidissement. La taille et la forme des cristaux de glace obtenus en fin de congélation dépendent du nombre de germes cristallins formés au début.

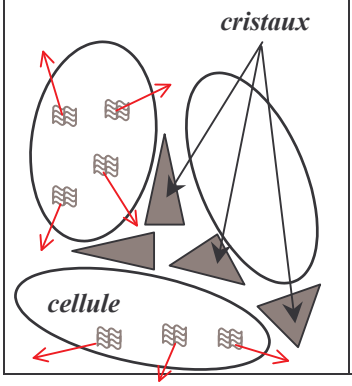
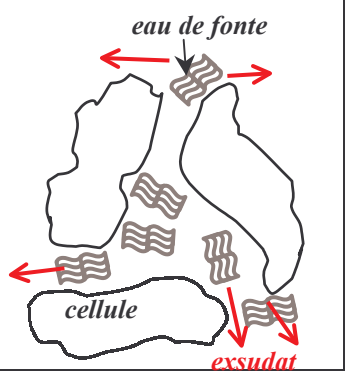
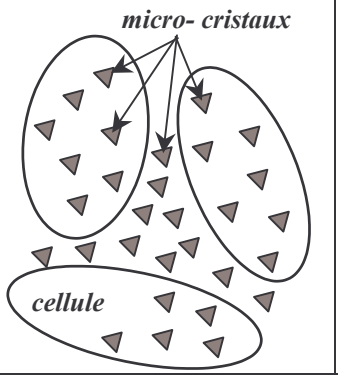
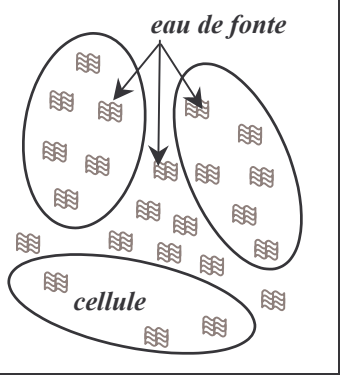
➔ **Congélation lente** : L'aliment reste assez longtemps **à une température proche du point de congélation**, il apparaît peu de germes et il se forme des cristaux de grande taille en forme d'aiguille qui déchirent les membranes cellulaires et cisaillent les tissus. La solution non congelée devient de plus en plus concentrée et provoque des phénomènes de dénaturation des protéines, à la manière du sel dans une viande salée. Leur pouvoir de rétention de l'eau diminue. A la décongélation, il y aura exsudation et perte d'eau, le produit sera fortement altéré.

➔ **Congélation rapide** : De nombreux germes cristallins apparaissent et une multitude de petits cristaux de glace plus ou moins arrondis se forment. Ils n'ont pratiquement pas d'effet mécanique, la structure du produit est conservée et les dénaturations des protéines sont faibles.

La formation (à une température faiblement négative) de cristaux pointus de grande taille est bien plus préjudiciable à l'aspect et à la saveur du produit que celle (à très basse température) de petits cristaux arrondis. De plus :

➔ **Congélation lente** : c'est l'eau intercellulaire qui se congèle en premier, il en résulte un déséquilibre osmotique, le liquide intercellulaire devient plus concentré, il y a transfert d'eau en provenance de l'intérieur des cellules et donc déshydratation et plasmolyse des cellules, la congélation est alors essentiellement extra-cellulaire

➔ **Congélation rapide** : Les germes de cristallisation naissent simultanément dans et hors des cellules, la concentration en soluté augmente donc de façon identique de part et d'autre des membranes cellulaires, il se forme de nombreux petits cristaux également répartis, la congélation est homogène.

Congélation lente		*Congélation rapide Surgélation*	
A la congélation	*A la décongélation*	*A la congélation*	*A la décongélation*
			

Une congélation rapide et à très basse température (la **surgélation**) est donc préférable pour la qualité du produit.

Remarques : L'épaisseur de l'aliment a une influence : petits cristaux à la périphérie, gros cristaux au centre.

5.3.3. Entreposage

Les aliments congelés ne sont pas inertes. Ils subissent des modifications physiques et chimiques. Au cours du stockage, les cristaux de glace grandissent peu à peu. La durée de conservation dépend de la température de stockage.

Durée d'entreposage en mois de quelques produits congelés :

Température de stockage	- 30°C	- 25°C	- 18°C		- 30°C	- 25°C	- 18°C
Carottes, épinards, pois	> 24	> 24	18	Lard	12	6	2 à 4
Haricots verts, asperges, choux-fleurs,	> 24	24	15	Viande de porc	15	12	6
Fraises, framboises sans sucre	24	18	12	Viande de bœuf	24	18	12
Fraises, framboises avec sucre	> 24	> 24	18	Poisson gras	12	8	4
Pâtisseries	> 24	24	12	Poisson maigre	24	18	8
Crème glacée	18	12	6	Poulet frit	12	9	6

(source : information technique des services vétérinaires)

Perte en masse : Les produits congelés voient leur masse diminuer à cause de la perte par évaporation d'une partie de l'eau qu'ils renferment pendant la phase de congélation proprement dite, mais surtout pendant la période d'entreposage. Cette perte, en générale inférieure à 1 % , peut atteindre 3 à 4 % pour certains produits d'origine végétale. La perte en eau durant la congélation est d'autant plus faible que cette opération est rapide. Elle est moindre dans le cas de l'utilisation d'un procédé cryogénique.

Détérioration des produits congelés :

➔ Certains fruits et légumes crus prennent une coloration brune.
- Brunissement enzymatique (pomme de terre, champignons, fruits à noyaux et à pépins) : détruire les enzymes responsables par blanchiment ou protéger l'aliment contre l'oxygène (sirop de couverture, acide ascorbique).
- Modification chimique de la chlorophylle (épinard, haricots verts).

➔ Apparition d'une teinte grisâtre à la surface des viandes congelés due à la déshydratation par sublimation en surface des tissus superficiels, appelée brûlure par le froid.

➔ Rancissement (oxydation) des graisses.

➔ Affadissement de la flaveur (disparition des arômes les plus volatils).

➔ Agrégation des protéines.

➔ Ramollissement de la consistance par destruction de la paroi cellulosique des cellules végétales.

➔ Déshydratation des tissus (perte en masse de l'ordre de 1 %, parfois 3 à 4 %) : durcissement de la texture, augmentation de la viscosité, déstabilisation des émulsions, exsudation à la décongélation.

➔ La présence abondante de givre à l'intérieur du conditionnement des denrées indique qu'elle ont été soumises à des fluctuation de températures importantes et fréquentes. La présence abondante de givre à l'extérieur du conditionnement des denrées indique un séjour à l'air humide et un réchauffement.

5.3.4. Décongélation :

Elle consiste à faire absorber à l'aliment l'énergie nécessaire à la fusion de la glace qu'il contient. La zone périphérique parvient vite à 0°C mais le cœur peut rester, par exemple, à -18°C. Or aux températures légèrement inférieures à 0°C, les cristaux de glace grandissent et dilacèrent les tissus cellulaires.

Si la décongélation se fait à température ambiante, les microbes recommencent à se développer dans le milieu très favorable constitué par les liquides d'exsudation émis par les cellules lésées par les cristaux de glaces. La libération à la décongélation d'un exsudat composé d'eau et de substances dissoutes entraîne de plus une détérioration de qualité du produit (pertes de vitamines, sels minéraux, pigments, composés aromatiques).

Mais si la décongélation est trop rapide, l'eau qui a été déplacée par la cristallisation et qui se trouve libérée très rapidement n'a pas le temps de retrouver sa position d'origine. Elle s'écoule dans les espaces libérés par la fusion et arrive à la surface des morceaux. Elle exsude. Une viande décongelée flasque baigne dans son jus. A la cuisson la perte de jus sera très importante. Le phénomène est moins gênant pour les viandes à braiser ou à bouillir mais elles perdront néanmoins de leur onctuosité, elles paraîtront sèches.

Si la décongélation n'est pas trop rapide voire relativement lente, l'eau libérée a le temps de retrouver sa place d'origine et reste en place surtout si la congélation a été très rapide et que les tissus n'ont pas été hachés par les cristaux de glace. Le produit après décongélation ressemble à un produit frais et peut être utilisé comme tel. Mais la décongélation doit se faire, à l'abri des contaminations et à une température inférieure à 10°C pour éviter la prolifération microbienne (dans un réfrigérateur par ex, jamais à température ambiante). Autres solutions :

- Enceinte à micro-ondes : décongélation homogène et à cœur (pour un produit épais, multiplier les temps de relaxation afin de laisser le temps à la chaleur de se propager par conduction) respecter allure et durées prescrites.
- Four de remise en température à infra-rouge ou cuiseur vapeur fluente (qui conviennent bien aux plats cuisinés)

On peut aussi cuire directement un aliment surgelé, le temps de cuisson devra tenir compte de la décongélation. L'exsudation des viandes sera limitée par le fait que la chaleur coagule les protéines superficielles qui formeront ainsi une sorte de barrière à la fuite de l'eau profonde.

On ne doit pas recongeler un produit décongelé, car la congélation ne détruisant pas les micro-organismes, ceux-ci se multiplient (leur nombre peut doubler toutes les 15 à 20 minutes) pendant la décongélation. On recongélerait alors un produit contenant plus de microbes qu'initialement et lors de la deuxième décongélation, leur nombre deviendrait très important.

6. EQUIPEMENTS DOMESTIQUES

6.1. REFRIGERATEURS DOMESTIQUES

Carrosserie en tôle et isolation en laine de verre, en mousse de polystyrène ou en mousse de polyuréthanne.

❖ **Critères de choix :**

- nombre de personnes,
- nombre de repas,
- habitudes alimentaires,
- fréquence de l'approvisionnement
- encombrement, esthétique.

❖ **Capacité en litres :**

- armoire une porte de 90 à 325 l.
- réfrigérateur-congélateur deux portes de 220 à 370 l.
- combinés (2 portes, 2 moteurs) de 290 à 395 l.

❖ **Classification** :

- pas d'étoile : 1 seul compartiment entre 0 et 4 °C.
- une étoile * : 1 deuxième compartiment à - 6 °C (pour la conservation des surgelés 1 à 2 jours et les glaçons).
- deux étoiles ** : le deuxième compartiment est à - 12 °C (pour la conservation des surgelés de quelques jours à quelques semaines).
- trois étoiles *** : le deuxième compartiment est à - 18 °C (conservation des surgelés au plus pendant un an) c'est un conservateur.

6.2. REFRIGERATEURS CONGELATEURS

- quatre étoiles **** : le deuxième compartiment est à - 24 °C il permet de congeler des produits frais et de les conserver un an au maximum (selon leur nature).

a) Froid traditionnel , deux types d'appareils :

➔ Appareils à 1 seul compresseur, 1 seul circuit frigorifique pour les deux compartiments, 1 seul thermostat réglant la température du compartiment de réfrigération (+ 2 °C à + 5 °C). Le réglage de la température de l'autre est automatique. Des modèles 3 portes existent avec compartiment "fraîcheur" à + 13 °C.

➔ Combinés à 2 compresseurs, chaque compartiment ayant son propre circuit de réfrigération. Les réglages de température sont indépendants.

En général le dégivrage est automatique dans le compartiment réfrigérateur et manuel dans l'autre.

b) Froid ventilé (ou TURBO-FROID)

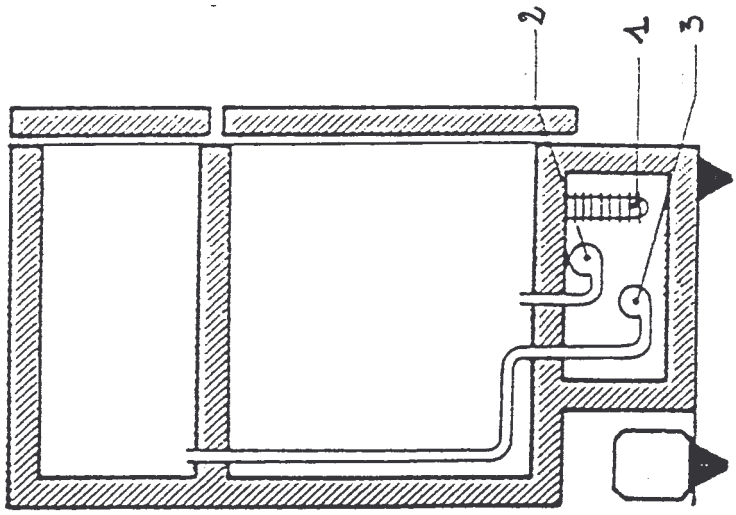
Une turbine crée une circulation d'air froid dans les divers compartiments. Cet air est constamment recyclé, le givre et les odeurs sont ainsi éliminés.

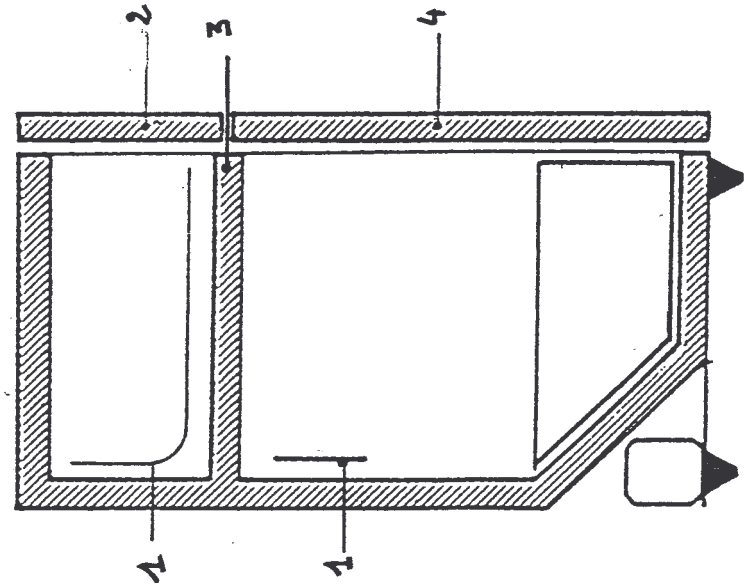
6.3. CONGELATEURS DOMESTIQUES

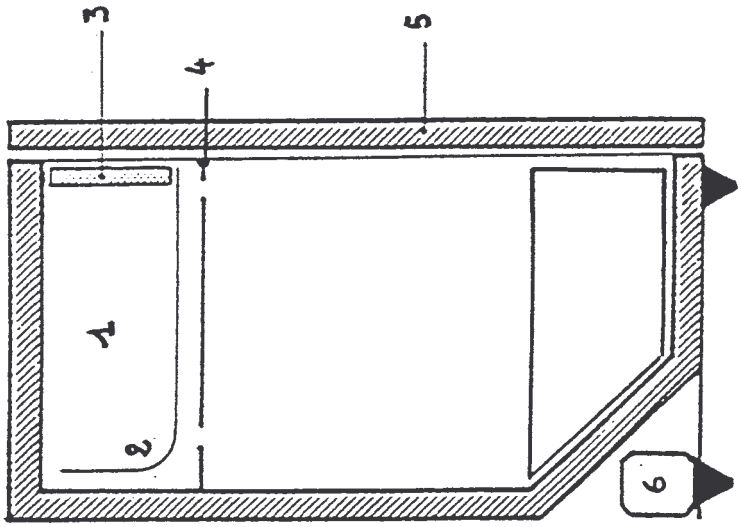
En restauration, leur utilisation pour congeler des aliments est proscrite, les cellules de congélation rapide sont obligatoires. Ils ne peuvent être utilisés qu'en tant que conservateurs.

- Le circuit frigorifique situé dans les parois permet une répartition uniforme du froid.
- Une cuve en métal permet une meilleure conduction du froid.
- Le volume choisi dépend :
  - du lieu d'habitation
  - de la place disponible
  - de la facilité d'approvisionnement
  - du nombre de personnes (50 à 100 l par personne)
- Capacités les plus courantes de 60 à 800 l.
- Puissances de 100 à 350 W.
- Consommation de 1,4 à 4,5 kW.h par jour.
- Pouvoir de congélation: 6,5 kg de produit par 24 h et par 100 l de volume utile.
- La température de congélation peut descendre jusqu'à -30 °C.

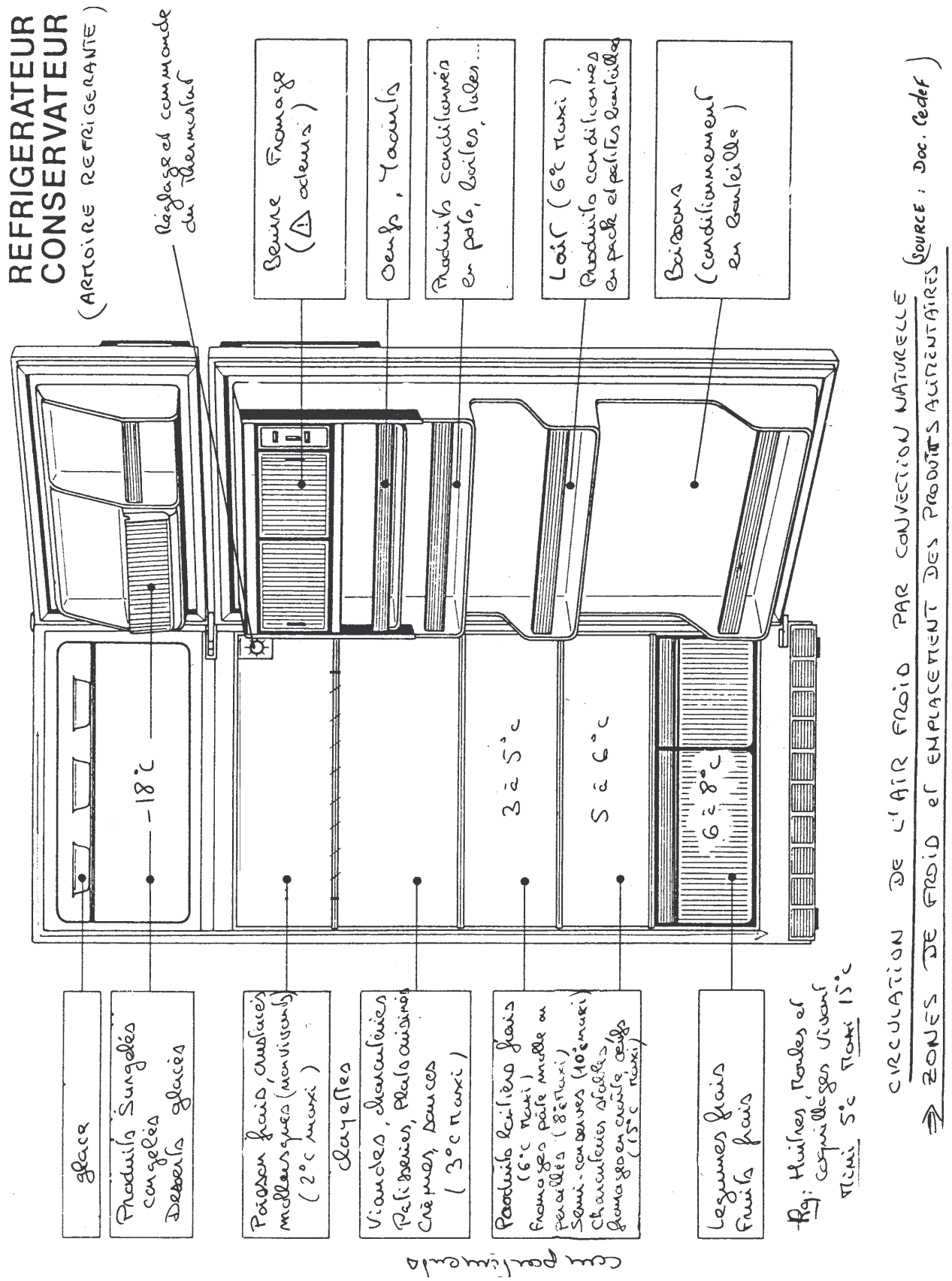
6.4. ZONES DE FROID (à compléter)



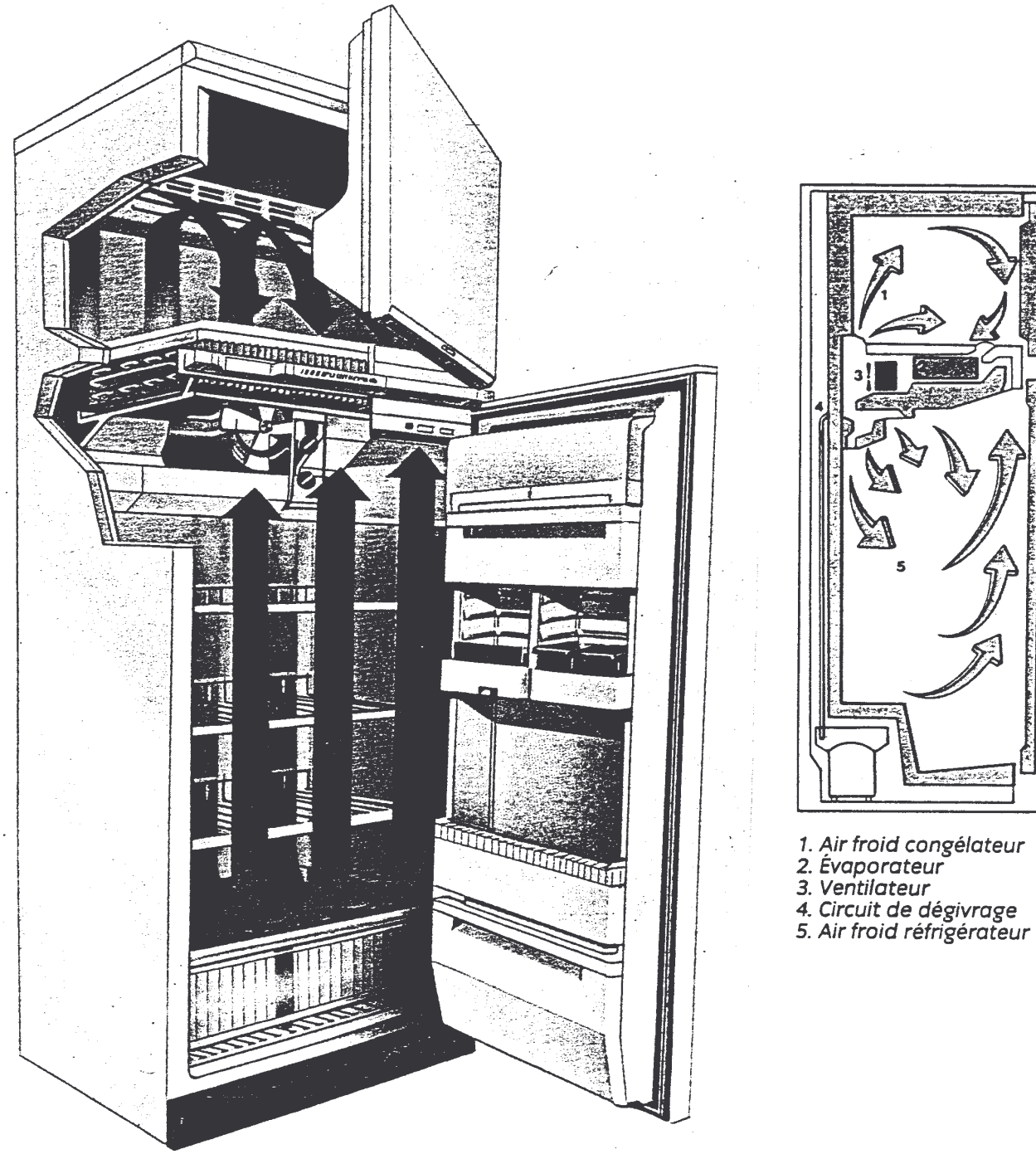




Document : exemples d'utilisation des zones de froid



Document : le froid ventilé (source : document commercial)



7. CHAMBRES FROIDES ET ARMOIRES FRIGORIFIQUES

7.1. DEFINITION

Ces équipements sont destinés à la **conservation** des produits alimentaires en restauration (matières premières, denrées prêtes à la distribution, produits surgelés) en maintenant leur température à une valeur adéquate. Ces appareils sont destinés au **stockage** (réfrigéré ou surgelé) des denrées et n'ont en aucun cas pour fonction d'abaisser leur température.

On les classe en deux catégories :

- ➔ les armoires froides dites ***"reach in"*** où les produits sont pris ou placés depuis l'extérieur.
- ➔ les chambres froides dites ***"walk in"*** où le stockage et l'enlèvement se fait en y entrant.

Remarques :

- Les poissons frais doivent être isolés sur lit de glace. Les fromages et certains fruits (fraises, framboises, melons, ananas, oranges, bananes) doivent être isolés car ils donnent de l'odeur. Le beurre et le lait, eux, prennent les odeurs et doivent être emballés ou isolés.
- L'humidité relative (ou degré hygrométrique) varie dans l'enceinte suivant les denrées :

poisson frais	pâtisserie	viandes	fruits et légume	fromage	plats préparés	crémerie
90%	85% à 90%	85%	85%	80%	70% à 80%	70%

Avantages :

- pas de givre dans l'enceinte
- répartition plus rapide et plus homogène de froid
- peu de transfert d'odeurs d'un aliment à l'autre : c'est la vapeur d'eau qui porte les odeurs, or elle est déchargée à chaque passage sur l'évaporateur avec une fréquence élevée.

Inconvénients :

Déshydratation des produits sans emballage

7.2. CRITERES DE CHOIX

- Volume de froid nécessaire (capacité et puissance frigorifique des appareils) : il se détermine en faisant établir un bilan frigorifique par un spécialiste.
- Type, quantités et conditionnement des denrées à stocker et rythme d'approvisionnement.
- Utilisation prévue et organisation de la production.
- Température ambiante et température désirée de conservation des produits.
- Isolation thermique de l'appareil.
- Consommation par unité de temps et par kg de produit entreposé
- Bruit du compresseur et éventuellement de la turbine
- Nombre de portes, de l'accessibilité aux différents espaces
- Possibilité de moduler les équipements intérieurs, aux dimensions "GASTRONORMES, par exemple :
    - coffre à poisson étanche à plusieurs tiroirs avec grille et évacuation de l'eau de fusion de la glace.
    - coffre étanche et à claies pour les fromages, évitant la propagation des odeurs.
    - barres à crochet pour suspension de viandes ou charcuteries.
    - étagères, paniers "gastronormes".
    - claies à bouteilles
- Mode de dégivrage (l'eau étant évacuée par un mini-tuyau dont il faut vérifier régulièrement s'il n'est pas bouché par un fragment d'aliment par exemple)
- Possibilité de moduler les températures dans les divers compartiments selon les besoins et la législation

7.3. ARMOIRES FRIGORIFIQUES

- Petits volumes de réfrigération de 300 l jusqu'à 3 000 l.
- En froid positif : température légèrement supérieure à 0 °C.
- En froid négatif : température comprise entre - 25 et - 32 °C.
- La puissance dépend de la capacité et de la température atteinte. Pour une même capacité, la puissance consommée en froid négatif peut atteindre le double de celle consommée en froid positif.

	Puissance électrique absorbée	Puissance frigorifique fournie
en froid positif	30 à 60 W par 100 l de capacité	34 à 50 W (ou 30 à 45 fg/h) par 100 l de capacité
en froid négatif	70 à 140 W par 100 l de capacité	68 à 100 W (ou 60 à 90 fg/h) par 100 l de capacité

- Consommation : elle dépend de la puissance et de la durée de fonctionnement du moteur qui se déclenche par intermittence, commandé par le thermostat de l'appareil. La consommation va donc varier en fonction de la fréquence d'ouverture des portes, des quantités de produits introduits, de l'évolution de la température extérieure. En moyenne, on compte que le groupe fonctionne entre 12 et 18 h par jour.
- Constitution : ces appareils sont maintenant entièrement métalliques avec une isolation en mousse de polyuréthanne injectée ou en panneau (de 60 à 80 mm d'épaisseur en froid positif, par exemple).
- Le groupe frigorifique est en général placé au-dessus ou en dessous de l'armoire.
- Deux portillons superposés, à la place d'une porte sur toute la hauteur, permettent des économies d'énergie en réduisant l'entrée d'air chaud lors de l'ouverture.
- Avec des portes vitrées (armoires vitrines), il faut prévoir, pour une même capacité, une plus grande puissance car les pertes de froid sont plus importantes.

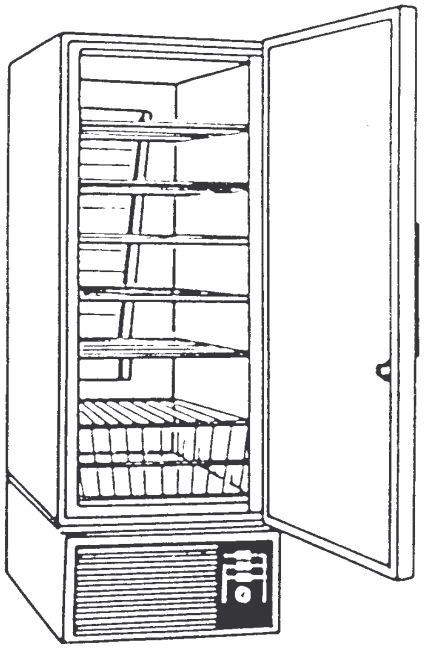
- La température varie légèrement entre le haut et le bas. L'air reste humide et peut se condenser sur les parois ou les aliments - et en cas d'ouverture prolongée de la porte, la température peut remonter. Une turbine de ventilation permet une meilleure circulation de l'air entre l'évaporateur et les aliments, et donc de maintenir une température plus homogène et d'assurer un retour à la température désirée plus rapide en cas d'ouverture de la porte. Il faut alors bien protéger les aliments de la contamination croisée et du dessèchement par un film ou un couvercle. Le bruit et la consommation électrique de la turbine s'ajoutent à celles du compresseur.

➔ Le tableau de commande comprend :
- un interrupteur marche-arrêt,
- un voyant lumineux d'alimentation électrique,
- un voyant lumineux de dégivrage,
- un thermostat,
- une horloge de dégivrage,
- un thermomètre digital ou à cadran.

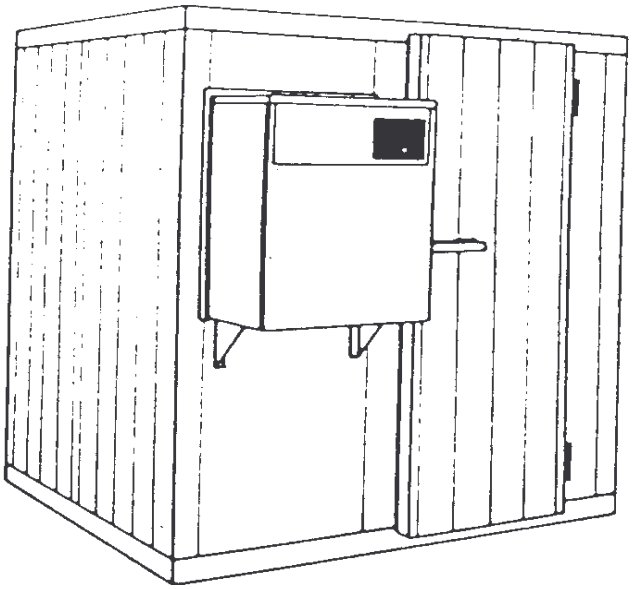
➔ Certains de ces appareils permettent l'entrée de chariots (aux dimensions "gastronormes") facilitant et réduisant ainsi les manipulations.

➔ Revêtement :
- tôle laquée cuite au four, bel aspect, facile à nettoyer mais fragile, réservée à l'extérieur.
- tôle d'acier galvanisé recouverte de résine époxy/polyester.
- acier inoxydable satiné ou poli brillant qui existe en deux qualités :
  - inox 18/8 ou 18/10, robuste, coûteux mais durable, résistant à toutes les corrosions (acide, rouille, piqûres).
  - acier ferritique au chrome F 17, couramment employé pour l'extérieur, il est sensible à la corrosion des produits alimentaires et se pique au contact du sel, du vinaigre, des jus de fruits...etc. Mais il est sensible à l'aimantation et est donc indispensable en cas de joints magnétiques sur les portes.
- aluminium alimentaire : il réfléchit mieux la chaleur que l'acier et permet des économies d'énergie (le compresseur se remet en marche moins souvent) mais il est moins robuste (déconseillé pour l'extérieur des portes). le contact avec du sel, des saumures laisse des taches blanches (formation d'aluminate de sodium).

Armoire frigorifique



Chambre froide compacte



7.4. CHAMBRES FROIDES

Elles existent en froid positif et en froid négatif. Les caractéristiques principales en sont la capacité (en m^3), la puissance absorbée et la puissance frigorifique.

	puissance électrique absorbée	puissance frigorifique (aux températures habituelles d'utilisation)
en froid positif	50 à 200 W/m^3	170 à 300 W (ou 150 à 260 fg/h) par m^3
en froid négatif	200 à 300 W/m^3	230 à 500 W (ou 200 à 430 fg/h) par m^3

consommation : Le nombre d'heures de fonctionnement du groupe frigorifique ne doit pas dépasser pas 14 à 16 h par jour, pour une utilisation normale (fréquence d'apport de denrées normale, pas d'ouverture prolongée des portes).

7.4.1. Chambre froide compacte

De dimensions limitées, elles sont constituées d'un seul bloc et fabriquées en usine.

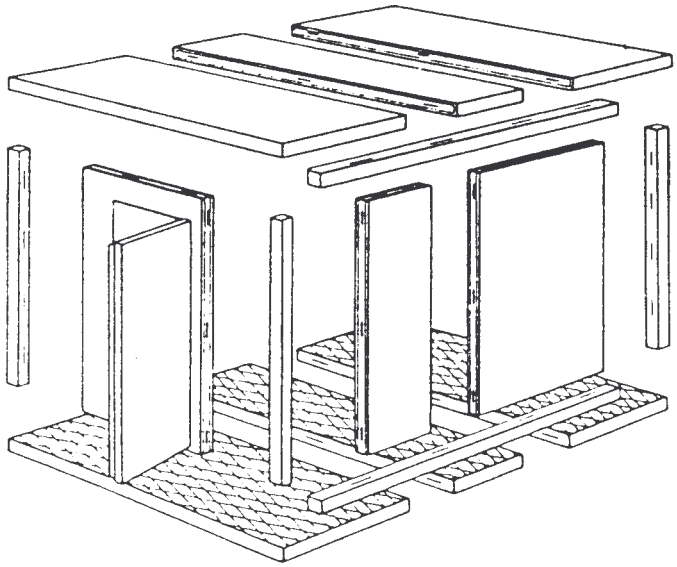
- volumes courants de 2 à 6 m^3 (jusqu'à 15 m^3)
- puissances absorbées de 0,5 à 2,7 kW
- parois en tôle d'acier laquée cuite au four
- isolation en mousse de polyuréthanne injecté (85 mm environ d'épaisseur)

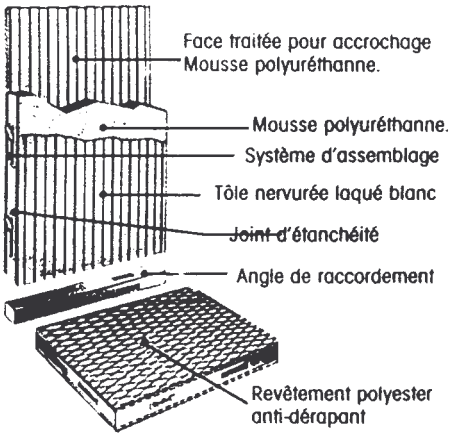
7.4.2. Chambre froide modulable

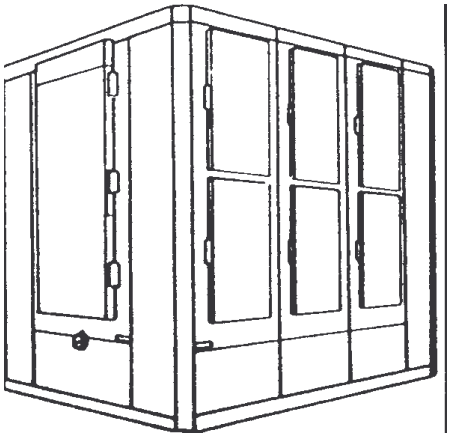
Elles sont démontables, constituées de panneaux légers, préfabriqués, de dimensions normalisées (en général multiples de 40 cm) et assemblés entre eux par un système de verrous à cames et de joints d'étanchéité. Ces panneaux sont constitués d'une âme de mousse de polyuréthanne placée en sandwich entre deux feuilles métalliques en aluminium, en acier inoxydable, en tôle d'acier laquée. L'épaisseur de l'isolation en dépend de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur : entre 60 et 80 mm en froid positif, entre 80 et 150 mm en froid négatif. Ces panneaux n'autorisent pas le support d'équipements, ceux-ci (rayonnages, clayettes, rails, chariots ... etc.;) doivent obligatoirement trouver appui sur le sol

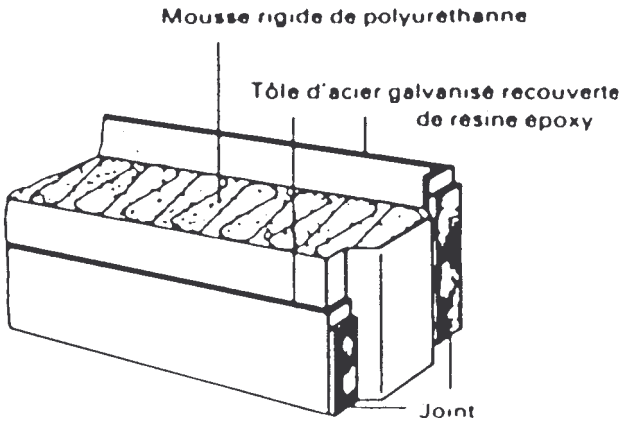
Avantages :

- grande adaptabilité, possibilité d'évolution ultérieure,
- investissement moins important que pour une chambre froide en dur,
- mise en place rapide, montage simple,
- nettoyage facile, entretien réduit.









7.4.3. Chambre froide bâtie

Construites en dur (briques, béton) elles sont réservées aux grosses exploitations. Les parois doivent être repeintes tous les ans pour éviter le développement de moisissures, à moins d'être carrelées en faïence dans le cas de froid positif.

7.5. ENTRETIEN ET MAINTENANCE DE PREMIER NIVEAU

- vérifier le dégivrage des évaporateurs,
- dépoussiérer les condenseurs à air et détartrer les condenseurs à eau, afin d'en assurer un bon refroidissement.
- dépoussiérer régulièrement les grilles des ventilateurs (au moins une fois par mois).
- vérifier le fonctionnement des thermomètres, des indicateurs, des appareils de commandes (thermostat, pressostat, détendeur), du système d'alarme, l'étanchéité et la fermeture des joints de portes
- vérifier l'absence de fuites de fluide frigorigène, l'absence de vibrations des canalisations et des différents organes.
- éviter la stagnation d'eau

Chaque jour	Eliminer les souillures diverses (débris alimentaires) Nettoyage désinfection du sol
Chaque semaine	Nettoyage des surfaces, murs, plafond, étagères (clayettes et crochets compris), portes (poignées et joints compris), brossage avec un détergent (ou mieux un détergent - désinfectant), rinçage à l'eau claire, suivi d'aération (pour faciliter le séchage).
Chaque mois	Désinfection complète avec un désinfectant autorisé pour le matériel entrant en contact avec les denrées alimentaires, et sans odeur (très importante en cas de présence anormale de moisissures)
Chaque année	Faire vérifier le système de réfrigération par un spécialiste

8. CELLULES DE REFROIDISSEMENT ET DE CONGELATION RAPIDE

8.1. DEFINITION

Appareils destinés à la **descente en température** des denrées, leur utilisation est obligatoire en restauration différée pour la réfrigération des plats cuisinés à l'avance. Elles permettent d'abaisser rapidement la température des plats cuisinés chauds : Les **cellules de refroidissement rapide** (utilisées en liaison froide positive) doivent amener les plats de leur température de fin de cuisson à une température inférieure à **+ 10 °C** en moins de **2 heures**. Les **cellules de congélation rapide** poursuivent le refroidissement jusqu'à une température inférieure ou égale à **-18 °C.**

8.2. CRITERES DE CHOIX

➔ le nombre de repas par jour,
➔ le nombre de jours d'utilisation,
➔ la masse de denrée produite,
➔ les températures d'entrée et de sortie des produits

déterminent le nombre, la capacité et la puissance des cellules nécessaires

Il faut également prendre en compte :
- le coût d'investissement (achat + installation)
- le coût d'utilisation (énergie, eau éventuelle)
- le coût d'entretien
- la durabilité du matériel.

Avantages de l'utilisation des cellules en restauration collective :
- Excellentes conditions d'hygiène,
- Respect de la qualité des aliments,
- Variété plus importante de plats proposés au menu,
- Réduction des pertes de denrées,
- Meilleures conditions et répartition du travail,
- Sécurité d'utilisation et entretien facile.

La descente en température rapide ou la vitesse de surgélation importante limite la perte de poids par déshydratation et évite la formation de cristaux de glace susceptible d'altérer la qualité organoleptique des denrées congelées.

8.3. CARACTERISTIQUES

Capacité (ou charge nominale)	de 15 à 150 kg d'aliments.
Puissance électrique moyenne	compresseur et ventilateur absorbent entre 50 et 70 W par kg de charge nominale
Puissance électrique d'une cellule	de 750 W à 10 kW.
Consommation moyenne (*) cellule de réfrigération cellule de congélation	 60 à 90 Wh par kg de denrées 180 à 270 Wh par kg de denrées
Puissances frigorifiques	de 1 à 15 kW

(*) dépend de l'importance et du type de cellule, de la façon dont elle est chargée et de l'épaisseur des denrées à traiter.
Les revêtements intérieurs et extérieurs sont en aluminium ou en acier inoxydable. L'isolation est assurée par une épaisseur (60 mm au moins) de mousse de polyuréthanne injectée.

Ces cellules doivent avoir des dimensions intérieures compatibles "GASTRONORME", certaines permettent l'introduction de chariots de chargement.

Le tableau de commande comprend en général :

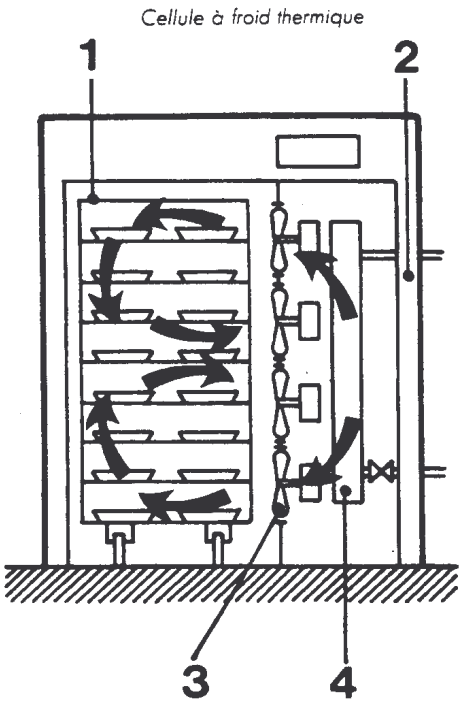
- thermomètre,
- interrupteur et voyant marche/arrêt,
- minuterie ou horloge de programmation,
- voyants "Refrigération" pour la phase de descente en température et "Conservation" si le cycle est terminé,
- alarme avec voyant en cas de dysfonctionnement.

8.4. CELLULES A FROID MECANIQUE

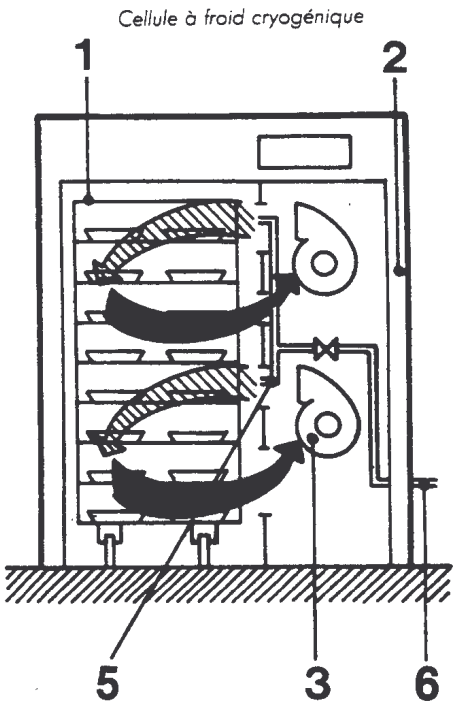
Le froid est produit par une machine frigorifique à compresseur. Le groupe est à air ou à eau suivant que le condenseur est refroidi par l'air ambiant ou par une circulation d'eau. Le rendement de groupes à eau est meilleur (gain de 10 à 15 %) mais il y a consommation d'eau. Pour les grosses puissances il est intéressant de récupérer la chaleur rejetée au condenseur.

A l'intérieur de l'enceinte, un ou plusieurs ventilateurs très puissants font circuler l'air froid en circuit fermé sur l'évaporateur (ou batteries froides) et les denrées. Ces cellules peuvent fonctionner en froid positif (refroidissement rapide) ou en froid négatif (congélation rapide).

Il existe des cellules qui produisent de l'eau glacée. Elles sont destinées au refroidissement rapide de produits conditionnés sous vide : leur emballage étanche et l'absence d'air permettent un excellent échange thermique par contact, au cours de leur immersion dans l'eau glacée.



1 Chariot portant les barquettes à refroidir
2 Isolant thermique
3 Ventilateur
4 Batterie froide



5 Buse d'injection du fluide cryogénique
6 Conduite d'arrivée du fluide cryogénique (CO^2 ou N^2)

8.5. CELLULES CRYOGENIQUE

Le froid est produit par le changement d'état d'un fluide cryogénique injecté dans l'enceinte :

- du diazote (N_2) qui se vaporise,
- du CO_2 qui se transforme en neige carbonique puis se vaporise.

Avantages :
- Ce sont des produits incolores, inodores et sans saveur. Ils créent une atmosphère inerte et antioxydante qui s'oppose au développement bactérien et conserve les qualités organoleptiques des produits.
- Source de froid disponible immédiatement.
- Puissance non limitée.

Inconvénients :
- coût plus élevé.
- utilisation uniquement en congélation.
- consignes et dispositifs de sécurité très stricts, appareils plus dangereux.

8.6. CELLULES MIXTES

Dans ce type de cellules, les deux procédés de production de froid (mécanique et cryogénique) sont associés.

9. REGLEMENTATION, SECURITE

Hygiène : Les matériels doivent être conformes (entretien, nettoyage, hygiène) à la norme NF (NF U 60-010).
Des thermomètres enregistreurs de contrôle avec visualisation extérieure sont obligatoires sur les chambres froides stockant de la viande hachée et des plats préparés à l'avance ainsi que sur les appareils utilisés en restauration différée (liaison froide).

Sécurité électrique : Les équipements frigorifiques utilisés en restauration doivent satisfaire aux normes NF (cellules de refroidissement : NF C 79-500, chambres froides : NF E 35-400)
L'installation électrique doit être conforme.

Sécurité du personnel : Les portes des chambres froides doivent obligatoirement pouvoir s'ouvrir de l'intérieur, même si elles sont fermées à clef de l'extérieur. Les chambres froides de plus de 10 m3 doivent comporter une alarme sonore déclenchable de l'intérieur.

Performances : Celles des cellules de refroidissement rapide doivent être conformes une norme NF (NF D 40-001).

10. ENTRETIEN

- vérifier le dégivrage des évaporateurs,
- dépoussiérer les condenseurs à air et détartrer les condenseurs à eau, afin d'en assurer un bon refroidissement.
- vérifier le fonctionnement des thermomètres, des indicateurs, des appareils de commandes (thermostat, pressostat, détendeur), du système d'alarme
- nettoyer les joints de portes, en vérifier l'étanchéité et la fermeture.
- vérifier l'absence de fuites de fluide frigorigène, l'absence de vibrations des canalisations et des différents organes.

11. EXERCICES ET CORRIGES

Ex.1. On compare deux armoires frigorifiques de capacité 250 l.
Le modèle F315 absorbe une puissance électrique de 196 W et le modèle KS310, 142 W.

a) Le pourcentage du temps pendant lequel le moteur fonctionne pour conserver la température intérieure à 5 °C, dans un local à 32 °C, à vide, sans ouvrir la porte est 61 % pour le F315 et 53 % pour le KS310. Calculez l'énergie électrique dépensée dans ces conditions en 24 h. par chacun de ces appareils et son coût (prix moyen du kW.h de 0,10 €).

b) Dans un local à 25 °C, pour conserver la température intérieure à 5 °C, le F315 consomme en 24 h, 2 kW.h et le KS310 1,2 kW.h. Calculez, dans chacun des cas, le temps de fonctionnement en heures et en pourcentage.

c) Discutez quel est le meilleur choix, sachant que le KS310 coûte 80 € de plus que le F315. Comment pouvez-vous expliquer les différences constatées dans les performances de ces deux appareils ?

a)	F315	KS310
Pel	196 W = 0,196 kW	142 W = 0,142 kW
t	0,61× 24 = 14,64 h	0,53× 24 = 12,72 h
$P = \frac{E}{t} \Leftrightarrow E = P \times t$	0,196 × 14,64 = 2,86944 ≈ 2,87 kWh	0,142 × 12,72 = 1,80624 ≈ 1,81 kWh
coût	2,87 × 0,1 ≈ **0,287 €**	1,81 × 0,1 ≈ **0,181 €**

b)	FT315	KS310
Pel =	196 W = 0,196 kW	142 W = 0,142 kW
Eel =	2 kWh	1,2 kWh
$P = \frac{E}{t} \Leftrightarrow t = \frac{E}{P} \Leftrightarrow t =$	2 ÷ 0,196 ≈ **10,20 h**	1,2 ÷ 0,142 ≈ **8,45 h**
	10,2 × 100 ÷ 24 ≈ **42,5 %**	8,45 × 100 ÷ 24 ≈ **35,2 %**

c) Le modèle KS310 permet d'économiser, dans des conditions de fonctionnement identiques :
0,287 - 0,181 = 0,106 € par jour, le surcoût à l'achat de 80 € sera donc amorti en :
80 ÷ 0,106 ≈ 754 jours soit environ 2 ans
La durée de vie de ce type d'appareil étant bien supérieure, le meilleur choix est bien le modèle KS310.
Les différences de performance sont essentiellement dues à des différences dans la qualité de l'isolation thermique.

Ex..2. Sur la plaque signalétique d'une armoire frigorifique négative de 515 litres, on peut lire : " puissance frigorifique 320 kcal/h, puissance absorbée 0,32 kW ". Expliquez cette inscription, rectifiez-en au besoin les unités.

1 kcal = 4 180 J t= 1 h = 3 600 s 320 kcal/h = $\frac{320 \times 4180}{3600}$ ≈ 371,555 W ≈ **0,371 kW**

C'est la puissance frigorifique c'est à dire puissance utile P_u.

0,32 kW est la P_a puissance électrique absorbée.

Si on calcule Pu ÷ Pa on obtient non pas le rendement (qui serait alors supérieur à 1, la notion de rendement n'a pas de sens pour une machine frigorifique) mais la performance ou le coefficient de performance (CoP) de cette machine thermodynamique.

Ex. 3. Une chambre froide modulable (de dimensions extérieures: hauteur 2,10 m, largeur 1,80 m, profondeur 2,40 m) est isolée par une épaisseur de 60 mm de mousse de polyuréthanne, sans ponts thermiques. Les caractéristiques de l'isolation donnée par le constructeur sont:
- conductivité thermique inférieure à 0,020 W/m.°C
- coefficient K = 0,32 W/m².°C
- masse 40 kg/m²
a) Calculer la surface totale des parois, le volume d'encombrement de cette chambre froide et son volume utile intérieur. Calculez la masse d'isolant employée.
b) Si la température extérieure est 20 °C et celle à l'intérieur de la chambre - 25 °C, calculez la quantité de chaleur perdue à travers les parois par seconde, par heure, par jour. En déduire la puissance frigorifique minimale nécessaire. De quoi faut-il tenir compte en plus ? (cf. Chap. 1.7.)

a) Surface totale des parois : 2 × 1,8 × 2,1 + 2 × 2,4 × 2,1 + 2 × 1,8 × 2,4 = **26,28 m²**
Volume d'encombrement ou volume extérieur : 2,1 × 1,8 × 2,4 = **9,072 m³**
Dimensions intérieures : hauteur : 2,1 - (2 × 0,06) = 1,98 m
largeur : 1,8 - (2 × 0,06) = 1,68 m
profondeur : 2,4 - (2 × 0,06) = 2,28 m
Volume intérieur : 1,98 × 1,68 × 2,28 ≈ **7,584 m³**
Volume d'isolant : 9,072 - 7,584 = 1,488 m³ ⇒ Masse d'isolant : 1,488 × 40 = **59,52 kg**

b) K = 0,32 W/m².°C θi = - 25 °C θe = 20 °C S = 26,28 m³
Le flux de chaleur qui traverse les paroi de cette chambre froide est :
$\Phi = K \times S \times (\theta_e - \theta_i)$ = 0,32 × 26,28 × [20 - (- 25)] = **378,432 W**

La quantité de chaleur qui travers les parois est donc :
par seconde : 378,432 × 1 = **378,432 J**
par heure : 378,432 × 3 600 = 1 362 355,2 J ≈ 1 362 kJ
378,432 × 1 = **378, 432 Wh**
par jour : 378,432 × 1 × 24 = 9 082,368 Wh ≈ **9 kWh**

La puissance frigorifique minimale nécessaire est **378,432 W**

Cette puissance frigorifique ne permet que de compenser les déperditions de froid à travers les parois. Il faut de plus tenir compte de l'introduction d'air à 20 °C lors de l'ouverture des portes, de la chaleur dégagée par le personnel pénétrant à l'intérieur de la chambre froide, de l'apport de chaleur du à l'éclairage et aux ventilateurs, éventuellement des denrées introduites, de leur masse et leur température (si celle-ci est supérieure à - 25 °C).

Ex. 4. Voici la fiche technique d'une cellule de refroidissement rapide, expliquez-en chacun des termes :

capacité: 10 GN 1/1

capacité de réfrigération de + 65 à + 10 °C	*en 1 h maxi: 60 GN 1/6 = 24 kg env. = 60 portions*
	en 110 min maxi: 10 GN 1/1 = 60 kg env. = 140 portions
capacité de congélation:	*charge 30 kg (épaisseur du produit 50 mm)*
	durée du cycle (pour atteindre - 18 °C à coeur) 4 h

a) Cette cellule respecte-t-elle la législation ?

b) Calculez la capacité de réfrigération en 5 h/jour avec changement de charge toutes les heures et la capacité de congélation en 24 h.

c) Un restaurateur l'utilise pour réfrigérer des plats cuisinés à l'avance à raison de 8 h par jour, en changeant de charge toutes les deux heures. Combien de rations produira-t-il alors par jour ?

a) **Capacité** : aménagement intérieur à 10 niveaux Gastronorme 1/1 : 530 mm sur 325 mm, chaque niveau peut recevoir :

- soit 1 barquette, 1 bac ou 1 plat GN 1/1,
- soit 2 barquettes GN1/2
- soit 4 barquettes GN1/4
- soit 3 barquettes GN1/3
- soit 6 barquettes GN1/6
- soit 8 barquettes GN1/8
- ... ou diverses combinaisons de barquettes (par exemple 2 GN 1/4 et 4 GN 1/8)

Capacité de réfrigération de + 65 à + 10 °C : quantité maximale de denrées (masse en kg et nombre de barquettes Gastronorme) que la cellule peut traiter, et temps nécessaire pour les porter de + 65 °C (température de fin de cuisson) à - 10 °C à coeur (en liaison froide positive). Ce temps est plus court dans le cas d'un conditionnement en petites barquettes.

Capacité de congélation : idem mais en liaison froide négative (de + 65 °C à - 18 °C à coeur)
Cette cellule respecte la législation puisque dans tous les cas la température passe de + 65°C à + 10 °C **en moins de 2 heures.**

b) Capacité de réfrigération en 5 h/jour avec changement de charge toutes les heures :

$5 \times 24 =$ **120 kg** ou $5 \times 60 =$ **300 portions conditionnées en GN1/6**

Capacité de congélation en 24 h : $24 \div 4 = 6$ cycles donc $6 \times 30 =$ **180 kg**

c) Réfrigération, 8 h par jour, changement de charge toutes les deux heures. Nombre de charge : $8 \div 2 = 4$
En 110 min (< 2 h) la cellule traite 140 rations, le restaurateur produit donc par jour : $140 \times 4 =$ **560 rations**

Ex..5. Une cellule de réfrigération rapide traite 150 kg de produit par cycle de 2 h. Ses caractéristiques sont :

- puissance électrique moyenne absorbée :	*ventilateurs, dégivrage, régulation (hors groupe) 1,65 kW*
	groupe frigorifique à eau 8 kW
	groupe frigorifique à air 9,35 kW

- puissance frigorifique (à - 10 °C + 40 °C) 14,2 kW
- ventilation évaporateur 12 100 m3/h
- vitesse d'air frontal 3,13 m/s

a) expliquez chaque caractéristique donnée par cette fiche technique, ainsi que le fonctionnement et l'utilisation de cet appareil.

b) Dans le cas d'un groupe à air, calculez l'énergie électrique dépensée pour traiter 1 tonne de produit, ainsi que son coût (à un prix moyen du kW.h de 0,10 €) . Quelle économie serait réalisée avec un groupe à eau ? De quoi faudrait-il alors tenir compte ?

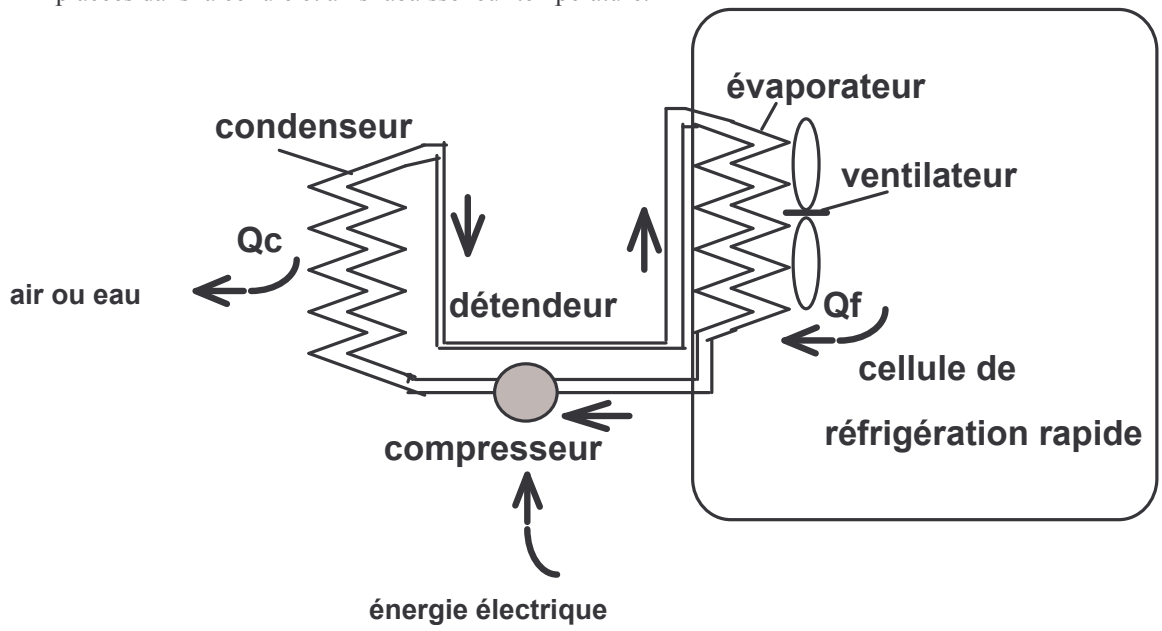
a) Il s'agit d'un appareil destiné à réfrigérer 150 kg de plats cuisinés à l'avance (elle doit permettre de respecter la législation : de + 65 ° et C à + 10 °C à coeur en moins de 2 h).

C'est un appareil frigorifique à Pompe à Chaleur avec compresseur (réfrigération mécanique)

Schéma et fonctionnement de l'appareil :

Un fluide réfrigérant (tantôt liquide, tantôt gaz) circule dans ce circuit fermé et revient à son état initial après un cycle de transformations :

- dans le **compresseur** électrique : le fluide gazeux est comprimé, sa pression croît de façon à favoriser sa liquéfaction ultérieure dans le condenseur. Sa température augmente, mais il reste gazeux.
- dans le **condenseur** : le fluide gazeux entre avec une température supérieure à celle de l'air ou de l'eau dans lequel baigne le condenseur, il se refroidit, se liquéfie (changement d'état exothermique) et cède sa chaleur de condensation à l'air ou à l'eau en contact avec le condenseur. La pression reste élevée.
- dans le **détendeur** (en général long tube capillaire) la pression du liquide doit être abaissée pour favoriser sa vaporisation ultérieure dans l'évaporateur. La température du liquide baisse.
- dans **l'évaporateur** : le fluide entre avec une température inférieure à celle de la source froide, il se réchauffe, se vaporise (changement d'état endothermique) en enlevant la chaleur nécessaire aux denrées placées dans la cellule et ainsi abaisse leur température.



La ***puissance électrique moyenne absorbée*** est la puissance consommée, sous forme électrique, par les différents organes de l'appareil. Ce sont des valeurs moyennes qui sont données car l'appareil est commandé par un thermostat qui asservit les durées de fonctionnement à la température.

La puissance absorbée par le groupe frigorifique est moindre si le condenseur est refroidi par de l'eau froide plutôt que par l'air ambiant. En effet la température de l'eau froide étant inférieure à celle de l'air, l'écart de température entre l'intérieur de la cellule et le milieu en contact avec le condenseur (source froide et source chaude de la pompe à chaleur) est ainsi plus faible et le coefficient de performance de la machine meilleur : pour une même puissance frigorifique utile, la puissance absorbée sera plus faible.

La ***puissance frigorifique*** est donnée pour des conditions de fonctionnement déterminée : évaporateur à - 10 °C et condenseur à + 40 °C.

L'échange thermique entre l'évaporateur et les denrées est amélioré et accéléré par un ventilateur placé devant l'évaporateur : l' air circule sur les denrées avec une vitesse peu élevée (3,13 m/s ou 11,3 km/h) mais avec un débit important pour transférer de grandes quantités d'énergie thermique.

b) Dans le cas d'un groupe à air la puissance moyenne totale absorbée est : 9,35 + 1,65 = 11 kW

A raison d'1 cycle de 2 h pour traiter 150 kg de produit, pour refroidir 1tonne = 1 000 kg, il faudra :

$1\,000 \div 150 = 6{,}666 \approx 7$ cycles

soit un temps de fonctionnement de : $7 \times 2 = 14$ h

et une quantité d'énergie électrique consommée de : $11 \times 14 =$ **154 kWh**

pour un coût de : $154 \times 0{,}10 =$ **15,4 €**

Dans le cas d'un groupe à eau la puissance moyenne totale absorbée est : 8 + 1,65 = 9,65 kW

Pour refroidir 1 tonne de produit, la quantité d'énergie électrique consommée sera : $9{,}65 \times 14 = 135{,}1$ kWh

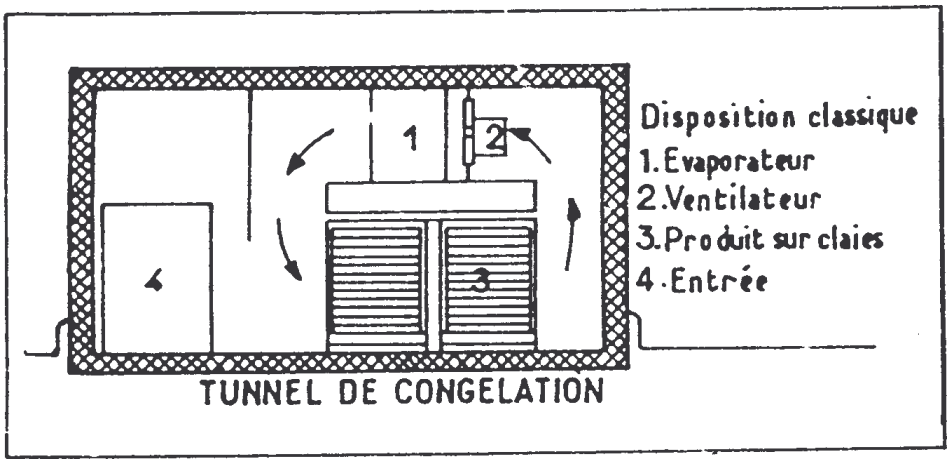
pour un coût de : $135{,}1 \times 0{,}10 = 13{,}51$ € l'économie réalisée est donc de : 15,4 - 13,51 = **1,89 €**

Il faudrait alors tenir compte du prix de l'eau utilisée dans le cas, fort peu rationnel, où celle-ci n'est pas récupérée. Par contre, l'utilisation de cette eau réchauffée, permet des économies intéressantes sur la production d'eau chaude ou le chauffage des locaux.

12. SYSTEME DE SURGELATION INDUSTRIELLE

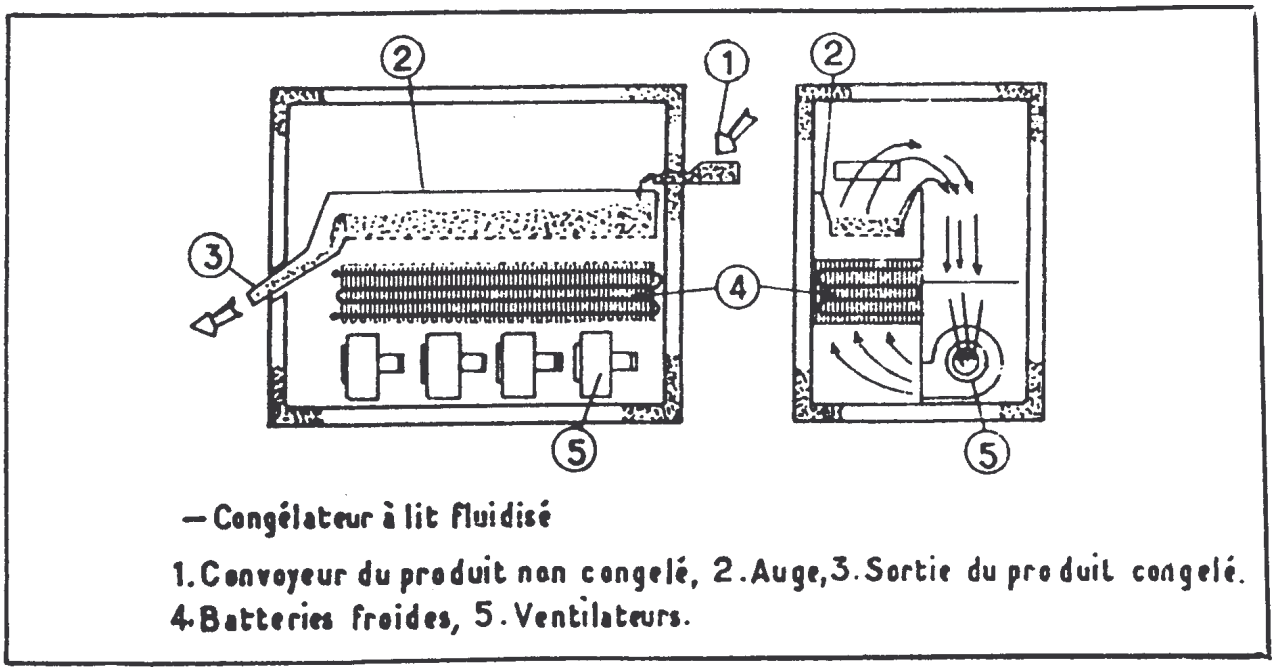
12.1. TUNNEL A AIR FORCE

C'est une chambre froide de forme allongée et de section étroite où de l'air froid (entre - 30° et - 40° C) circule à une vitesse uniforme (entre 4 et 6 m/s). Le produit est :
- placé sur des chariots immobiles ou à avancée automatique,
- accroché (quartier de viande, volailles sur balancelles),
- déposé sur une bande transporteuse (steacks hachés, pommes dauphines et noisettes, pizzas, raviolis, plats cuisinés en barquette, coquilles de poisson, filets et tranches de poisson, crêpes fourrées, fonds de tarte, croissants, glaces ...)



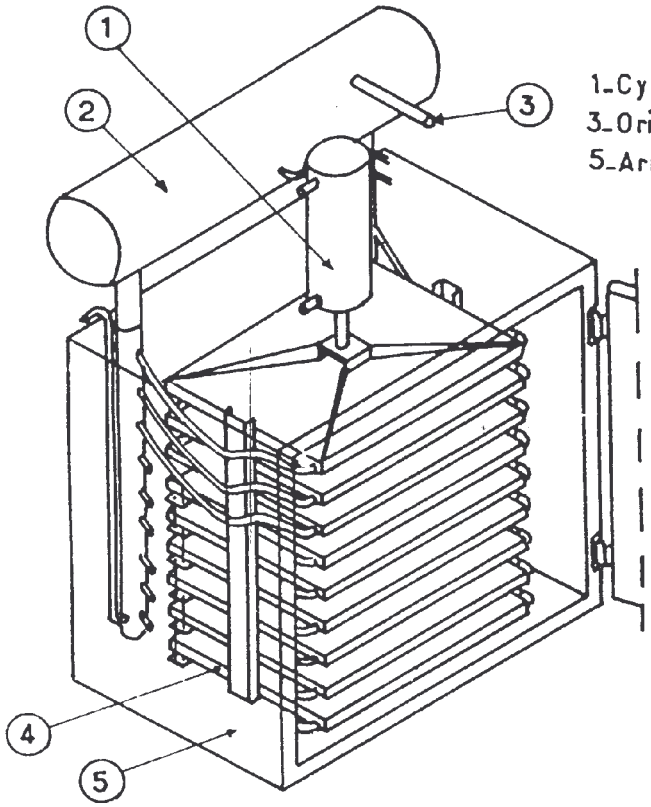
12.2. CONGELATEURS A LIT FLUIDISE

Il y a fluidisation quand des particules de forme et de dimensions assez uniformes sont soumises à un courant d'air de bas en haut. En fonction de la vitesse de l'air (qui dépend du produit) les particules flottent dans un courant d'air froid ascendant et l'ensemble se comporte comme un fluide. Cela évite le collage des produits entre eux :
légumes et fruits coupés ou de petites dimension, fraises, framboise, myrtilles... pommes frites, crevettes décortiquées, viandes en dés...



12.3. CONGELATEURS A PLAQUES

Le produit est pressé par un vérin hydraulique entre des plaques métalliques dans lesquelles circule un fluide frigorigène (à environ -35°C). Le temps de congélation est très court. Produits peu fragiles et de faible épaisseur : purée de fruits et de légumes, pulpe de fruit, épinards en plaque, poissons en vrac.



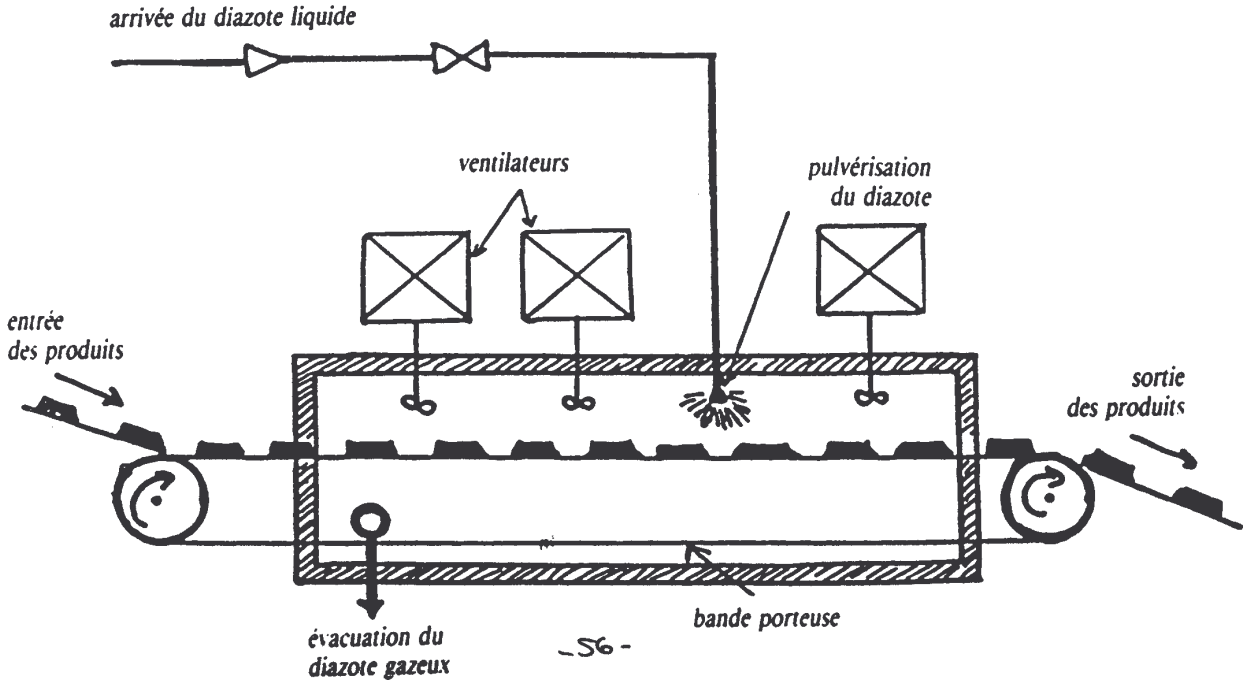
Congélateur à plaques horizontales.

1_Cylindre hydraulique, 2_Séparateur de liquide.
3_Orifice d'aspiration, 4_Plaque de congélation.
5_Armoire isolée.

12.4. CONGELATION PAR ASPERSION (CRYOGENIE)

On vaporise de l'azote liquide à - 196°C ou de dioxyde de carbone à - 78,9°C sur les produits qui sont porté à - 60°C en 4 minutes.

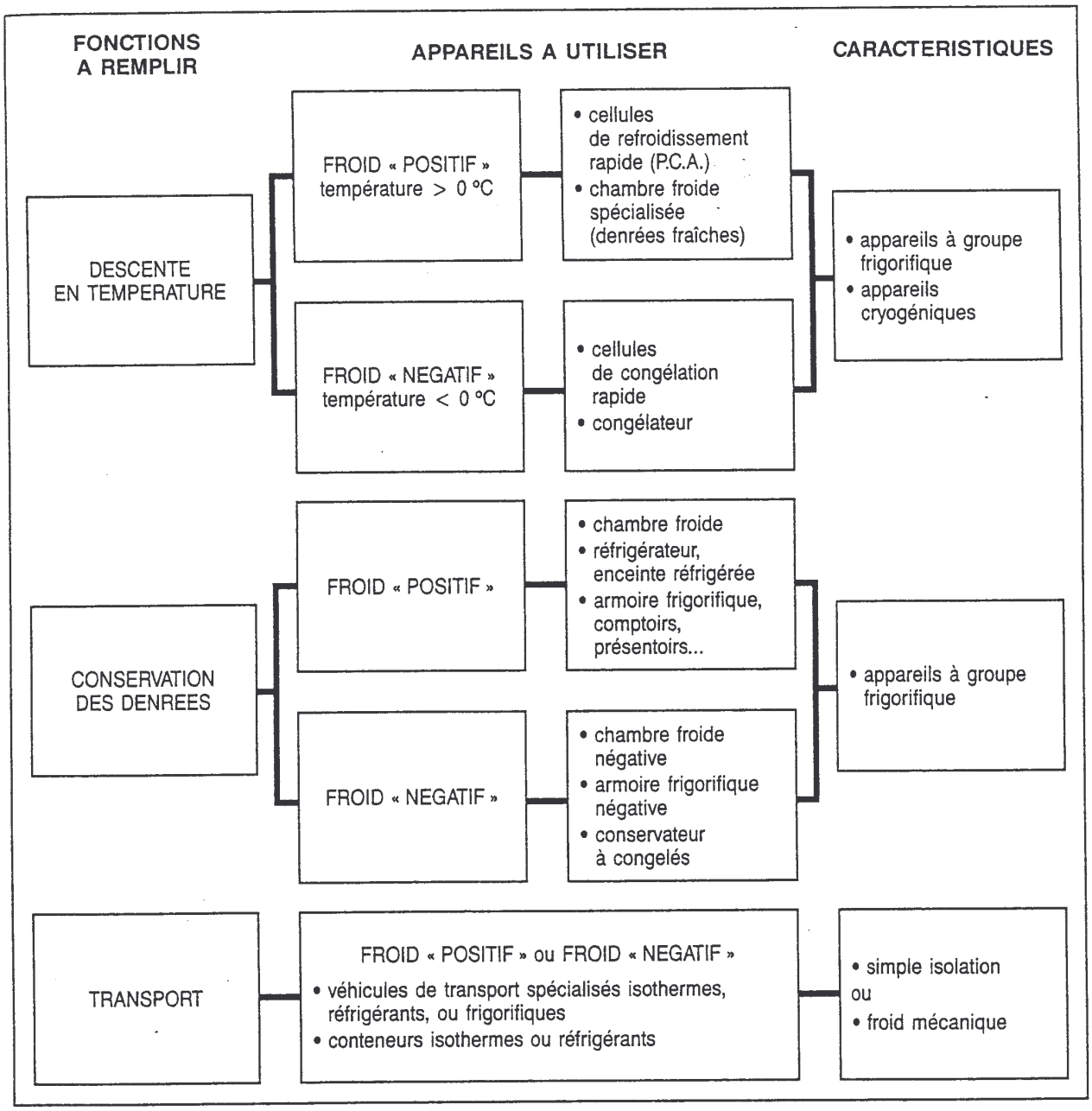
CONGELATEUR TUNNEL A DIAZOTE GAZEUX



Document : Fonctions de l'installation frigorifique en restauration

La conservation des denrées périssables, avant ou après leur transformation ou leur préparation, requiert l'utilisation du froid.

Les équipements en froid doivent être adaptés aux besoins de l'établissement et respecter la réglementation en vigueur.



Lors du choix d'un appareil, et en particulier d'une cellule de refroidissement rapide, il est préférable de demander un « certificat de conformité » LERPAC* qui attestera que l'appareil satisfait à certaines exigences :

— il satisfait aux exigences concernant des performances précisées dans les cahiers des charges établis par l'AFF* ;

— il permet le respect des règles d'hygiène mises au point par une commission spéciale ;

— il respecte les dimensions conformes à un texte officiel.

Pour une bonne utilisation du matériel, il est nécessaire de bien respecter les indications fournies par le constructeur.

* LERPAC = ex - CNERPAC ; AFF = Association française du froid (voir bibliographie pour adresses).

Document : Entretien (source : M. GODEFROY guide professionnel de la restauration ed. Lanore)

ÉQUIPEMENTS FRIGORIFIQUES

POSTE		Surveillance (Périodicité)		Interventions (Périodicité)		Exécutant		COMMENTAIRES (L'astérisque dans la colonne « spécialiste » signifie qu'un contrat d'entretien par une personne agréée est obligatoire)
appareil	élément ou partie	jours	mois	jours	mois	le gestionnaire	le spécialiste	
Réfrigérateurs - Armoires Frigorifiques	Evaporateur Groupe	8 (1)			6	X	X	(1) Vérifier le dégivrage complet lors des jours d'introduction massive. Vérifier la propreté des ailettes, des égouttoirs. Si ventilé, vérifier le sens de rotation du ventilateur.
	Compresseur		1 (2)		6	X	X	(2) Dépoussiérage.
	Condenseur		1 (3)		6	X	X	(3) Condenseurs — à air : dépoussiérer : — à eau : détartrer (spécialiste).
	Joints de porte		6 (4)			X	X	(4) Nettoyer (eau tiède savonneuse) ; vérifier étanchéité et fonctionnement chauffage anti-buée. Remplacement joints défectueux, cordons chauffants par spécialiste.
	Température	1 (5)			6	X	X	(5) Vérification température (thermomètre à 0,2°C près ou téléthermomètre). (6) Vérification fonctionnement thermomètres et indicateurs. Réglage des appareils de commande (pressostats, thermostats, détendeurs...).
	Ecoulement d'eau de dégivrage ou évaporateur d'eau	1 (7)			6 (7)	X	X	(7) Vérifier écoulement d'eau de dégivrage non bouché et fonctionnement réévaporateur. Par le spécialiste, vérification écoulement, cordon chauffant, réévaporateur et remise en état éventuelle.
Chambres froides Réfrigération (t > 0 °C)	Evaporateur ventilateur	8 (1)			6	X	X	(8) Vérifier le bon fonctionnement du système d'alarme.
	Groupe compresseur		1 (2)		6	X	X	(9) Remplacement éventuel des batteries.
	Condenseur		1 (3)		6	X	X	(10) Nettoyer le dispositif de répartition d'eau (suivant système).
	Joints de porte		6 (4)			X	X	(11) Nettoyage évaporateur, vérification grille de découpe (suivant système). (12) Vérifier l'état de l'appareil ; recharge en sel éventuelle.
	Température	1 (5)			6 (6)	X	X	(13) vérifier l'efficacité.
	Ecoulement d'eau de dégivrage		1 (7)		6 (7)	X	X	
	Alarme V > 10 m2		1 (8)		6 (9)	X	X	OBLIGATOIRE ARRETE du 30/9/1957
Fontaine d'eau réfrigérée				15		X		Passer l'aspirateur devant les ouïes de ventilation de la carrosserie pour dépoussiérer et assurer la bonne ventilation du groupe frigorifique. Si l'appareil est de bonne qualité il n'y a pas à prévoir d'entretien périodique par un spécialiste.
Comptoirs de distribution self service	Présentoirs réfrigérés		8			X		Vérifier le bon écoulement des eaux condensées.
				15		X		Passer l'aspirateur et nettoyer longuement à l'intérieur du meuble pour assurer la bonne ventilation du groupe frigorifique.
Turbines à crème glacée	Groupe compresseur		1 (2)		6	X	X	
	Condenseur		1 (3)		6	X	X	
	Réglage détendeur		1 (14)		6 (15)	X	X	
	Mécanisme turbine		1 (16)		12 (17)	X	X	(14) Vérifier la bonne alimentation en fluide frigorigène (givrage à sortie évaporateur). (15) Régler le détendeur. (16) Vérifier absence de bruit anormal. (17) Remplacer l'huile ou la graisse du mécanisme
	Saumure ou eau glycolée		1 (18)		12 (19)	X	X	(18) Vérifier concentration. (19) Vérifier concentration et neutralité (pH).
Appareils de commande contrôle et sécurité Thermostats Pressostats Détendeurs Appareils de réglage, etc...				12 (20)		X		(20) Vérification des réglages, des contacts, des câblages, thermiques, fusibles, voyants lumineux... (21) Vérifier charge en fluide frigorigène, absence de fuites, de vibrations de conduites et des capillaires de pressostats, détendeurs, etc. Vérifier l'absence de bulles au voyant liquide.
Pour tous matériels frigorifiques	Charges en fluide frigorigène Voyant liquide				12 (21)		X	
Cellule de réfrigération rapide — à froid cryogénique	Cellule		1		6	X	X	Contrôle général de fonctionnement, fermeture, étanchéité... Etat de la sonde de régulation — de fatigue des roulements et des courroies des ventilateurs
— à froid mécanique	Cellule							— d° — froid cryogénique
	Groupe frigorifique							Voir à chambres froides

Document : Entretien (source : M. GODEFROY guide professionnel de la restauration ed. Lanore)

ÉQUIPEMENTS FRIGORIFIQUES

POSTE		Surveillance (Périodicité)		Interventions (Périodicité)		Exécutant		Régle-mentations	COMMENTAIRES (L'astérisque dans la colonne « spécialiste » signifie qu'un contrat d'entretien par une personne agréée est obligatoire)
appareil	élément ou partie	jours	mois	jours	mois	le gestion-naire	le spécia-liste		
Conserva-teurs Congéla-teurs (coffre ou armoire)	Givrage évaporateur		3 (1)		6	X	X		
	Groupe compresseur		1 (2)		6	X	X		
	Condenseur		1 (3)		6	X	X		
	Joints de porte ou de couvercle		6 (4)			X	X		
	Température		1 (5)		6 (6)	X	X		
	Evacuation et (ou) ré-évaporation d'eau		1 (7)		6 (7)	X	X		
Chambres froides basse tem-pérature pour produits congelés ou surgelés (1 18 °C) (décret) 4-9-64	Evaporateur ventilateur	8 (1)			6	X	X		(Voir annotations page précédente).
	Groupe com-presseur		1 (2)		6	X	X		
	Condenseur		1 (3)		6	X	X		
	Joints de porte		6 (4)				X		
	Température	1 (5)			6 (6)	X	X		
	Dégivrage et Ecoulement d'eau		1 (7)		6 (7)	X	X		
	Alarme		1 (8)		6 (9)	X	X	Arrêté 30-9-57	
Fabrique de glaçons	Groupe compresseur		1 (2)		6	X	X		
	Condenseur		1 (3)		6	X	X		
	Ecoulements d'eau	8 (7)			6 (7)	X	X		
	Forme et qualité	8 (10)			6 (11)	X	X		
	Adoucisseur d'eau		1 (12)			X			
Armoires vitrées basse tem-pérature	Givrage évaporateur		3 (1)		6	X	X		
	Groupe compresseur		1 (2)		6	X	X		
	Condenseur		1 (3)		6	X	X		
	Joints de porte ou de couvercle		6 (4)			X	X		
	Température		1 (5)		6 (6)	X	X		
	Evacuation et (ou) récu-pération d'eau de dégivrage		1 (7)	6 (7)		X	X		
	Vitrage antibuée		1 (13)			X			

CHAPITRE 4 : APPAREILS DE CUISSON ET DE MAINTIEN OU DE REMISE EN TEMPERATURE

Fonction d'usage : assurer un processus de cuisson ou de remise en température des aliments dans le cadre d'une cuisine de restauration collective : cuisson de quantité importante en un minimum de temps (rentabilité), tout en respectant les contraintes réglementaires et les mesures d'hygiène strictes liées à la fragilité d'une population de consommateurs captifs.

1. FONCTIONS PRINCIPALES

1.1. ELEVER LA TEMPERATURE DES ALIMENTS

1.1.1. Produire la chaleur de cuisson et de réchauffement des aliments:

- ➔ par l'intermédiaire de **brûleurs**, par **combustion** : transformation de l'énergie chimique du gaz en énergie thermique.
- ➔ grâce à des **résistances électriques** : transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique par **effet Joule**.
- ➔ dans le **foyer à induction**, l'énergie électrique du réseau est utilisée pour produire un champ magnétique qui induit un courant électrique dans le récipient culinaire, et ce courant induit produit alors de la chaleur par effet joule.
- ➔ dans **l'enceinte à micro-ondes**, par transformation d'énergie électrique en énergie rayonnante qui, absorbée par le produit culinaire, se transforme alors en chaleur.

Remarque : la répartition de la chaleur par les surfaces de chauffe doit être la plus homogène possible,

1.1.2. Transmettre la chaleur à l'aliment, suivant son mode de cuisson :

- ➔ par contact direct avec le récipient (**conduction**), contact éventuellement amélioré par la présence d'un corps gras ou aqueux : grillades, poêlage, sautés, braisé.... Suivant l'appareil la chaleur est transmise au récipient par conduction, convection ou rayonnement.
- ➔ par l'intermédiaire d'un fluide (**convection**): huile (friture), eau (court-bouillon...), vapeur d'eau, air (cuisson à chaleur sèche dans un four à convection)
- ➔ par **rayonnement** infrarouge (salamandre, rôtissoire, barbecue, fours ...)
- ➔ par transfert de **l'énergie latente de changement d'état** d'un fluide (liquéfaction gaz - liquide) : cuisson à la vapeur

1.2. EVENTUELLEMENT CONTENIR LES ALIMENTS ET/OU LE FLUIDE DE CUISSON

Les appareils qui ne nécessitent pas de récipients (marmites, sauteuse, friteuses ...) présentent une cuve adaptée à cette fonction.
Les appareils professionnels conçus pour recevoir des ustensiles (paniers, récipients, bacs, plats, grilles, barquettes...etc.) doivent présenter des dimensions intérieures aux normes GN, GASTRONORMES
Norme NF H 00-054 AFNOR dite "**GASTRONORME**" :

GN 2/1 = 650 x 530 mm

GN 1/1 = 530 x 325 mm	GN 1/2 = 325 x 265 mm	GN 1/4 = 162 x 265 mm
GN 2/3 = 325 x 352 mm	GN 1/3 = 325 x 176 mm	GN 1/6 = 162 x 176 mm

2. FONCTIONS SECONDAIRES

2.1. REGLER LA PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

ENERGIE = PUISSANCE × TEMPS $E = P \times t$

Selon l'appareil on agira donc sur la **puissance** ou sur le **temps**

2.2. REGULER LA TEMPERATURE

Une **régulation** fine et précise permet d'ajuster au plus près température désirée et énergie nécessaire. La régulation est pilotée par **thermostat** (éventuellement muni d'une **sonde**). Le principe est toujours le même, la dilatation d'un matériau solide ou liquide, en fonction de la température, provoque, par action sur une membrane déformable ou une butée réglable et préalablement étalonnée, ou par fermeture d'un circuit électrique : soit la coupure du courant électrique, soit la réduction du débit de gaz. La graduation du thermostat doit toujours être en degrés Celsius
Remarque : la présence de dispositifs de régulation est sur certains appareils indispensable pour remplir la fonction d'usage. Ainsi, une friture doit s'opérer à une température fixe, en aucun cas la température de l'huile ne doit dépasser 200 °C
Dans le cas d'une friteuse le thermostat est une solution technique qui remplit une des fonctions principales de l'appareil.

2.3. COMMANDER

Un **sélecteur** ou un **clavier** règle l'allure, la mise marche et l'arrêt. Une automatisation de ces fonctions est possible (par **microprocesseur**, **dispositif électro-mécanique** ... etc.)

2.4. PROGRAMMER LE FONCTIONNEMENT DANS LE TEMPS

un **minuteur** ou un **programmateur** permettent d'adapter étroitement la consommation d'énergie aux besoins :
➔ détermination précise de la durée de cuisson avec interruption de la production de chaleur à son terme,
➔ possibilité d'enchaîner des phases de cuisson sous des allures différentes,
➔ réglage des dispositifs séquentiels.

2.5. INFORMER

Un **système optique**, voyants lumineux de différentes couleurs, affichage digital ou analogique par cadran, curseur, index ... informe l'utilisateur des différentes phases ou paramètres (temps, température, pression) de fonctionnement de l'appareil. Un **système sonore** peut compléter cette information : avertisseur de fin d'opération, larme de danger ou de défaillance technique.

2.6. ASSURER LA SECURITE

Il existe parfois un **limiteur de température** qui est un second thermostat : en cas de défaillance du thermostat de réglage il arrête le fonctionnement de l'appareil dès qu'est atteinte une température limite de sécurité
Des dispositifs et les matériau utilisés doivent permettre d'assurer la sécurité de l'appareil et des utilisateurs, l'hygiène des aliments, la protection de l'environnement.

- les portes sont équilibrées par contrepoids, leurs poignées isolées, la façade équipée d'une barre de protection,
- les robinets sont encastrés et protégés, à l'abri de la chaleur (donc sans risque d'accrochage ou de brûlure),
- la mise sous tension d'un appareil électrique doit être signalée par un voyant lumineux.
- matériaux imputrescibles, non poreux, résistants à l'usure, inertes vis à vis des aliments.
- les appareils doivent être stables et résistants aux chocs,
- les surfaces de travail parfaitement planes, sans saillies et les angles extérieurs arrondis pour éviter coupures et accrochages.

2.7. PERMETTRE L'ENTRETIEN ET UNE UTILISATION ERGONOMIQUE

Matériel professionnel :

- hauteur comprise entre 85 et 95 cm pour favoriser le travail debout et permettre de voir aisément les produits en cuisson.
- piétement de l'appareil en retrait afin de ne pas gêner le positionnement des pieds de l'utilisateur
- profondeur 70 cm au maximum, pour éviter à l'utilisateur de trop tendre les bras ou de se pencher au-dessus de sources de chaleur.
- matériau le plus utilisé : acier poli et inoxydable, car robuste, inattaquable et facile à nettoyer.
- commandes centralisées et accessibles, à l'abri de la chaleur, des chocs, des débordements et projections, démontables et facilement nettoyables
- les surfaces de travail sont parfaitement lisses, sans rugosité ni anfractuosités, les angles intérieurs et les raccordements sont arrondis pour faciliter le nettoyage et éviter les dépôts.
- les accessoires, les éléments de chauffe sont mobiles ou démontables, faciles à laver et à désinfecter,

2.8. LIMITER LES PERTES D'ENERGIE

Les besoins d'énergie pour la cuisson des aliments correspondent en théorie à l'énergie nécessaire pour élever la température de l'aliment et vaporiser une partie de l'eau qui le constitue, soit une perte en masse de l'ordre de 15 à 20 %. Ce qui mène à un besoin théorique d'environ 100 à 150 Wh par kg de produit, soit 30 à 50 Wh par repas. En réalité, en restauration collective, le besoin d'énergie pour les cuissons est de 10 à 30 fois supérieur, environ 0,3 à 1,5 kWh par repas.

En effet, les pertes et gaspillages d'énergie dépendent de nombreux facteurs :

- les masses métalliques des appareils et ustensiles de cuisson doivent être réchauffées,
- les rendements de ces appareils sont de 20 à 30 % ,
- appareils maintenus en température en continu, alors que leur utilisation est occasionnelle,
- certains appareils très puissants utilisés souvent à faible coefficient de remplissage ont la même consommation qu'à pleine charge (les fours par exemple).

Dispositifs permettant d'économiser l'énergie

- plus grande légèreté, **inertie** moindre, utilisation des vitrocéramiques, de l'acier inoxydable, plutôt que la fonte ou les briques réfractaires.
- meilleure **isolation thermique**, renforcée et soignée.
  - laine de verre, laine de roche, amiante
  - elle permet d'économiser de l'énergie,
  - elle évite les risques de brûlures (portes, panneaux, façade) et d'incendie,
  - elle améliore le confort de la cuisine en limitant les déperditions de chaleur.

3. CARACTERISTIQUES GENERALES

3.1. CRITERES DE CHOIX DES APPAREILS DE CUISSON

- nombre de repas dont la cuisson est assurée,
- rendement de l'appareil,
- qualité de l'isolation thermique,
- puissance et consommation de l'appareil,
- rapidité et qualité des cuissons obtenues, souplesse et régularité du fonctionnement,
- précision des thermostats, finesse de la régulation, possibilités de programmation,
- confort d'utilisation, facilité de manipulation, qualité des conditions de travail,
- facilité de l'entretien et du nettoyage, respect de l'hygiène et de la qualité sanitaire,
- capacité d'assurer la qualité organoleptique et de limiter les pertes nutritionnelles des denrées
- sécurité de l'utilisateur (dispositifs, étanchéité, isolation...),
- robustesse, solidité, fiabilité du matériel,
- esthétique,
- montant de l'investissement.

3.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

⇨ **puissance absorbée** (**Pa**) en Watts (W) ou puissance nominale.

⇨ **puissance restituée** aux aliments (ou puissance utile **Pu**) en W.

⇨ **rendement** = $\dfrac{\textbf{puissance restituée}}{\textbf{puissance absorbée}}$ (souvent exprimé en %), $\boxed{r = \dfrac{Pu}{Pa}}$

⇨ **énergie consommée** = puissance absorbée × durée d'utilisation

$$E = Pa \times t$$

Pa en Watts(W), **t** en heures (h), **E** en Wattheures (Wh)

⇨ **allure de chauffe** : réglage de la puissance utilisée en fraction (1/4, 1/2, 3/4, 1/1) ou en pourcentage de la puissance totale disponible

⇨ **surface de chauffe**, ou **capacité**, en général en litre (l),

3.3. ENTRETIEN ET MAINTENANCE DE PREMIER NIVEAU DES APPAREILS PROFESSIONNELS

L'entretien du matériel permet de prolonger sa durée de vie, mais aussi de prévenir les risques d'accident et d'assurer une bonne hygiène.

3.3.1. Vérifications périodiques

- étanchéité des robinets (marmites...)
- niveaux d'eau (bain-marie...)
- fonctionnement des systèmes de verrouillage (micro-ondes, cuiseurs vapeur...) et de sécurité
- organes électriques, thermostats et limiteurs de température
- nettoyage régulier des filtres (micro-ondes, fours à convection forcée) des surfaces culinaires et des brûleurs
- changement des plaques de cuisson en cas de déformation.

3.3.2. Appareils à gaz

- vérifier le dégagement des entrées d'air, le fonctionnement des hottes d'extraction et le réglage de l'admission d'air.
- vérifier la propreté et le positionnement des électrodes de contrôle et d'allumage, la longueur de flamme des veilleuses des thermocouples.
- faire ramoner (1 à 2 fois par an) les conduits d'évacuation des gaz brûlés.
- faire supprimer les canalisations inutiles.
- fermer les vannes d'arrêt après utilisation.
- remplacer régulièrement les tuyaux et joints en caoutchouc ou en matière plastique.
- maintenir propres les filtres des brûleurs à air soufflé.

3.3.3. Nettoyage

Chaque appareil doit être nettoyé et désinfecté régulièrement en appliquant et respectant un **protocole de bionettoyage** spécifique qui définit :

Quoi ?	**Appareil.**	Eléments à nettoyer, surfaces sensibles
Qui ?	**Responsable**	Personne affectée à l'opération de nettoyage
Où ?	**Lieu**	Nettoyage sur place, en plonge, en machine à laver
Quand ?	**Séquence**	Moment du nettoyage, en production ou en fin de service
	Fréquence de nettoyage	1 fois par heure, par service, par jour, par semaine ...
Comment ?	**Matériel et outils de nettoyage**	Raclette, seaux, éponges, lavettes, tampons, brosse, pulvérisateur, doseur ...
	Produit utilisé	Détergent - désinfectant, décapant alcalin, détergent - dégraissant
	Méthode	• Prénettoyage : éliminer les souillures et résidus alimentaires • Nettoyage - désinfection : concentration du produit, temps d'action, action mécanique, température • Rinçage • Séchage éventuel
	Règles de sécurité	pour le personnel et l'appareil
	Autocontrôle	Contrôle visuel, boite de Pétri, prélèvement de surface

Remarques :
Ne jamais nettoyer les appareils à grande eau, au jet : on risque de projeter de l'eau sur les organes électriques de commande ou de régulation, et de provoquer des déformations ou des fissures dues aux chocs thermiques dans certains matériaux.

- filtres : trempage dans une eau additionnée d'un produit dégraissant, rinçage et séchage.
- brûleurs : immersion dans un bain lessiviel dégraissant, brossage, débouchage des orifices à l'aide d'un bâtonnet en bois, jamais avec un objet métallique (risque de déformation).
- plaques de cuisson, grill : pour éliminer les résidus alimentaires, il faut les frotter avec un tampon métallique fin et doux quand elles sont encore tièdes, jamais d'eau ou de produit lessiviel (elles pourraient se fendre), jamais de toile émeri ou de tampon métallique épais et abrasif.
- habillage inox : éponge ou lavette humide, produit détergent, jamais de produits abrasifs.

Aucune trace d'incrustation charbonneuse ne doit subsister dans les bacs, filtres, friteuses, grills, ustensiles, etc. Ces traces contiennent toujours des germes microbiens qui peuvent y proliférer.

Les dépôts et projections alimentaires, dus aux débordements ou à des maladresses, doivent être rapidement et soigneusement nettoyés. Il faut éviter tout dessèchement ou carbonisation responsable d'émission de substances toxiques, d'odeurs nuisibles à la qualité des produits, et empêcher tout développement de micro-organismes.
Précautions :

- toujours couper le courant avant toute opération de nettoyage.
- ne pas diffuser d'aérosols sur des surfaces chaudes.
- respecter les modes d'emploi des produits.

4. SOURCES D'ENERGIE

Les deux principales sources d'énergie utilisées sont donc le gaz et l'électricité :

	Gaz (de ville, butane ou propane)	Electricité
Avantages	Grande souplesse d'utilisation, montée et baisse très rapide en température	Températures obtenues régulières et précises.
		Pas d'émanation de gaz brûlés ou toxiques
Inconvénients	Un ventilation performante est nécessaire : elle doit assurer une aération suffisante du local et l'évacuation rigoureuse des gaz brûlés toxiques (la combustion du gaz consomme du dioxygène et risque de produire du monoxyde de carbone CO	Montée lente en température (sauf micro-onde et plaque à induction) et baisse en température difficile, inertie importante
		Matériel plus cher.
	Risque d'explosion	Précautions d'utilisation à prendre sous peine de danger ou de dépenses inconsidérées.
		Plus coûteux en cas de mauvaise utilisation ou d'installation inadaptée

Dans les deux cas :

- frais d'installation faibles,
- frais d'utilisation sensiblement identiques,
- énergie propre,
- présence de dispositifs de régulation et de sécurité,
- existence de dispositifs permettant d'économiser l'énergie

5. PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR EFFET JOULE

5.1. NOTIONS D'ELECTRICITE

5.1.1. Le courant électrique

L'électricité est une forme d'énergie. La matière étant formée d'atomes constitués d'un noyau autour duquel gravitent des **électrons**, dans les conducteurs métalliques, des électrons peuvent se détacher des atomes et se mouvoir librement. Un **flux d'électrons** dans une direction donnée constitue alors un **courant électrique**.

5.1.2. Intensité et tension

Le courant est d'autant plus *intense* que le nombre d'électrons, qui par seconde traverse une section du conducteur, est plus grand. **L'intensité** du courant, notée I, est le débit de charges électriques dans le circuit et se mesure dans le S.I. en Ampères (A).
De même que l'eau ne peut circuler s'il n'existe une différence de niveau, un courant électrique ne peut circuler entre deux points d'un circuit que s'il existe, entre ces deux points, une **tension** ou différence de potentiel (d.d.p.), notée U. La tension s'exprime, dans le S.I., en Volts (V).
Dans le cas d'un courant alternatif, l'intensité et la tension sont variables en grandeur et en signe. Le courant change périodiquement de sens de circulation. I et U sont dits intensité efficace et tension efficace

5.1.3. Puissance électrique

Dans le cas de circuit composé uniquement de récepteurs purement thermiques ou "résistances" (c'est à dire tous les appareils qui n'utilisent l'électricité que pour chauffer) la **puissance** électrique, P en WATTS (W), consommée par un

appareil alimenté en courant alternatif, sous une tension efficace U en VOLTS (V), traversé par un courant alternatif d'intensité efficace I en AMPERES (A) est :

$$P = U \times I$$

Les puissances électriques des appareils alimenté sous une même tension **s'ajoutent**.
Facteur de foisonnement : C'est le pourcentage de la puissance totale des appareils électriques d'une installation qui au maximum sera utilisée au même moment (par exemple 0,35 : 35 % de la puissance cumulée des appareils).

5.1.4. Energie électrique

Un appareil qui reçoit une puissance électrique P en watts (W) durant le temps t en secondes (s) consomme une quantité d'énergie électrique E en Joules (J):

$$E = P \times t$$

Si t est en h, E sera en Wh :

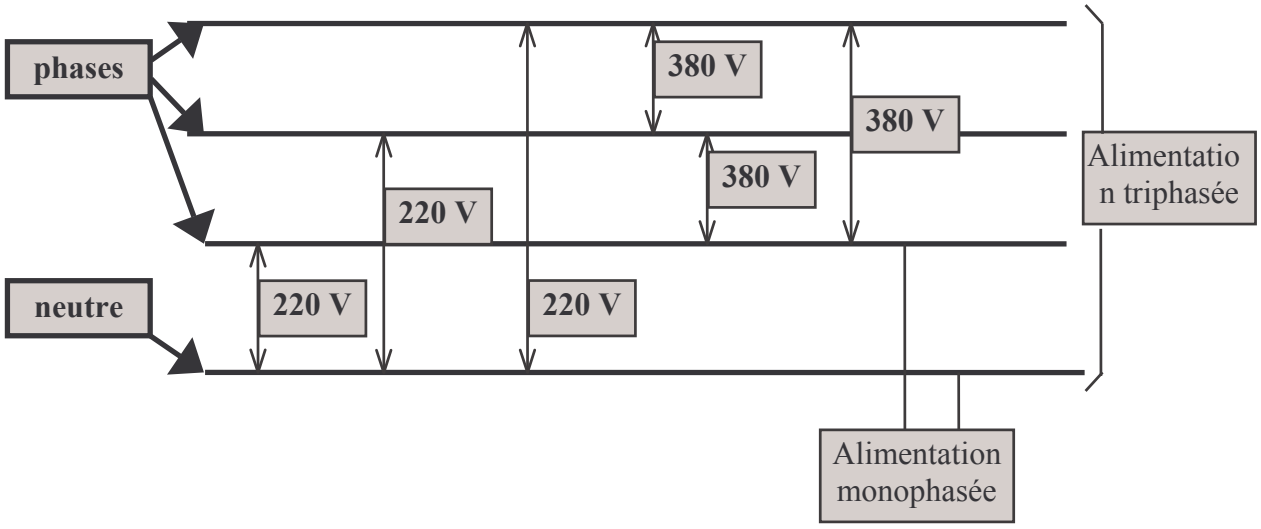
grandeur	puissance P	temps t	énergie E
unités	watt (W)	seconde (s)	joule (J)
unités	watt (W)	heure (h)	wattheure (Wh)

5.1.5. Courant triphasé

La distribution du courant alternatif se fait par l'intermédiaire de 4 conducteurs : 3 fils de phase et 1 fil de neutre.

- Les différences de potentiel entre chaque phase et le neutre sont toutes de 220 volts. Elles sont appelées tensions simples.
- La différence de potentiel entre deux phases quelconques est de 380 volts. Il s'agit alors des tensions composées.

En général, chez un particulier, il n'arrive qu'une phase et le neutre, c'est une installation monophasée.
Quand la puissance totale fournie est importante (cas d'une cuisine de restauration collective) l'alimentation de l'installation est triphasée (3 phases, 1 neutre) en 220/380 V.

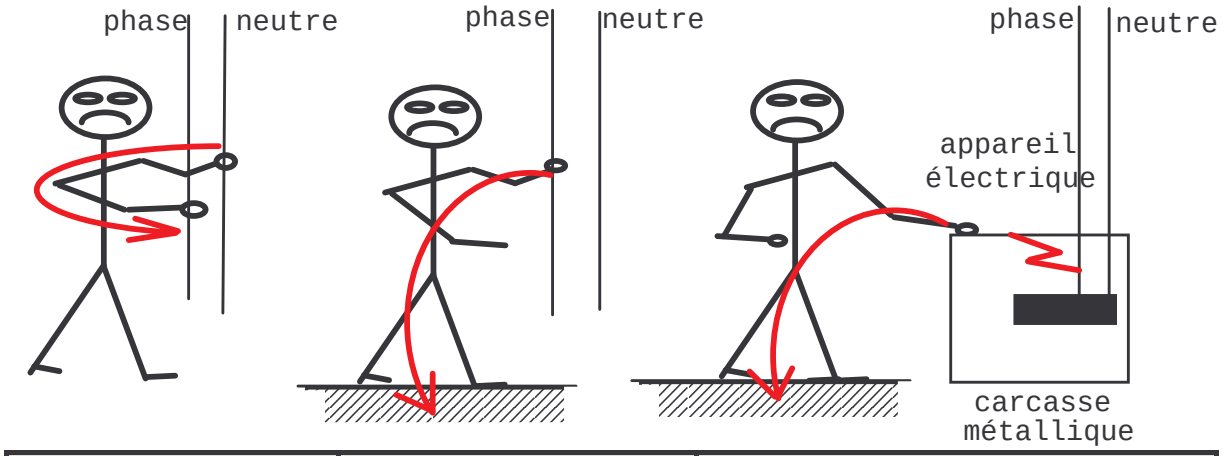


5.1.6. Sécurité

5.1.6.1. Danger électrique

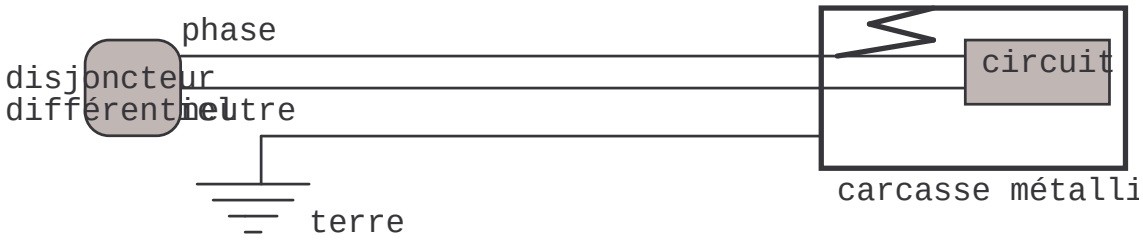
Risque pour les équipements : une surtension ou une surintensité peut endommager l'installation électrique et les appareils, détruire l'isolation des circuits électriques, provoquer la combustion de matériaux, déclencher un incendie.

Risque pour l'utilisateur : L'électrisation du corps humain résulte d'un contact, qui peut être ***unipolaire*** ou ***bipolaire***, avec des conducteurs habituellement sous tension (***contact direct***) ou avec des masses accidentellement sous tension (***contact indirect***).
L'électrocution est une électrisation pouvant entraîner la mort immédiate. Le risque d'électrocution dépend de l'intensité du courant qui traverse le corps mais aussi de la durée de son passage : un temps très court, de l'ordre de la milliseconde est sans danger. **L'intensité maximale admise est de 25 à 30 mA pendant 30 ms.**



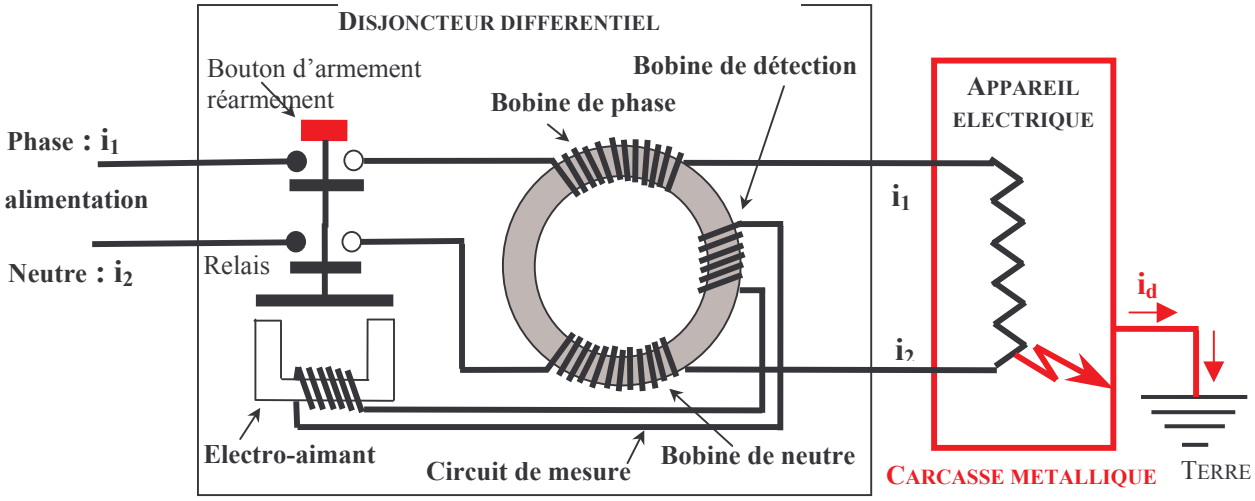
Contact direct bipolaire	Contact direct unipolaire	Contact indirect unipolaire

5.1.6.2. Prise de terre et disjoncteur différentiel



La prise de terre est un piquet métallique, pénétrant dans le sol et relié à la carcasse métallique des appareils par un 3ème conducteur (bicolore jaune - vert).
En plus des rôles du disjoncteur simple, interrupteur général qui coupe l'alimentation électrique et protection de l'installation : il disjoncte en cas de surintensité (trop d'appareils fonctionnant en même temps ou court-circuit entre deux fils), le disjoncteur différentiel coupe automatiquement le courant lorsque la carcasse métallique d'un appareil relié à la terre est mise accidentellement sous tension (suite à un défaut d'isolement) et qu'un courant « de fuite » s'écoule alors à la terre. Le disjoncteur détecte cette fuite, coupe le courant et protège ainsi les personnes des contacts électriques indirects. Ce disjoncteur peut être bipolaire (2 pôles) pour contrôler un circuit monophasé ou tétrapolaire pouvant alors aussi bien contrôler des circuits monophasés que triphasés.

Schéma de fonctionnement d'un disjoncteur différentiel bipolaire



En situation normale $i_d = 0$ et $i_1 = i_2$ S'il y a défaut d'isolement : $i_d \neq 0$, $i_1 \neq i_2$ et $i_1 - i_2 = i_d$
Ce courant de « fuite »à la terre i_d correspond à un défaut de courant entre i_1 et i_2. Les 2 inductions magnétiques générées par les deux bobines du disjoncteur, qui sont alimentées respectivement par i_1 et i_2, ne se neutralisent plus. L'induction magnétique résultante induit un courant dans le circuit de mesure dont le relais provoque l'ouverture du circuit d'alimentation et la coupure du courant d'alimentation.

5.1.6.3. Disjoncteur différentiel haute sensibilité

Les disjoncteurs différentiels généraux de sensibilité habituelle (300 mA, 500 mA, 600 mA, 650 mA), avec un temps de coupure de l'ordre de 20 ms à 30 ms, ne protègent que des contacts ***indirects*** et non des contacts ***directs*** avec des parties normalement sous tension. Pour cela, il faut se munir de disjoncteurs différentiels ***haute sensibilité*** : au plus 30 mA avec un temps de coupure de 0,2 s.
Un tel appareil ne peut protéger que de petites installations, pour des installations plus importantes il faut en installer plusieurs, à raison d'un par circuit ou groupe de circuits. Leur emploi est recommandé pour les salles de bains, les éclairages extérieurs, les piscines, les sanitaires des immeubles collectifs, les hôtels et restaurants.

L'emploi de disjoncteurs différentiels de très haute sensibilité (6 à 12 mA), est recommandé dans les cas où le risque d'électrocution est plus grand : salles d'eau, salles accueillant des enfants en bas âge, des handicapés... etc. Un de ces dispositifs doit alors être installé sur chaque appareil ou prise de courant.

Remarque importante : Un disjoncteur différentiel ne protège que des contacts ***unipolaires*** avec le courant électrique. Il ne protège aucunement des contacts bipolaires (ex: les doigts d'un sujet isolé de la terre, dans les deux alvéoles d'une prise de courant ou sujet touchant en même temps les deux fils, neutre et phase). En effet, dans ce cas il n'y a pas de courant de fuite à la terre et le disjoncteur différentiel ne détecte pas l'incident.

5.1.6.4.Indice de Protection électrique

***L'indice de protection** électrique **IP** d'un appareil* est constitué par 3 chiffres indiquant dans l'ordre :

La protection contre l'introduction		La protection contre les liquides		La protection contre les chocs	
0	Non protégé	**0**	Non protégé	**0**	Non protégé
1	Protégé contre objet de diamètre supérieur à 50 mm	**1**	Protégé contre les chutes d'eau verticales	**de 1 à 9**	Protection croissante contre les chocs de plus en plus importants
2	Protégé contre objet de diamètre supérieur à 12 mm	**2**	Protégé contre les chutes d'eau à 15°		
3	Protégé contre objet de diamètre supérieur à 2,5 mm	**3**	Protégé contre les chutes d'eau à 60°		
4	Protégé contre objet de diamètre supérieur à 1 mm	**4**	Protégé contre les projections d'eau		
		5	Protégé contre les jets d'eau		
5	Protégé contre les poussières	**6**	Protégé contre les paquets d'eau		
6	Hermétique	**7**	Protégé contre l'immersion		
		8	Protégé contre la submersion		

Plus un chiffre est élevé, plus la protection est importante.
Les appareils électriques de grande cuisine présentent en général un indice de protection électrique IP259.
Si un chiffre n'est pas indiqué il est remplacé par X (exemple : IP X4X).

5.2. TRANSFORMATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE EN CHALEUR

5.2.1. Effet Joule et loi de Joule

Un conducteur, de résistance R en ohms (Ω), parcouru par un courant électrique d'intensité I en ampères (A), pendant le temps t en secondes (s).s'échauffe. Une certaine quantité d'énergie électrique est transformée en chaleur Q en joules (J) :

$$Q = R \times I^2 \times t$$

La part de la puissance électrique dépensée par effet Joule est alors:

$$Pth = R \times I^2$$

5.2.2. Loi d'Ohm

Un résistor, appelé improprement dans le langage courant "**résistance**" (la résistance est une grandeur physique caractéristique du résistor et non l'objet physique lui-même) est un récepteur électrique purement thermique qui transforme en chaleur toute l'énergie électrique qu'il reçoit (c'est le cas des "résistances chauffantes" des appareils de cuisson ou de chauffage) : énergie électrique ➔ chaleur E ➔ Q et E = Q
Toute la puissance électrique est transformée par effet Joule en puissance thermique : P ➔ Pth et P= Pth

or $P_{th} = R I^2$ (loi de Joule) et $P = U I$ donc $U I = R I^2$ d'où la loi d'Ohm relative aux récepteurs purement thermique ("résistances")

$$U = R \times I$$

et donc dans une résistance chauffante on a :

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow P = P_{th} = \frac{U^2}{R}$$

5.2.3. Résistance d'un conducteur

La résistance en ohms (Ω) d'un conducteur de longueur l en m, de section S en m² et de résistivité ρ (caractéristique du matériau) en ohms-mètres (Ω.m) est :

$$R = \frac{\rho\, l}{S}$$

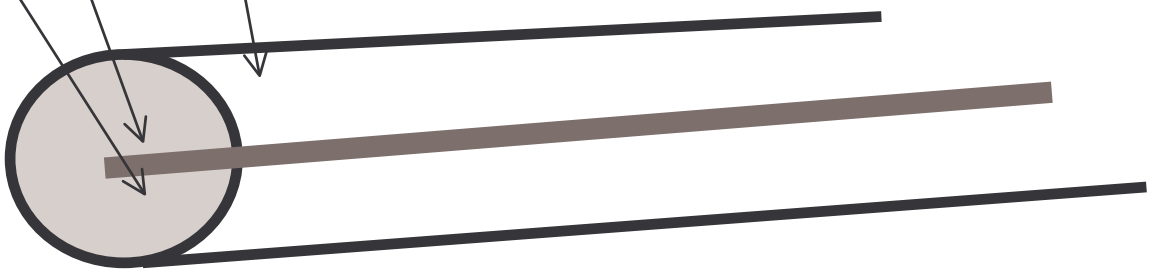
Pour augmenter la puissance thermique fournie par une résistance chauffante sous une tension donnée, il ne faut donc pas l'allonger mais la raccourcir : sous U constante si l ↘ R ↘ et P ↗

En fait la résistivité d'un matériau n'est pas constante mais varie plus ou moins avec la température, selon le matériau.
La résistance d'un conducteur dépend donc de la température à laquelle il est utilisé : si θ ↗ ρ ↗ et donc R ↗
La puissance thermique fournie par une résistance n'est valable que pour la température normale d'utilisation.

5.3. RESISTANCES BLINDEES

Les résistances chauffantes qui communiquent la chaleur produite par effet Joule à l'air d'une enceinte (four à convection, certains appareils de chauffage) ou à un liquide (thermoplongeurs, bain-marie, friteuses, chauffe-eau...) doivent comporter, pour des raisons de sécurité évidentes, une isolation entre leur conducteur électrique et le milieu dans lequel elles baignent. On utilise donc des résistances dites "blindées".
Une résistance blindée est constituée de :

- **un fil de Nichrome** (alliage composé habituellement de 20 % de chrome et 80 % de nickel, et pour un fonctionnement à basse température de 15 % de chrome et 60 % de nickel),
- **un isolant** (de l'oxyde de magnésium MgO, excellent isolant électrique mais bon conducteur de la chaleur) dans lequel est noyé le conducteur,
- **une gaine métallique** tubulaire (en acier doux, en inox, en cuivre, en aluminium...) protégée de la corrosion, de diamètre extérieur en général compris entre 4 et 16 mm.



Caractéristiques d'une résistance blindée :

- ➔ **puissance** : elle est déterminée par rapport à la surface extérieure du tube (en contact avec le milieu chauffé) en Watts par cm² (W/cm²).
- ➔ **température d'utilisation :** elles sont conçues pour assurer des écarts de températures bien précis (la valeur de la résistance dépendant de la température).

5.4. ORGANES DE REGULATIONS DES APPAREILS ELECTRIQUES

5.4.1. Régulation thermostatique

Un thermostat à dilatation de liquide ou à tige permet de maintenir une température choisie qui est affichée grâce à la vis de réglage du thermostat (graduation en °C ou en unité conventionnelle de 1 à 10). Le bulbe (ou l'extrémité de la tige) est placé dans l'enceinte chauffée ou dans le palpeur d'un foyer obscur et en capte la température.

Ce réglage thermostatique peut éventuellement être complété par une sonde électronique. Une longue aiguille, dont l'extrémité est constituée de la soudure chaude d'un thermocouple électrique ou d'un thermorésistance, est plantée dans

l'aliment et permet d'en détecter la température à coeur. Quand la température de fin de cuisson est atteinte une intervention sur le thermostat commande l'arrêt ou bien un signal sonore est déclenché.

5.4.2. Réglage de l'énergie thermique produite par effet Joule (allures)

ENERGIE = PUISSANCE × TEMPS $E = P \times t$

5.4.2.1. Action sur la puissance

$$P = R I^2 = \frac{U^2}{R}$$

U étant fixé, pour modifier P, il faut agir sur R.

Si l'appareil est muni d'un groupement de résistances, en les couplant différemment au moyen d'un commutateur, on modifie la résistance globale et obtient ainsi plusieurs allures ou puissance de chauffe.

5.4.2.2. Action sur le temps

Un dispositif automatique de commande séquentielle : **séquenceur** ou **doseur d'énergie,** met régulièrement l'appareil sous tension puis hors tension selon des périodes que l'on peut régler.

5.4.3. Programmation

Minuterie : elle ne permet de programmer que la durée de la cuisson.
Programmateur (appelé aussi chronorupteur, chrono régulateur ou timer) : il permet par un double affichage :

- ➔ la mise en service du four à une heure préfixée
- ➔ l'interruption du chauffage dès que le temps de cuisson est écoulé.

Pour les plus simples, l'organe principal en est une horloge électrique entraînée par un petit moteur synchrone. Cette horloge commande des commutateurs à cames dont les roues munies de saillies ou d'encoches assurent suivant l'horaire choisi la fermeture ou l'ouverture des circuits électriques.
Il existe aussi des programmateurs commandés par **microprocesseur**.

5.5. DISPOSITIFS DE SECURITE

- les circuits électriques doivent être isolés, protégés par disjoncteur différentiel et les appareils mis à la terre.
- les résistances électriques de chauffage sont des résistances "BLINDEES", parfaitement étanches et isolées.
- la sécurité contre les surchauffes est assuré par un limiteur de température : c'est un thermostat non réglable qui met partiellement hors-tension les résistances quand la température limite de sécurité est atteinte.

6. PRODUCTION DE CHALEUR PAR COMBUSTION

6.1. COMBUSTIONS

Les gaz **combustibles** utilisés sont des hydrocarbures. Pour les faire brûler, il faut leur fournir un **comburant** (le dioxygène de l'air) et allumer la flamme à l'aide d'un point chaud (l'allumette, par exemple). Il y alors production de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau, libération d'énergie sous forme thermique et rayonnante :

$$\textbf{combustible} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \textbf{chaleur} + \textbf{rayonnement}$$

Un liquide ne brûle pas lui-même, c'est sa vapeur qui brûle. Le mélange du gaz combustible et du comburant est soit inflammable soit tonnant et explosif en fonction des proportions.
Ce mélange gazeux s'enflamme si on lui fournit localement une énergie suffisante (allumette, étincelle, chaleur...) et si sa composition est comprise entre deux limites définissant le **domaine d'inflammabilité**. Ce domaine dépend de la pression. Il s'étend si la pression augmente et régresse si la pression diminue. A très faible pression, le mélange n'est plus inflammable quel que soit sa composition.

Domaine d'inflammabilité en pourcentage de combustible gazeux dans l'air sous pression atmosphérique normale :

combustible	limite inférieure	limite supérieure
essence	1,5 %	7,6 %
butane	1,9 %	8,5 %
propane	2,2 %	10 %
éthanol	4,3 %	19 %
méthane	5,3 %	19 %

Si lors de la combustion du mélange gazeux, la flamme se propage avec une vitesse suffisante, ce mélange peut exploser. On définit alors un domaine de détonabilité. Ce domaine est plus réduit que le domaine d'inflammabilité mais

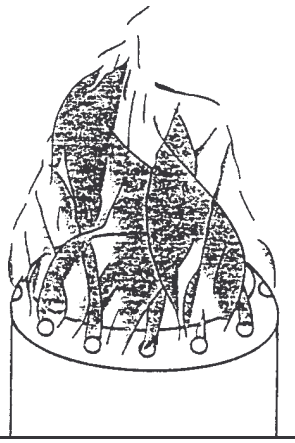
plus difficile à définir précisément. On considère généralement qu'un mélange gazeux est susceptible de détonner dès que sa composition se situe dans le domaine d'inflammabilité.
Le **point éclair** est la température la plus basse à laquelle un liquide émet suffisamment de vapeurs pour former avec l'air un mélange explosif au contact d'une flamme.

6.2. CONDITIONS D'UNE BONNE COMBUSTION

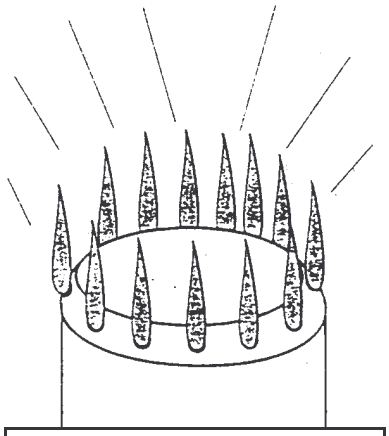
Il faut obtenir le maximum de chaleur avec le minimum de déchets. Pour cela :

- ➔ la **combustion** doit être **complète**. Il faut alors une quantité suffisante de dioxygène, donc d'air. Le renouvellement continu de l'air autour de la flamme nécessite un bon tirage.
- ➔ le **mélange** entre le combustible et le comburant doit être le plus **étroit** possible : l'air est préalablement mélangé au gaz (avant combustion).

Le volume d'air théoriquement nécessaire pour faire brûler complètement 1 m^3 de combustible est appelé **pouvoir comburivore**; sa connaissance permet de déterminer les débits nécessaires de renouvellement de l'air.



flamme instable, fuligineuse , qui noircit le fond des récipients, sans cône bleu
il faut ouvrir l'arrivée d'air



cône bleu très net, flamme stable et silencieuse, base de la flamme bien fixée au brûleur
brûleur bien réglé, flamme bien aérée

flamme instable, sifflante, petite et irrégulière
il faut diminuer l'entrée d'air

Dans toutes ces combustions, si la quantité de dioxygène est insuffisante (dérèglement de l'arrivée d'air), la réaction est incomplète et peut produire du carbone qui se dépose (noircissement du fond des récipients).
Si le dioxygène se raréfie et qu'il y a surchauffe (foyer ou brûleur mal ventilé) le dioxyde de carbone (CO_2) peut alors être réduit en **monoxyde de carbone** (CO) qui est un gaz incolore et inodore très toxique : 25 l. de ce gaz dans un local de 20 m^3 entraîne la mort en 30 secondes. L'hémoglobine du sang se combine avec le CO pour donner la carboxy-hémoglobine qui est très stable, incapable de fixer le dioxygène et bloque le fonctionnement des enzymes respiratoires. C'est un des principaux polluant dans les villes (rejeté par les automobiles, les cheminées, les industries...). Même à faible concentration, ce gaz nuit au système nerveux et aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires.

Remarque : la combustion du gaz produit beaucoup de vapeur d'eau. Il est intéressant d'en récupérer la chaleur de condensation (système à condensation). Il faut prévoir de purger les conduits de fumée des condensats qui peuvent s'y former.

6.3. POUVOIR CALORIFIQUE

Le pouvoir calorifique d'un combustible gazeux est la quantité de chaleur produite par la combustion de 1 m^3 de ce combustible (ou 1 kg pour les combustibles gazeux stockés à l'état liquide).
Remarque : Dans les conditions habituelles, l'eau contenue dans le combustible ou provenant de la combustion s'échappe dans les fumées à l'état de vapeur. Le pouvoir calorifique du combustible mesuré dans de telles conditions est appelé **Pouvoir Calorifique Inférieur (P.C.I.).** C'est le pouvoir calorifique généralement utilisé (brûleur atmosphérique).
Si, au contraire cette vapeur d'eau est condensée, cette condensation libère une quantité d'énergie qu'il faut ajouter au P.C.I. on obtient alors le **Pouvoir Calorifique Supérieur (P.C.S.)** du combustible.

6.4. GAZ COMBUSTIBLES

Le gaz naturel est du **méthane (CH_4)** pratiquement pur (gaz de Lacq, par exemple : 97,4 % de méthane, 2,3 % de propane et d'éthane, 0,3 % de diazote). Il est distribué par le réseau de Gaz de France. Suivant son origine, sa composition différera légèrement et son **pouvoir calorifique** variera entre 35 000 et 44 000 kJ/m^3 soit 10 à 12 kWh/m^3 (le pouvoir calorifique inférieur P.C.I. du gaz de Lacq est 37 200 kJ/m^3).

Combustion du méthane dans le dioxygène : $CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$

Le Butane et le Propane ont un **Pouvoir Calorifique** plus élevé : PCI sous température et pression normales :,

butane : 120 000 kJ/m^3 soit 33 kWh/m^3 ou 13,7 kWh/kg
propane : 92 000 kJ/m^3 soit 26 kWh/m^3 ou 13,8 kWh/kg

Combustion du butane dans le dioxygène :

combustion complète : $2\ C_4H_{10} + 13\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 10\ H_2O$

Deux volumes de butane et treize volumes de dioxygène forment un mélange tonnant.
S'il y a défaut de dioxygène (cas d'injecteurs mal réglés) la flamme est jaune avec dégagement de fumées noires, on a alors une combustion incomplète : $2\ C_4H_{10} + 5\ O_2 \rightarrow 8\ C + 10\ H_2O$

Combustion du propane dans le dioxygène :

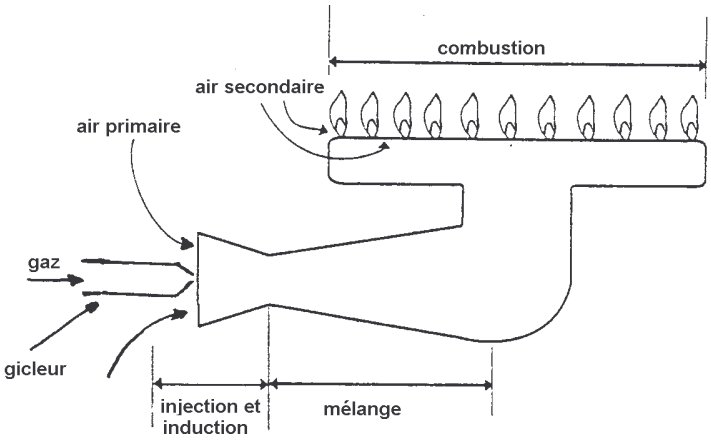
combustion complète : $C_3H_8 + 5\ O_2 \rightarrow 3\ O_2 + 4\ H_2O$
combustion incomplète : $2\ C_3H_8 + 4\ O_2 \rightarrow 6\ C + 8\ H_2O$

		Gaz naturel	Propane commercial	Butane commercial
Propriétés		C'est du méthane (CH_4) pratiquement pur (gaz de Lacq, par ex : 97,4 % de méthane, 2,3 % de propane et d'éthane, 0,3 % de diazote).	Butane (C_4H_{10} pur à 95 %) et propane (C_3H_8 pur à 95 %) sont des produits provenant du raffinage du pétrole brut. Leur odeur caractéristique est due aux impuretés qu'ils contiennent.	
Pouvoir Calorifique	**PCS**	**11,2 kWh.m^{-3}** ou 15,7 kWh.kg^{-1}	**26,7 kWh.m^{-3}** ou 13,6 kWh.kg^{-1}	**34,9 kWh.m^{-3}** ou 13,5 kWh.kg^{-1}
	PCI	**10,2 kWh.m^{-3}** ou 14,3 kWh.kg^{-1}	**24,7 kWh.m^{-3}** ou 12,6 kWh.kg^{-1}	**32,4 kWh.m^{-3}** ou 12,5 kWh.kg^{-1}
Pouvoir comburivore		**10 m^3** d'air pour 1 m^3 de gaz	**25 m^3** d'air pour 1 m^3 de propane	**33 m^3** d'air pour 1 m^3 de butane
Densité		**0,55**	1,5	2
		Plus léger que l'air, il s'accumule en partie haute.	Densité supérieure à celle de l'air. En cas de fuite, ils s'accumulent dans les parties basses des pièces.	
Température d'ébullition sous pression normale		**- 160 °C**	**- 40°C**	**0°C**
			le butane est gazeux au-dessus de 0 °C et le propane au-dessus de - 40 °C. Les bouteilles de butane doivent être installées à l'intérieur d'un local aéré car le butane reste liquide en dessous de 0°C sous pression atmosphérique normale (1 atm.), celles de propane, sous pression plus élevée, peuvent être stockées à l'extérieur car sous pression normale, le propane reste gazeux jusqu'à - 40 °C .	
Commercialisation et particularités		Distribué par le réseau de Gaz de France, suivant son origine, sa composition différera légèrement et son **pouvoir calorifique** variera.	Distribués comprimés et liquéfiés en bouteille de 6 et 13 kg pour le butane, de 5 kg, 13 kg, 35 kg et en vrac (citerne) pour le propane.	
Avantages		pas de stockage, allumage et extinction immédiate, efficacité immédiate, souplesse d'utilisation, peu d'entretien, non toxique, non corrosif.	La combustion de ces gaz est très exothermique, ils sont assez économiques.	
Inconvénients		Danger d'explosion en cas de fuites, nécessité d'une bonne ventilation : aération et évacuation des gaz de combustion.	Il faut prévoir le stockage et le renouvellement des bouteilles. L'achat se fait avant utilisation. La combustion de ces gaz consomme beaucoup d'air : une bonne ventilation est nécessaire. Risque d'explosions	

7. LES BRULEURS A GAZ

7.1. BRULEUR ATMOSPHERIQUE

Ce sont les plus simples: le gaz, injecté par un gicleur (calibré selon la nature et la pression du gaz utilisé pour obtenir la puissance désirée), entraîne par induction une certaine quantité d'air dans le collecteur de mélange (appelé parfois "Venturi"), d'où le mélange inflammable (gaz + air) sort par une fente étroite ou une rangée de trous et est enflammé par un point chaud (étincelle, allumette).
Tout l'air nécessaire à une combustion totale n'est pas fourni par l'air primaire, l'appoint est fourni par l'air ambiant (air théorique = air primaire + air secondaire). Le rendement des brûleurs atmosphériques est de l'ordre de 50%



On les trouve surtout en tant que feux nus ou brûleurs découverts et dans les fours, marmites, cuiseurs vapeur, sauteuse, friteuses, gril, salamandre, rôtissoires, plaques « coup de feu », plaque à snaquer...
La puissance se règle en agissant sur le débit :

Pouvoir calorifique en kWh.m^{-3} × débit en m^3.h^{-1} = Puissance

BRULEURS A FLAMME PILOTE ET A FLAMME AUTOSTABILISEE

Les tables de cuisson comportent des brûleurs de puissances différentes, nécessaires pour les diverses cuissons (mijotage, dorage, friture...). Généralement, les puissances sont fonction du diamètre des brûleurs. Ceux-ci sont de deux types :

— à flamme autostabilisée,

— à flamme pilote (les plus fréquemment rencontrés).

Puissance des brûleurs d'une table de cuisson

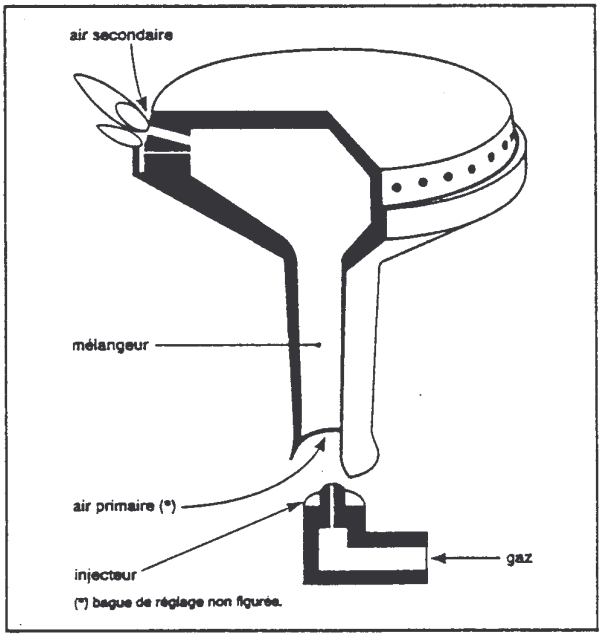
Désignation	Puissance	Diamètre
semi-rapide	1,1 à 2,3 kW	4 à 5 cm
rapide	2,3 à 3,5 kW	5 à 7 cm
ultra-rapide	plus de 3,5 kW	8 cm et plus

Le brûleur à flamme pilote

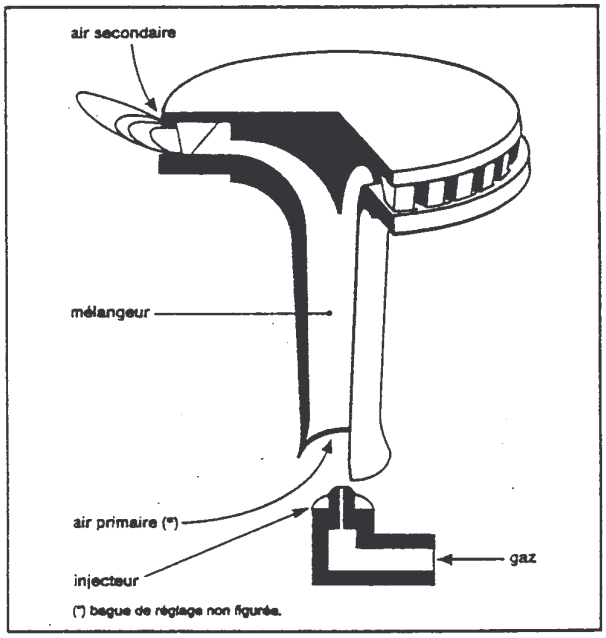
La flamme pilote est alimentée par une fine cannelure et sa présence à la base de la flamme principale sert à stabiliser cette dernière. Ces brûleurs assurent cette stabilité de la flamme à tous les débits, même les plus faibles, et quel que soit le gaz utilisé.

Le brûleur à flamme autostabilisée

La stabilisation de la flamme est obtenue par une configuration spéciale des orifices de sortie du mélange air-gaz : un rebord permet « d'accrocher » la flamme tandis que les fentes trapézoïdales créent une répartition échelonnée des vitesses de sortie du mélange gazeux.



Brûleur à flammes pilotes.

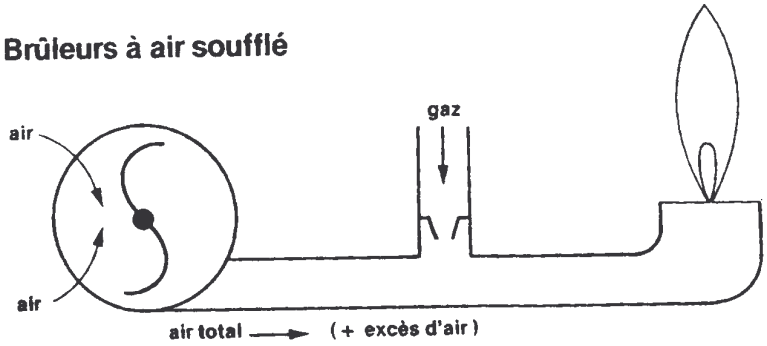


Brûleur à flammes autostabilisées.

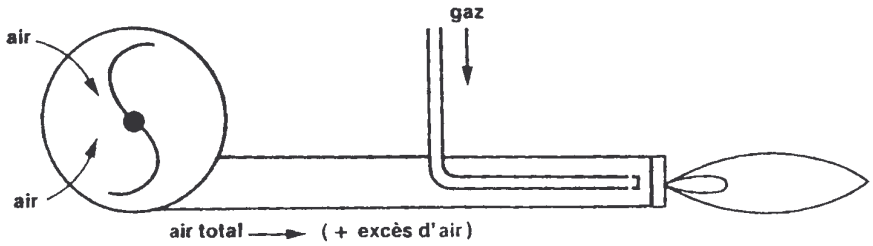
Document G.D.F. : *Le gaz naturel et ses applications,* 1986)

7.2. BRULEUR A AIR SOUFFLE A PREMELANGE

Ces brûleurs à gaz dits à "air total" ou à "air soufflé" sont alimentés en air sous pression par un ventilateur muni d'un filtre qui doit être gardé, en permanence, en état de parfaite propreté pour garantir une bonne combustion. La chambre de combustion est alors mise en pression et il y a donc poussée permanente des gaz de combustion vers le conduit d'évacuation, quel que soit le tirage de celui-ci.
On les utilise lorsque l'on a besoin d'une forte puissance, en particulier dans une enceinte fermée : sur les friteuses, les cuiseurs-vapeur, les plaques « coup de feu », les fours à convection, les chauffe-eau à gaz.



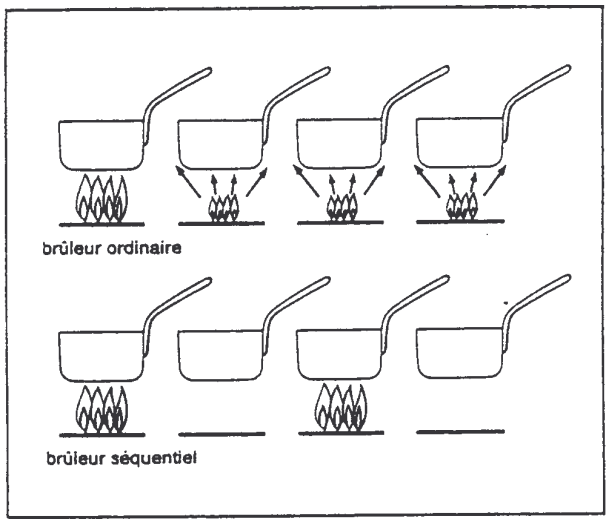
brûleur à air et gaz sous pression (à mélange préalable).

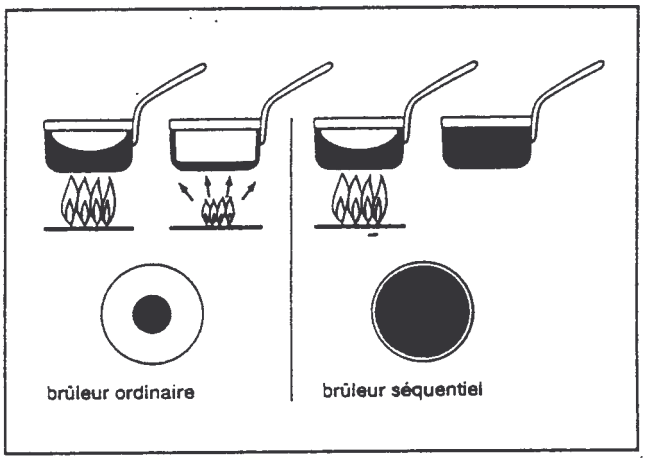


brûleur à air et gaz sous pression (à mélange à la tête).

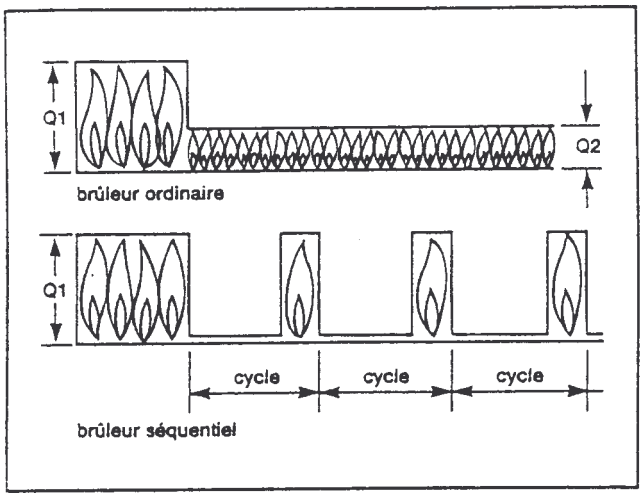
7.3. BRULEUR SEQUENTIEL

C'est un brûleur utilisé dans les appareils de chauffage culinaire et dont le fonctionnement est discontinu.
Avec un brûleur classique, pour doser la quantité de chaleur délivrée on agit sur le débit, et donc sur la hauteur de la flamme et sa distance à la surface chauffée: le rendement du transfert de chaleur ne reste pas constant et peut diminuer de manière importante. Ce réglage est donc peu performant et la zone soumise en permanence à la flamme crée un point d'attache pour les produits.





Un brûleur séquentiel, lui, présente un débit fixe qui correspond au rendement optimal, mais il fonctionne de façon intermittente, avec une succession régulière de phases d'allumage et d'extinction. L'électrode d'allumage (alimentée par un transformateur haute tension) et la vanne électromagnétique d'arrivée du gaz sont commandées par un programmateur (ou une sonde). Une électrode de détection de flamme (sécurité) complète le système. Sur les brûleurs multiséquentiels, on peut régler les durées respectives (t_1 et t_2) des phases d'extinction et d'allumage ainsi que, parfois, la durée totale du cycle (ou sa fréquence), celle-ci étant le plus souvent imposée.



ALLUMAGE EXTINCTION ALLUMAGE EXTINCTION ALLUMAGE EXTINCTION

← t_1 →← t_2 →← t_1 →← t_2 →← t_1 →← t_2 →

← T →

$t_1 + t_2 = T$ durée du cycle ou période f = 1/T fréquence du cycle

<u>exemples :</u> réglage 15/15 : t_1 = 15 s t_2 = 15 s T = 30 secondes

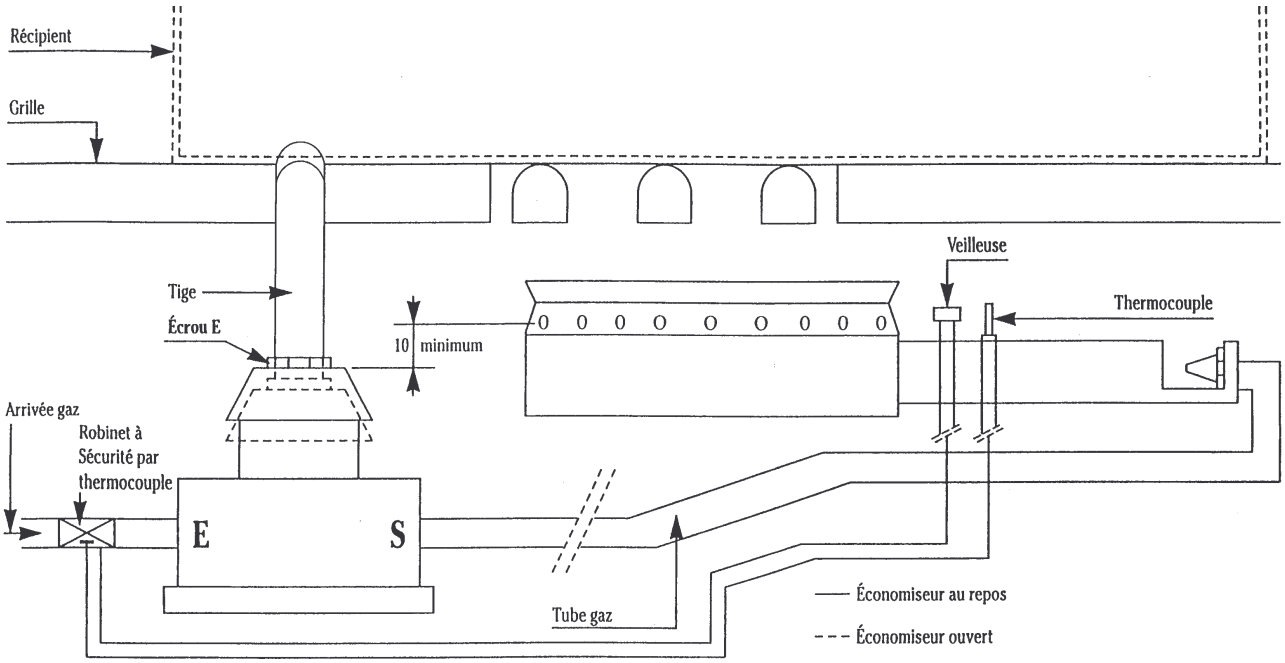
réglage 6/24 : t_1 = 6 s t_2 = 24 s T = 30 secondes

7.4. ALLUMAGE AUTOMATIQUE

Piézo-électrique : certains cristaux ou céramiques ont la propriété d'émettre un courant électrique sous l'effet d'un choc ou d'un ressort. Un bouton poussoir comprime un ressort et libère un percuteur qui frappe une céramique. Le courant électrique produit est conduit à une bougie au niveau du brûleur, il s'y produit une étincelle qui enflamme le gaz. Ce système n'a pas besoin d'alimentation électrique.

Electronique : un générateur de courant haute tension commandé par un bouton poussoir produit une étincelle ou un train d'étincelle à la bougie du brûleur. Ce système doit être alimenté en énergie électrique.

Système Top Flam : c'est la pression exercée par le récipient sur le support qui déclenche l'allumage

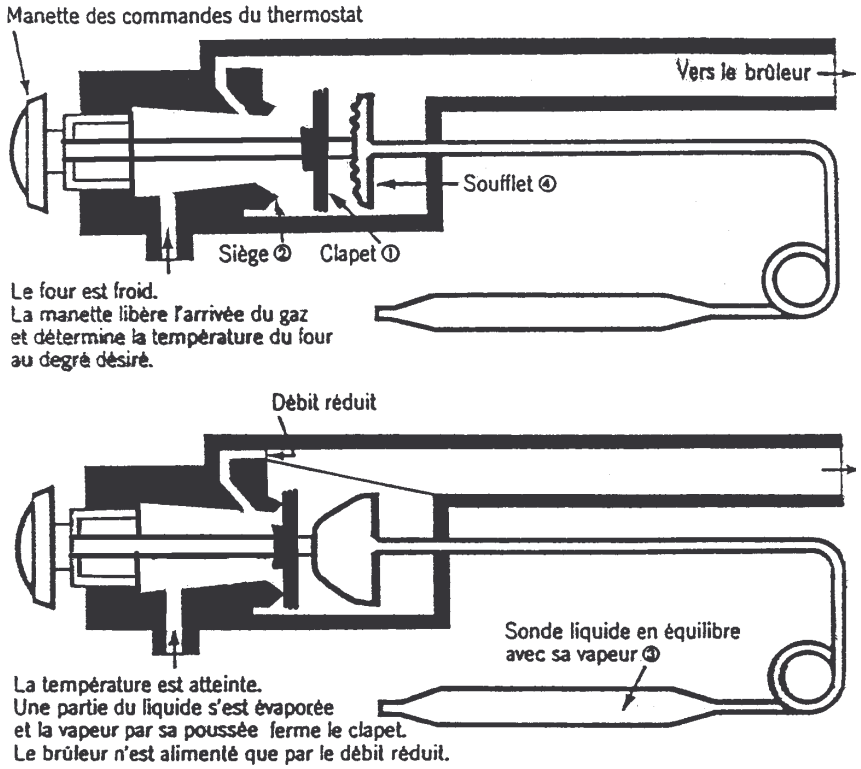


La présence du récipient est détectée mécaniquement par la tige mobile qui commande l'admission de gaz

7.5. REGULATION

7.5.1. Régulation thermostatique

Un thermostat permet de réguler la température. Un bulbe empli de liquide est placé dans l'enceinte chauffée et en capte la température. Quand la température s'élève le liquide se vaporise partiellement, la vapeur formée gonfle un soufflet qui ferme le clapet d'arrivée principale de gaz au brûleur. Le gaz parvient toujours au brûleur par une dérivation mais sous un débit réduit : la flamme baisse donc d'intensité.



7.5.2. Réglage de l'énergie thermique produite (allures)

ENERGIE = PUISSANCE $\times$ TEMPS $\quad$ $E = P \times t$

7.5.2.1. Action sur la puissance

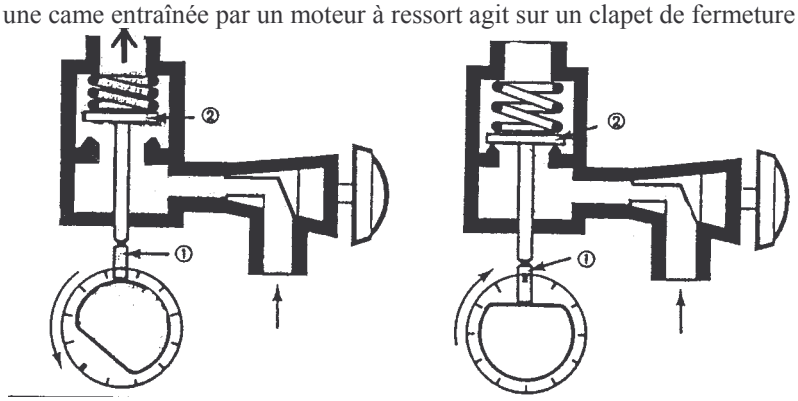
La puissance étant proportionnelle au débit de gaz fourni, on agit sur celui - ci par l'intermédiaire d'une vanne à débit variable. C'est le cas général des brûleurs des appareils domestiques.

7.5.2.2. Action sur le temps

Un système électronique (couplé à un dispositif de sécurité par ionisation de flamme) commande les phases d'allumage et d'extinction des brûleurs séquentiels (appareils professionnels).

7.5.3. Programmation

Par **chronorupteur** : une came entraînée par un moteur à ressort agit sur un clapet de fermeture de l'arrivée de gaz.



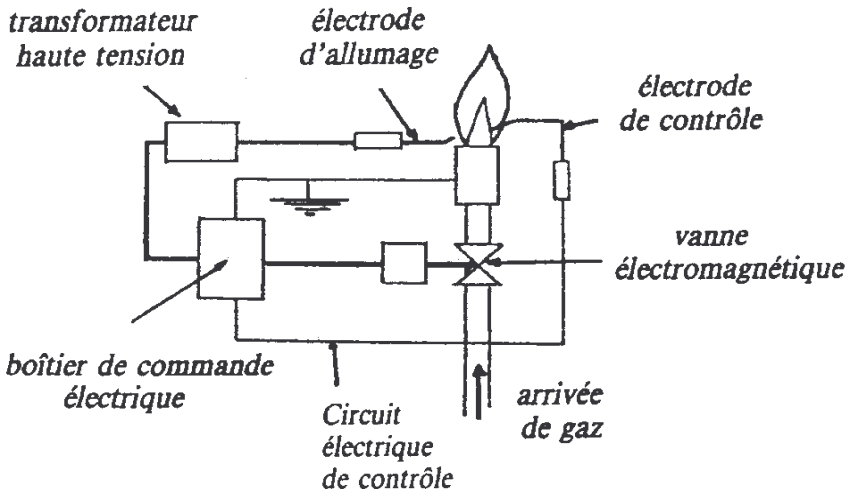
7.6. SECURITE

Les brûleurs à gaz sont munis de dispositifs de sécurité :

➔ soit par **"ionisation de flamme"** : la présence ou non de la flamme est détectée par une électrode de contrôle .

Principe : Dans une flamme, les gaz en combustion sont ionisés et conduisent donc le courant électrique. En cas d'extinction de la flamme, le courant du circuit électrique de contrôle ne peut plus circuler, ce qui provoque la fermeture du robinet automatique d'arrivée de gaz.

Sécurité par ionisation de flamme

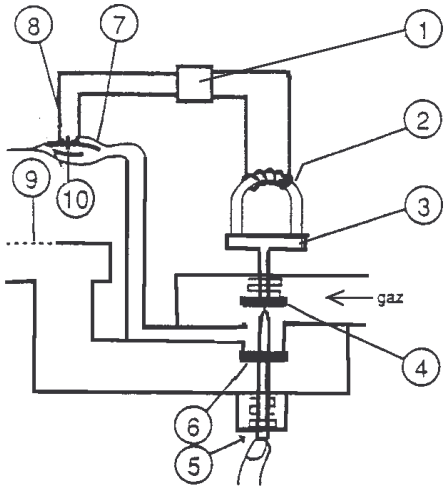


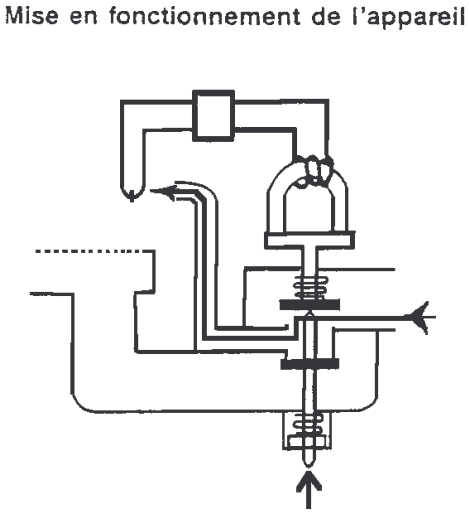
➔ soit par **veilleuse**, deux systèmes existent alors :

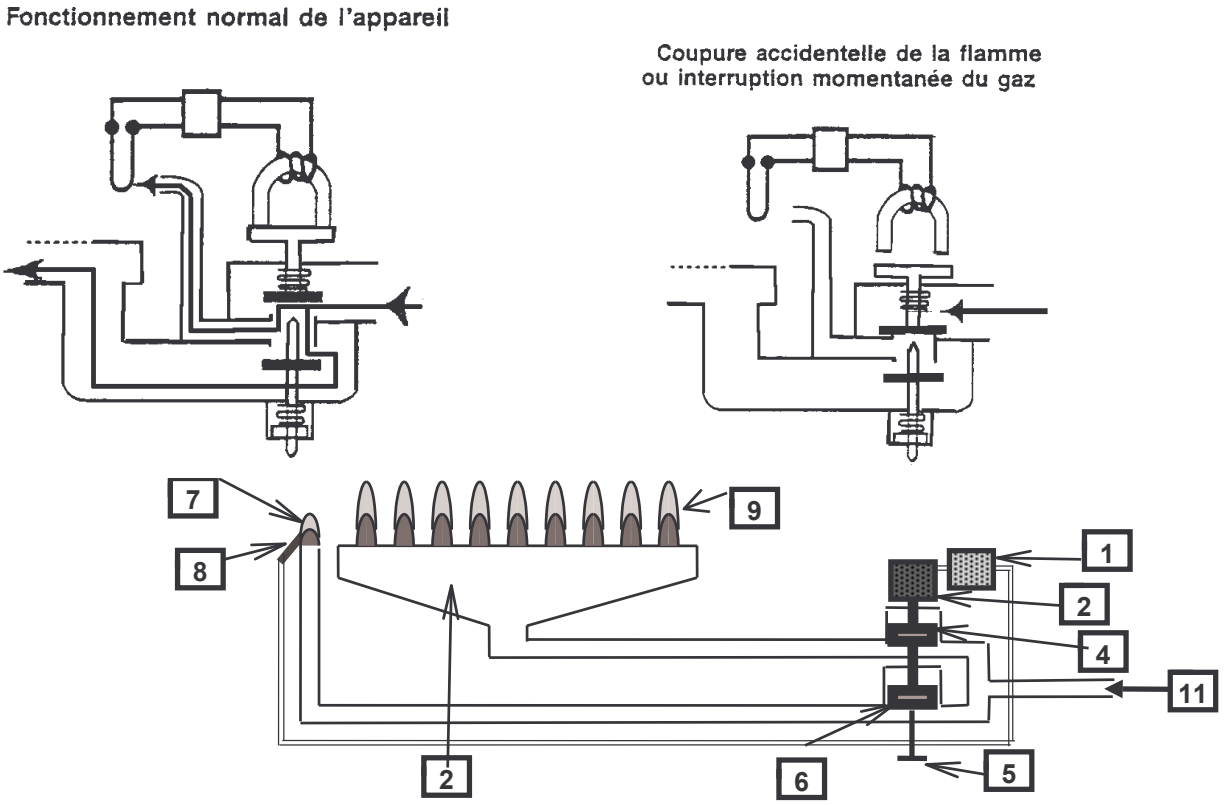
- ⇨ La flamme d'une veilleuse chauffe un système métallique qui, en se dilatant provoque l'ouverture du clapet d'arrivée de gaz au brûleur. Le gaz s'enflamme au contact de la veilleuse. Si la veilleuse s'éteint, le système métallique en se rétractant ferme l'arrivée de gaz en quelques secondes (système peu fiable et peu précis).
- ⇨ La flamme de la veilleuse peut aussi être contrôlée par un « **thermocouple** » ou couple thermoélectrique dont le courant électrique alimente une petite bobine qui commande l'ouverture ou la fermeture du clapet d'arrivée de gaz.

Si la veilleuse est allumée, elle chauffe la soudure chaude du thermocouple qui, sa soudure froide étant à température ambiante, produit alors un courant électrique, lequel commande l'électrovanne d'alimentation en gaz. Le gaz qui parvient au brûleur s'enflamme au contact de la veilleuse. Si la veilleuse est éteinte, le thermocouple ne produit aucun courant électrique , l'électrovanne se ferme instantanément. A l'allumage de la veilleuse, il faut maintenir manuellement ouverte l'arrivée de gaz à :la veilleuse le temps nécessaire au chauffage de l'extrémité du thermocouple (sa soudure chaude).

Sécurité d'un brûleur par veilleuse et thermocouple







N°	LEGENDE	FONCTION
1	convertisseur amplificateur	*augmente la tension électrique produite par le thermocouple chaud de façon à alimenter suffisamment l'électro - aimant*
2	électro-aimant	*s'il est sous tension, attire la plaque de fer doux et ouvre le clapet veilleuse*
3	plaque fer doux	*lie mécaniquement le clapet de la veilleuse à l'électroaimant*
4	clapet de la veilleuse	*obstrue ou libère l'arrivée de gaz à la veilleuse et au brûleur*
5	bouton poussoir de l'allumage	*commande l'ouverture du clapet veilleuse lors de l'allumage de la veilleuse*
6	clapet du brûleur	*obstrue ou libère l'arrivée de gaz*
7	veilleuse	*assure la sécurité du brûleur*
8	thermocouple	*produit du courant s'il est chauffé par la veilleuse*
9	brûleur	*produit de chaleur*
10	Soudure chaude thermocouple	*capte la différence de température due à la flamme*
11	arrivée de gaz	*alimente le brûleur et sa veilleuse en combustible*

Règles de Prévention :

- ➔ Les gaz (naturel, butane, propane) dissolvent certaines substances (graisses, huiles, vernis) et provoquent un gonflement du caoutchouc naturel. Il ne faut donc pas utiliser n'importe quels joints ou tuyaux souples.
- ➔ éviter la formation de mélanges inflammables :
  - ◆ limiter les stocks de produits inflammables,
  - ◆ ventiler les locaux de stockage,
  - ◆ vérifier les récipients.
- ➔ supprimer les causes d'inflammation :
  - ◆ contrôle des températures,
  - ◆ équipements avec prises de terre,
  - ◆ matériel électrique adapté et antidéflagrant (par exemple les interrupteurs),
  - ◆ interdire de fumer (une cigarette allumée présente une température de près de 600 °C).
- ➔ empêcher la propagation :
  - ◆ Les gaz brûlés doivent être drainés et évacués à l'extérieur par le système de ventilation, l'arrivée de gaz est asservie à la ventilation; en cas de panne ou d'arrêt du système d'extraction des gaz brûlés et de renouvellement de l'air du local, l'alimentation en gaz est automatiquement coupée.
  - ◆ répartir les stocks, isoler, cloisonner: fermer couloirs et cages d'escalier par des portes coupe-feu, veiller aux caniveaux, aux gaines d'aération ou de passages de câbles électriques qui pourraient transmettre le feu d'un local à un autre, utiliser des matériaux incombustibles (cloisons, rideaux), ignifuger les matériaux combustibles

8. FOYERS DE CUISSON

8.1. FOYERS OBSCURS OU PLAQUES DE CUISSON

8.1.1. Principe

Des résistances électriques, noyées dans une masse isolante, chauffent une plaque de fonte (bonne conductrice de la chaleur). La chaleur se propage au récipient posé sur la plaque par conduction.

Dimensions et puissances Les plaques en fontes des appareils domestiques présentent 3 diamètres standard : 145 mm, 180 mm et 220 mm. Leur puissance varie de 1 000 W à 2 600 W

8.1.2. Systèmes de régulation

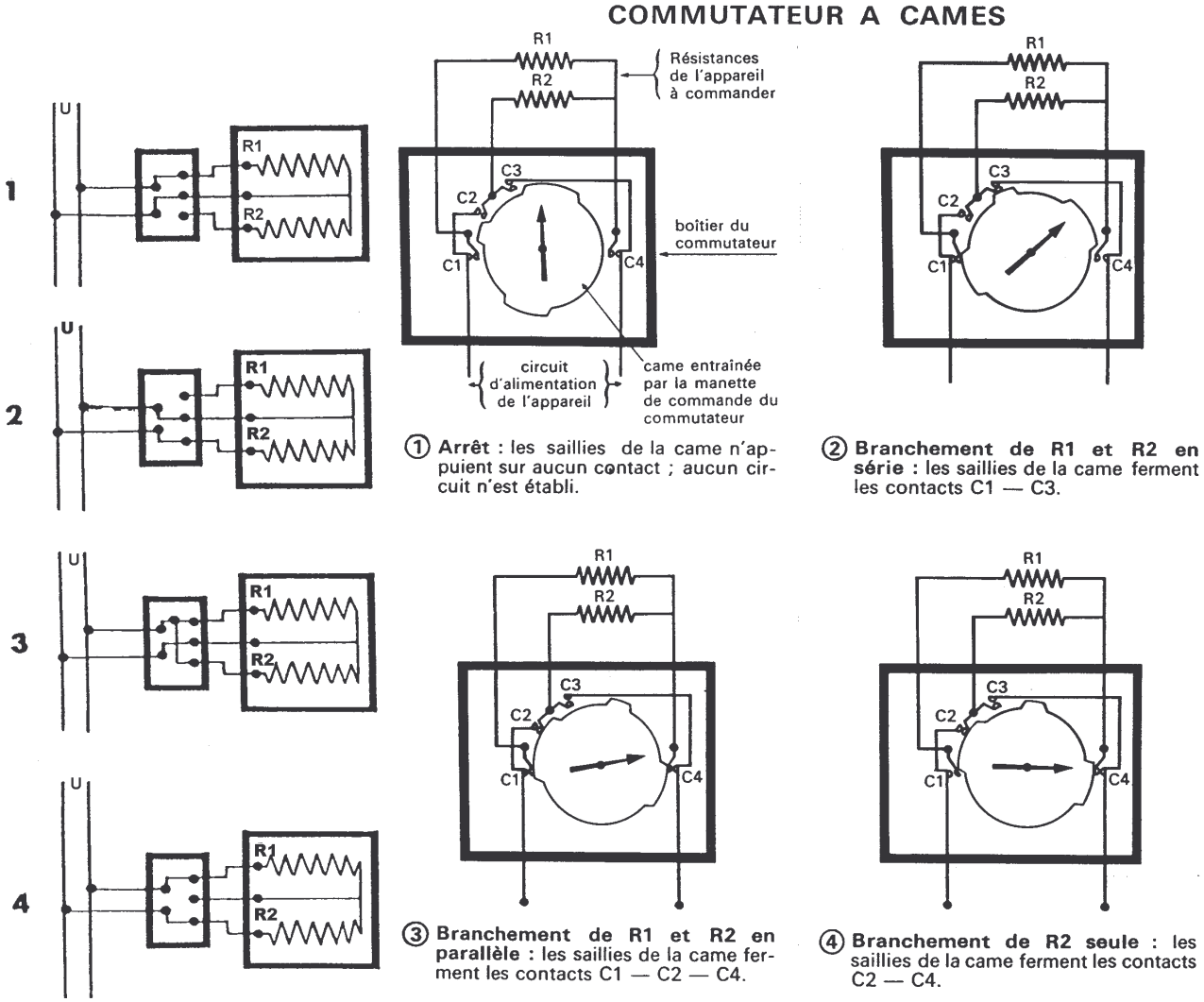
ENERGIE = PUISSANCE × TEMPS $E = P \times t$

L'énergie produite (et consommée) par les résistances électriques d'un foyer de cuisson sont fonction de sa puissance et du temps pendant lequel elles sont mises sous tension. Pour contrôler l'énergie, on peut donc agir soit sur la puissance, soit sur le temps.

8.1.2.1. Réglage de la puissance

En couplant différemment plusieurs résistances au moyen d'un commutateur, on obtient plusieurs puissances différentes et donc plusieurs allures de chauffe.

Exemple : Soit un corps de chauffe à 2 résistances R1 et R2 capables de produire des puissances respectives P_1 = 1 000 W et P_2 = 600 W sous une tension U = 220 V.



Rappel, dans une résistance chauffante on a : $U = RI \Rightarrow I = \frac{U}{R}$ **or** $P = UI$ **donc** $P = \frac{U^2}{R}$

1 ➔ Si seule R_1 est mise sous la tension U, on obtient une puissance P_1 : $P_1 = \frac{U^2}{R_1}$ ici P_1 = **1 000 W**

2 ➔ Si seule R_2 est mise sous la tension U, on obtient une puissance P_2 : $P_2 = \frac{U^2}{R_2}$ ici P_2 = **600 W**

3 ➔ Si les deux résistances sont groupées en parallèle, elles sont toute deux alimentées sous la même tension U :

$$U = R_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{U}{R_1} \quad \text{et} \quad U = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$P' = U(I_1 + I_2) = U\left(\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}\right) = U^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} = P_1 + P_2$$

leurs puissances s'ajoutent, et ici on obtient une puissance P' = 1 000 + 600 = **1 600 W**

4 ➔ Si les deux résistances sont groupées en série, leurs résistances s'ajoutent, elles sont traversées par la même intensité I

$$U = (R_1 + R_2) I \Rightarrow I = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad \text{or} \quad P'' = UI \quad \text{donc} \quad P'' = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$$

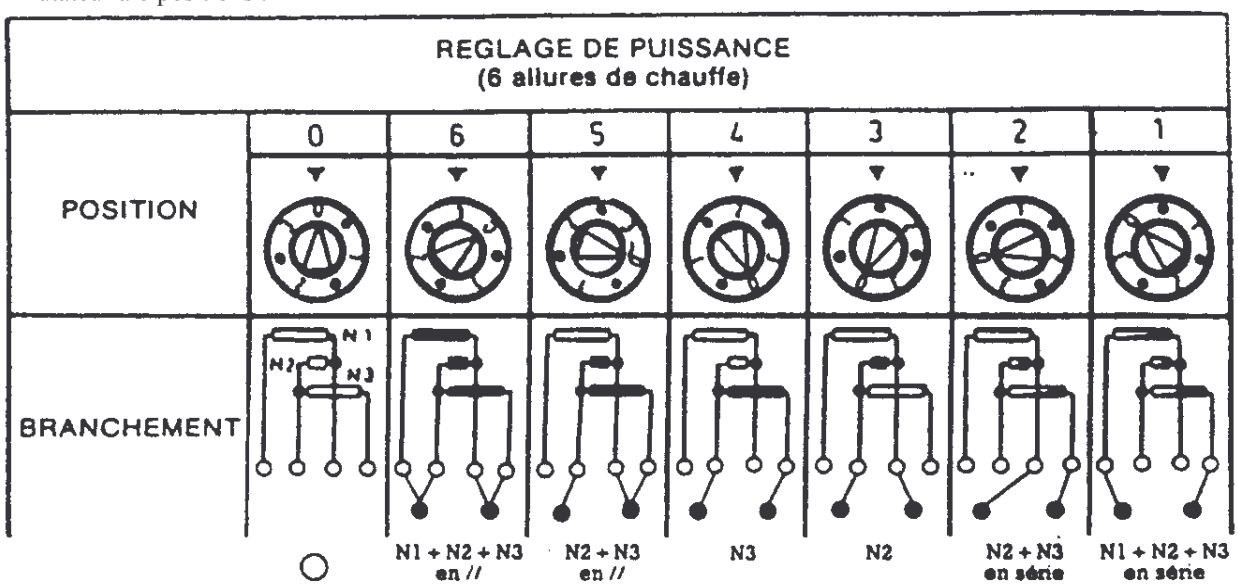
$$P'' = \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{U^2}} = \frac{1}{\frac{R_1}{U^2} + \frac{R_2}{U^2}} = \frac{1}{\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}} = \frac{1}{\frac{P_1 + P_2}{P_1 P_2}} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}$$

ici P" = 1 000 × 600 ÷ (1 000 + 600) = **375 W**

Remarque : mettre des résistances en série revient à les mettre bout à bout et donc à augmenter leur longueur, et à diminuer la puissance résultante.

Dans cet exemple on obtient 4 réglages de la puissance. Mais si le nombre de résistances augmente, on multiple alors le nombre de réglage en jouant sur le branchement de ces résistances.

Les foyers de cuisson sont dotées en général de 3 résistances et présentent **6 allures de réglage** commandées par un commutateur à 6 positions :

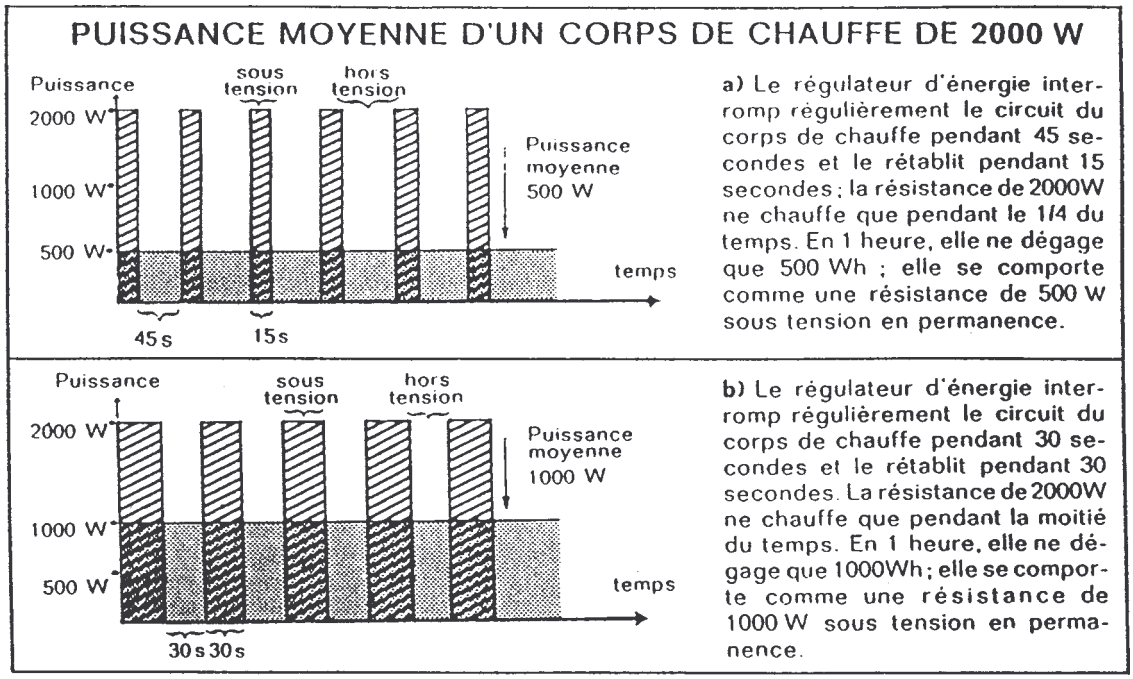


	POSITION DU COMMUTATEUR	*6*	*5*	*4*	*3*	*2*	*1*
Diamètre	Puissance nominale en W	Puissance mesurée en W					
145 mm	1 000	1 000	750	500	250	180	100
145 mm	1 500	1 500	800	540	280	180	150
180 mm	2 000	2 000	1 250	850	300	250	200
220 mm	2 000	2 000	1 400	1 000	470	300	200
220 mm	2 600	2 600	1 800	1 350	500	350	250

Les ***plaques dites "rapides"*** appartiennent à cette catégorie. Elles se reconnaissent à une ***pastille rouge*** en leur centre. Leur masse est réduite et elles produisent une puissance relativement élevée pour porter rapidement à ébullition le contenu des récipients.
Pour éviter toute surchauffe, certaines plaques sont équipées d'un interrupteur thermique : à pleine puissance (toutes les résistances sont couplées en parallèle) cet élément de protection coupe systématiquement l'alimentation électrique d'une ou deux résistances chauffantes, ramenant ainsi la puissance à une valeur inférieure.

8.1.2.2. Régulateur ou doseur d'énergie (action sur le temps)

Un appareil de puissance 2 000 W consomme en une heure 2 000 Wh, s'il est en permanence sous tension. Lorsqu'un dispositif automatique met régulièrement l'appareil sous tension, puis hors tension (un séquenceur fonctionnant en "tout ou rien") la quantité d'énergie dépensée est proportionnelle à la durée des mises sous tension. Il en résulte une puissance moyenne. Par exemple :



Le **régulateur d'énergie** ou **doseur d'énergie** peut être un dispositif très simple : par exemple, dans le schéma cidessous, un bilame chauffé par une petite résistance auxiliaire et un dispositif mécanique réglable qui conditionne la courbure dont le bilame est affecté en fonction de la chaleur dégagée par la résistance auxiliaire. Cela permet d'augmenter ou de diminuer la durée des mises sous et hors tension successives. Il ne faut pas confondre ce dispositif avec un thermostat : il règle en effet l'apport d'énergie sans tenir compte des températures atteintes.

a) Position « arrêt » : la came de la manette de commande maintient l'interrupteur de mise sous tension ouvert, l'appareil est hors tension.

b) Position « marche » : la résistance auxiliaire chauffe la bilame qui commence à se déformer, le circuit régulé est sous tension.

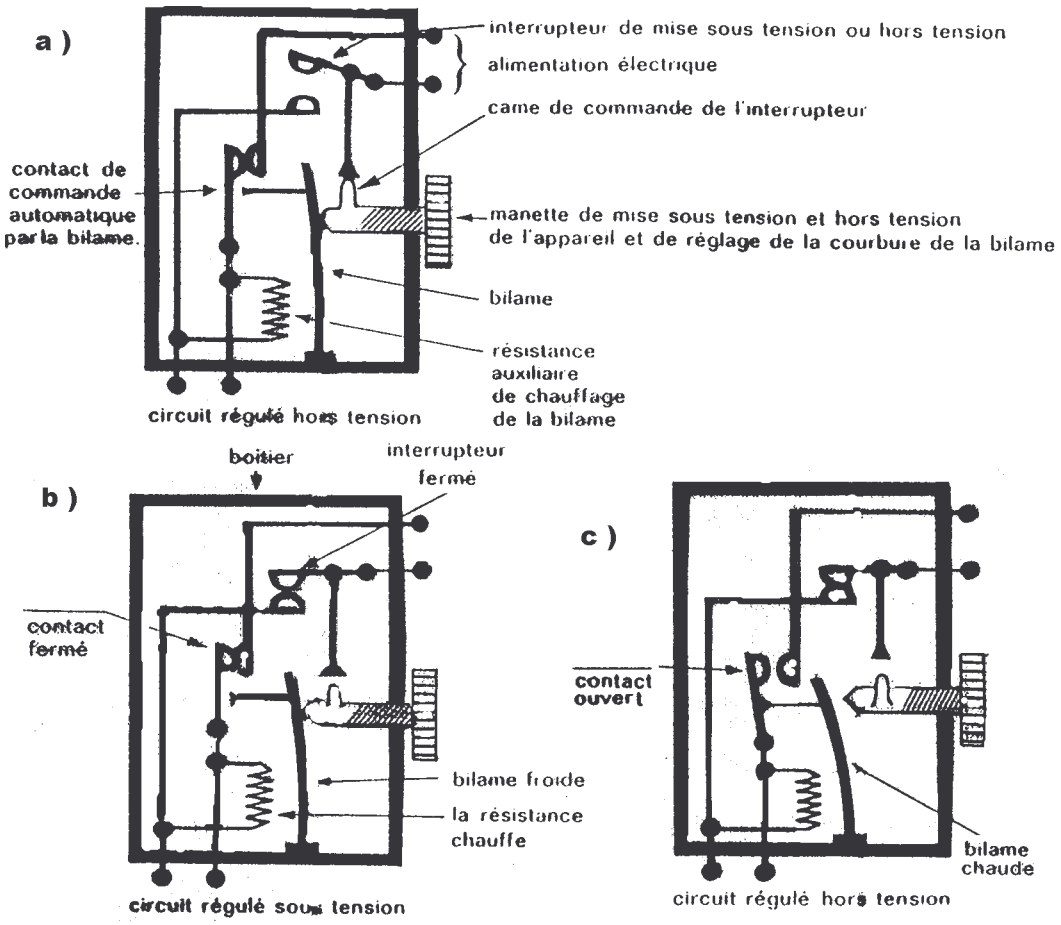
c) Position « marche » : la bilame chaude déformée au maximum a ouvert le contact de commande automatique, le circuit régulé est hors tension, la résistance auxiliaire branchée sur celui-ci ne chauffe plus.

La bilame va se refroidir, reprendre sa position initiale **b)** et le circuit régulé sera de nouveau mis sous tension après un temps qui dépend de la courbure de la bilame imposée par la manette de réglage.

Régulateur d'énergie "Simmerstat" : Il repose sur ce principe de fonctionnement. Son commutateur peut avoir 12 positions. Le réglage continu de 1 à 11 correspond à un pourcentage variant environ de 10 % à 75 % de la puissance maximale de la plaque. Celle-ci est atteinte en position 12, la température de sécurité étant alors limitée à 500 °C. La sécurité contre les surchauffes est assurée par un limiteur de température qui met partiellement hors tension les résistances.

Consommations moyennes horaires en Wh pour les différentes positions du commutateur d'un réglage Simmerstatique

Position du commutateur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
foyer ∅ 180 mm 2 000 W	210	300	400	500	620	740	900	1050	1250	1500	1800	2000
foyer ∅ 145 mm 1 500 W	200	280	360	450	550	650	770	900	1050	1150	1250	1500



8.1.2.3.Réglage de la température

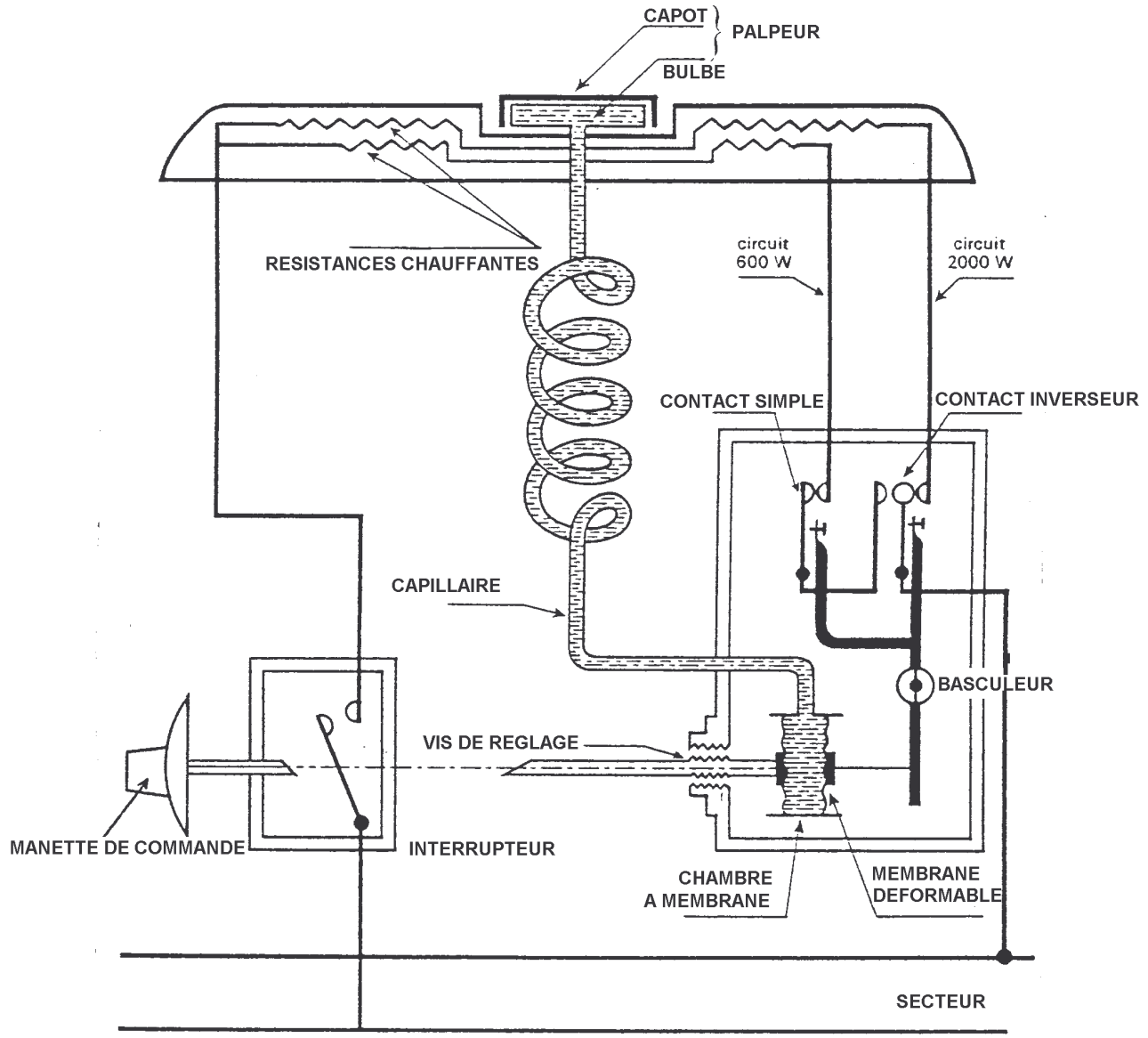
Le principe est celui des thermostats à dilatation des liquides. Dans la partie centrale non chauffée de la plaque se trouve le bulbe du thermostat. Une manette de commande permet à la fois la mise sous tension du foyer et la manœuvre de la vis de réglage du thermostat : par exemple, graduation de 1 à 12 permettent 12 allures de chauffe.

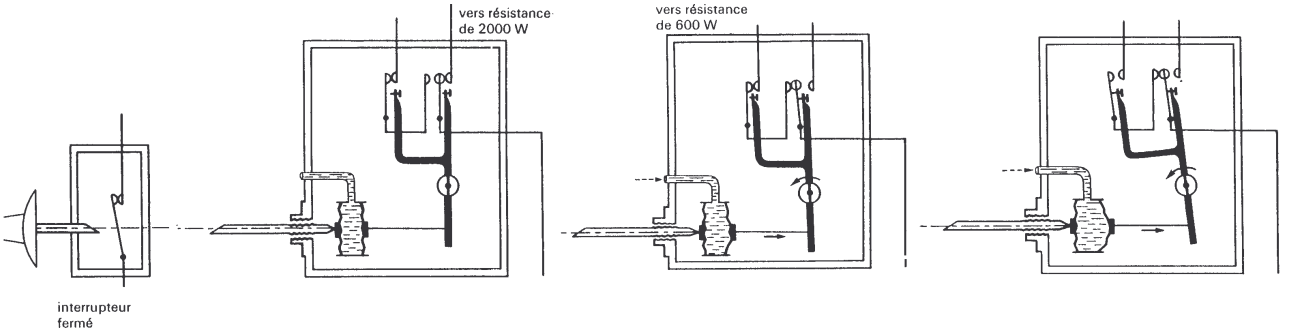
Exemple **(** ***voir schéma ci-dessous*** **):**

Foyer à palpeur à réglage thermostatique dits " à palpeur" muni de 2 résistances de 2000 W et 600 W

Le thermostat est ici constitué par un système clos renfermant un liquide : bulbe - tube capillaire - chambre à membrane.
Le bulbe par l'intermédiaire de son capot fait office de palpeur, de capteur de température ; monté sur un ressort, il est en contact thermique avec le fond de la casserole et est soumis, d'autre part, à la température du foyer. La dilatation du liquide en fonction de la température est transmise par le capillaire jusqu'à la membrane qui se déforme. Une vis de réglage précise et limite l'espace libre de dilatation. Lorsque cette limite est atteinte, la membrane repousse un petit basculeur qui agit sur deux micro - contacts : l'un, contact inverseur, met sous tension l'une ou l'autre des deux résistances, l'autre, contact simple, assure la régulation par " tout ou rien " sur la résistance de plus faible puissance. Ces deux contacts interrupteurs sont étalonnés l'un par rapport à l'autre, en ce qui concerne leur point d'action.

Fonctionnement : après le démarrage des cuissons qui se fait toujours sous la puissance la plus élevée, le thermostat bascule sur l'un ou l'autre des 2 circuits de chauffe qui ne chauffent jamais conjointement, permettant une montée en température relativement lente, puis par mise sous et hors tension du circuit le moins puissant il maintient les températures acquises. Cette succession de mise sous et hors tension des résistances, peut permettre d'abaisser au minimum la puissance moyenne utile pour la position 1 du commutateur et de petites quantités de produit à chauffer. Ce réglage, très précis, permet des cuissons délicates et une sécurité parfaite et garantit de ne pas dépasser de températures trop élevées.



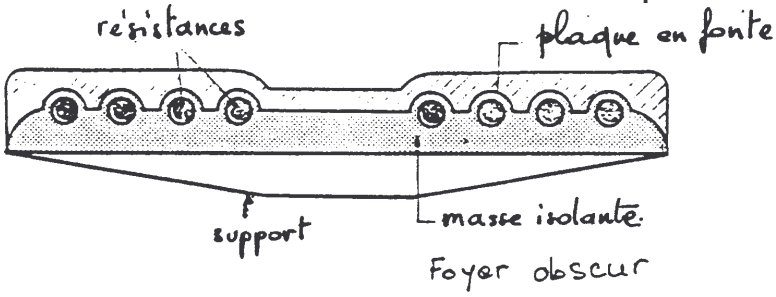


Le foyer froid mis sous tension est chauffé par la résistance de 2000 W	La montée rapide en température est terminée, le basculeur inverse le contact sur 600 W	La température correspondant au réglage est atteinte, le basculeur ouvre les 2 contacts

8.1.3. Entretien

En cas de débordement, faire chauffer la plaque à vide pour carboniser les matières adhérentes. Après refroidissement, essuyer énergiquement avec du papier absorbant.
En cas d'inutilisation prolongée en atmosphère relativement humide, il faut graisser superficiellement les plaques (avec un produit antirouille)

Document : Plaques de cuisson



- Coupe schématique d'une plaque chauffante.

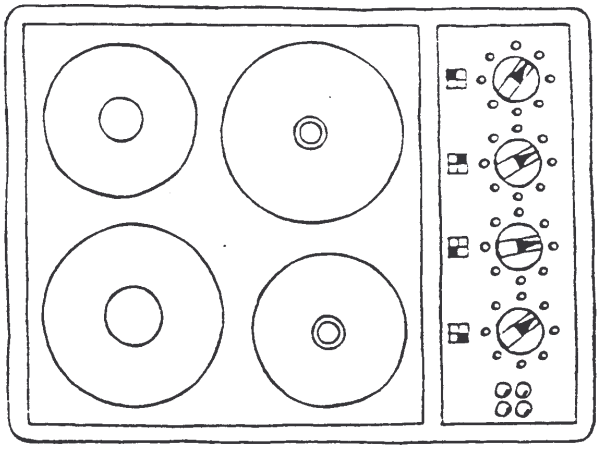


table de cuisson
plaques en fonte
foyer obscur.

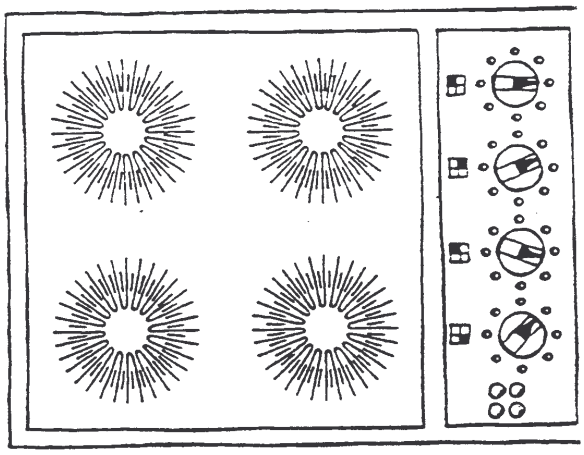


table de cuisson
vitro-céramique
foyers radiants

Les foyers de cuisson existent en trois tailles normalisées

145 mm, 180 mm , 220 mm

Gamme des plaques chauffantes usuelles			
Procédés de réglage		Diamètre (mm)	Puissance (watts)
Réglage de température		145 180	1 500 2 000
Réglage de puissance	Série normale	145 180 220	1 000 1 500 2 000
	Série rapide	145 180 220	1 500 2 000 2 600
Réglage d'énergie		145 180	1 500 2 000

Grâce aux commutateurs ,on peut obtenir différents réglages.

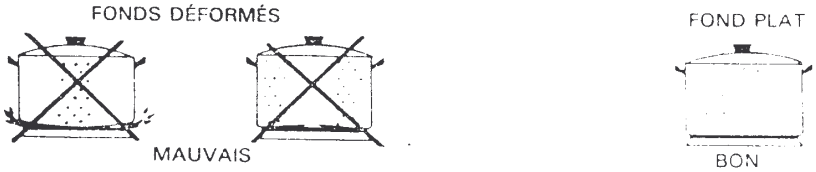
Document : Puissances courantes des brûleurs à gaz domestiques:

brûleur	diamètre	puissance en Watt	
		à plein débit	à débit réduit
auxiliaire		230 à 1 160	76 à 390
semi rapide	40 à 50 mm	1 160 à 2 300	195 à 385
rapide	50 à 75 mm	2 300 à 3 500	385 à 585
ultra-rapide	80 mm et +	3 500 et +	585 et +

Document : Conseils d'utilisation pour cuisiner " à l'électricité"

Avant d'utiliser pour la première fois les plaques électriques, les faire chauffer quelques minutes à vide (sans récipient dessus) à l'allure maximum pour permettre le durcissement du revêtement protecteur.
Pour avoir entière satisfaction de votre appareil, il est absolument nécessaire de prendre quelques précautions ou de respecter certaines conditions. Par exemple :

UTILISER DES RÉCIPIENTS ÉPAIS ET A FOND PLAT (ou dit aussi fond dressé)



Le fond rigoureusement plat supprimera les points de surchauffe sur lesquels les aliments attachent, et l'épaisseur du matériel permettra une parfaite répartition de la chaleur.

UTILISER DES RÉCIPIENTS D'UN DIAMÈTRE SUFFISANT POUR RECEVOIR ENTIÈREMENT LA PLAQUE

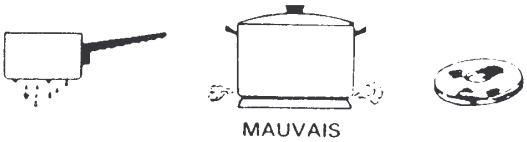
Dépense inutile d'une partie de l'énergie

En cas de débordement, la plaque est très rapidement attaquée et difficile à entretenir (rouille, déchets...)

Utilisation complète de la chaleur

En cas de débordement, la plaque n'est pas atteinte. Entretien facile. Le débordement sera récupéré sur la table

VEILLER A CE QUE LE FOND DES RÉCIPIENTS SOIT SEC :



Lors du remplissage du récipient, ou lorsqu'on utilise une casserole sortant du réfrigérateur par exemple, s'assurer que le fond de l'ustensile soit bien sec. Cette précaution évitera toute attaque de la plaque par l'humidité.

Ne jamais utiliser le même ustensile sur un brûleur gaz et une plaque électrique. A cause de la « concentration » de la chaleur, le brûleur gaz déforme les fonds des récipients, même les plus épais.
Dans ce cas, vous ne sauriez retrouver des résultats de cuisson satisfaisants lors d'une utilisation de ce type de récipient sur une plaque électrique.
Ne jamais laisser les plaques électriques fonctionner « à vide » (sans récipient dessus). Dans ce cas, elles chauffent au maximum et se déforment ce qui ne permet plus d'avoir des résultats de cuisson satisfaisants.

IMPORTANT : Penser à couper le courant quelques minutes avant la fin de la cuisson, pour terminer de cuire « gratuitement » grâce à la chaleur accumulée.
De même, une cocotte bien couverte permet de cuire à une température plus douce. La cuisson est donc plus économique.

8.1.4. Récipients culinaires

Les récipients doivent avoir un diamètre adapter à celui des plaques (et au volume des denrées à cuire), un fond rigoureusement plan et dressé pour assurer un contact parfait avec la plaque. Matériau :

- Aluminium : épaisseur des parois et du fond jusqu'à 8 mm
- Acier inoxydable : mauvais conducteur de la chaleur, souvent associé à une couche de métal bon conducteur (cuivre ou acier doux) pour constituer un fond épais et lourd, alors que l' épaisseur des parois reste de l'ordre de 2 mm.
- Tôle d'acier émaillée : il faut un fond épais et radiant, paroi latérale de 1,2 mm
- Verre à feu ou porcelaine à feu : pour une cuisson douce et un service direct.

8.2. TABLES VITROCERAMIQUES

8.2.1. Principe

Une source (résistance électrique ou lampes à halogène) transfère sa chaleur par ***rayonnement*** (***visible*** et ***infrarouge court***) au récipient culinaire au travers d'un support transparent au rayonnement : une plaque vitrocéramique qui transforme le plan de cuisson en une surface plane, lisse, pouvant être utilisée , à froid, comme plan de travail. Les foyers sont visibles quand ils chauffent. L'emplacement des éléments chauffants est matérialisé graphiquement sur la plaque avec une grande diversité dans les dimensions et les formes (circulaire, ovale). Il existe aussi des extensions de corps de chauffe entre 2 foyers circulaires, pratiques pour les plats longs.
La ***plaque vitrocéramique*** est une dalle en verre teintée mais transparent, d'environ 1 cm d'épaisseur, qui a subi divers traitements (vitrification par cuisson, sérigraphie, recuisson pour fixer le décor) qui en font un matériau très résistant aux chocs thermiques et mécaniques, aux rayures et aux produits chimiques.
Résistance aux chocs thermiques jusqu'à 700 °C. Au dessus de 750 °C la vitrocéramique se ramollit, c'est pourquoi, quel que soit le type d'émetteur de chaleur, chaque foyer est équipé d'un limiteur de température qui n'autorise pas plus de 650 °C sous la plaque et 550 °C sur la plaque. Elles résistent très bien aux variations brutales de température (en cas de projection d'eau froide sur la surface chaude, par exemple).
Résistance aux chocs mécaniques : la plaque doit résister à la chute, répétée 10 fois, d'un disque de 1,8 kg d'une hauteur de 15 cm au dessus de la plaque allumée ou éteinte.
Il existe des appareils équipés uniquement de **foyers radiants**, uniquement de **foyers à halogène** (jusqu'à 4) et des **mixtes** (radiants et halogène).

8.2.2. Foyers radiants

Des ***résistances spiralées***, en alliage métallique à base de fer, chrome, aluminium sont disposées dans des bacs réfractaires sous la vitrocéramique. L'inertie est très faible et ces résistances rougeoient au bout de 6 secondes, pour les plus performantes (en général 25 secondes pour les modèles courants). La chaleur est transmise par ***rayonnement*** **(environ 20 %)** et par ***conduction*** **(environ 80 %).** Les foyers radiants étaient généralement mono- résistance, il existe maintenant des zones de chauffe à plusieurs filaments.

8.2.3. Foyers à halogène

L'énergie utilisée est le **rayonnement infra - rouge court** de lampes à halogène. La chaleur est transmise par ***rayonnement*** **(80 %)** et par ***conduction*** **(20 %).** Elle est disponible immédiatement sans inertie et la visualisation est instantanée.
Le foyer halogène est composé de 2 à 4 tubes constitués d'un filament de tungstène, dans une gaine de verre de silice (ou quartz) susceptible de supporter la pression de service (3 atm), contenant un gaz inerte et un halogène (fluor, iode, brome). Le tungstène du filament, porté à très haute température, se vaporise lentement, il se combine alors avec l'halogène pour former un halogénure qui se décompose au contact du filament, le tungstène s'y redéposant alors. Ce cycle dépend étroitement de l'équilibre complexe température - pression à l'intérieur du tube. Le tungstène évaporé ne peut donc pas se déposer sur la face interne du tube de quartz, qui ainsi ne noircit pas et le filament ne voit pas son diamètre rapidement diminuer jusqu'à se rompre comme dans le cas d'une lampe à incandescence classique. La durée de vie est importante (10 ans de fonctionnement normal). Certains foyers à halogènes comprennent des lampes et une résistance qui permet de mieux réguler le fonctionnement.

8.2.4. Dimensions

Grande diversité dans les dimensions et les formes :

- Forme circulaire de diamètre 145 mm, 160 mm, 170 mm, 180 mm, 195 mm , de puissance variant entre 1 000 W et 2 000 W
- Forme ovale de diamètres 170 et 265 mm.

Il existe aussi des extensions de corps de chauffe entre 2 foyers circulaires, pratiques pour les plats longs.

8.2.5. Système de régulation

- **Réglage de la puissance** : ***commutateur*** à plusieurs positions (comme la plaque en fonte) ou ***variateur électronique.***
- **Réglage de l'énergie** : par action sur le temps : ***doseur d'énergie*** 12 positions (comme la plaque en fonte)
- **Réglage thermostatique** : sur les foyers radiants, un palpeur est plaqué en sous - face du plan de cuisson. La température de la masse du récipient est donc transmise avec une certaine inertie. En marche continue les écarts de température entre la mise hors- tension et la remise en tension sont assez importants et la préparation de mets fragile à faible température est plus difficile à réussir que sur une plaque en fonte.

8.2.6. Avantages des tables vitrocéramiques

- Facilité d'entretien (lisses et faciles à nettoyer)
- Intégration parfaite dans le plan de travail
- Stabilité des récipients
- Esthétique : surface lisse et brillante, décorée de sérigraphies sobres, noires, grises ou marron.
- Rapidité de chauffe, la température optimale est atteinte en 10 à 30 secondes, montée rapide en température et descente rapide, absence d'inertie.
- Visualisation parfaite des zones de chauffe

8.2.7. Inconvénients

- Une certaine difficulté de réglage.
- Les récipients culinaires doivent avoir un fond rigoureusement plan.
- La résistance de la vitrocéramique aux chocs mécaniques reste relative : certains gestes professionnels sont interdits, comme, par exemple, taper la poêle pour rouler l'omelette.

8.2.8. Sécurité

- Dès qu'ils sont mis hors tension ces foyers s'éteignent, mais la température peut alors être encore supérieure à 200 °C. Toutes les plaques devraient être équipées d' un ***témoin de chaleur résiduelle*** qui reste allumé tant que la température du foyer dépasse 50 à 55 °C.
- L'isolation électrique des éléments chauffants doit être assurée par une distance de sécurité.
- La plaque étant extra plate, les élément sous tension sont très proches les uns des autres, une excellente isolation électrique est donc nécessaire.

8.3. FOYERS A INDUCTION

8.3.1. Quelques notions d'électromagnétisme

8.3.1.1. Induction magnétique, perméabilité magnétique

Une aiguille aimantée placée près d'un conducteur est déviée lorsque celui-ci est parcouru par un courant électrique. Un courant électrique engendre un champ d'induction magnétique B, dont l'intensité, mesurée en Tesla (T) , dépend des caractéristiques du courant électrique : intensité du courant qui circule et, par exemple si le conducteur est une bobine, longueur et nombre de spires de la bobine...

Le champ d'induction magnétique dépend aussi du milieu dans lequel il se propage :

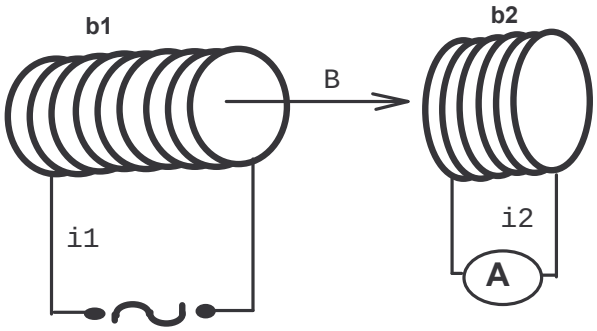
- les substances ferromagnétiques (fer, nickel, chrome et la plupart de leurs alliages) canalisent le champ d'induction et augmentent son intensité. On parle alors d'un circuit magnétique.
- les substances amagnétiques, elles, ne modifient ni l'aspect, ni la valeur du champ d'induction magnétique qui reste identique à celui qui serait obtenu dans l'air ou le vide.

Ainsi, si à l'intérieur d'une bobine parcourue par un certain courant, le champs d'induction magnétique est B_0 dans l'air, il devient B dans une substance magnétique, avec B très supérieur à B_0, et $\mathbf{B = \mu_r B_0}$

μ_r est la perméabilité magnétique relative du matériau. C'est un coefficient élevé qui dépend du matériau, mais n'est pas constant. Il décroît de façon importante, quand le matériau "se sature", c'est-à-dire quand B_0 devient grand. On obtient couramment (dans l'acier doux, le fer...) des valeurs de perméabilité relative supérieures à 1 000 (voire 5 000). Le champ d'induction magnétique créé par une bobine, par exemple, est donc, dans un circuit magnétique constitué d'un tel matériau, multiplié par 1 000 et plus.

8.3.1.2.Courants induits

Toute variation de champ d'induction magnétique agissant sur un circuit électrique fermé donne naissance dans ce circuit à un courant induit.



Expérience : Une bobine b_1 est alimentée par une source de courant **variable**, d'intensité i_1. On constate, à l'aide d'un ampèremètre, qu'une bobine b_2, soumise à l'influence de la bobine b_1, est parcourue alors par un courant d'intensité i_2. Le passage du courant i_1 dans la bobine b_1 crée un champ magnétique B qui s'exerce sur la bobine b_2. Le courant i_1 étant variable, le champ B l'est aussi. **Les variations du champ B produisent dans la bobine b_2 un courant induit i_2.** Si i_1 est alternatif, B l'est aussi et varie alors entre un minimum et un maximum, avec une fréquence identique à celle du courant, de même que le courant induit i_2.

On montre que l'intensité du courant induit est proportionnelle à la vitesse de variation du champ d'induction magnétique, donc, dans le cas d'un champ alternatif, à sa fréquence.

8.3.2. Courants de Foucault

Une masse métallique qui se déplace dans un champ d'induction magnétique voit naître en son sein des courants induits qui se referment dans la masse métallique. Ces courants sont dits "courants de Foucault". Si la masse métallique est fixe et le champ variable, l'effet est le même.

Ces courants de Foucault produisent alors de la chaleur par effet Joule proportionnellement au carré de leur intensité et à la résistance électrique de la masse métallique.

En alternatif, la puissance en watts des courants de Foucault produits est :

$$P_f = K_f \times f^2 \times B_m^2 \times V$$

f : fréquence en hertz du champ d'induction ou du courant le produisant.

$\mathbf{B_m}$: valeur maximale du champs d'induction magnétique en teslas (T).

V : volume de métal concerné en m3.

$\mathbf{K_f}$: coefficient déterminé par des mesures sur un échantillon de la substance.

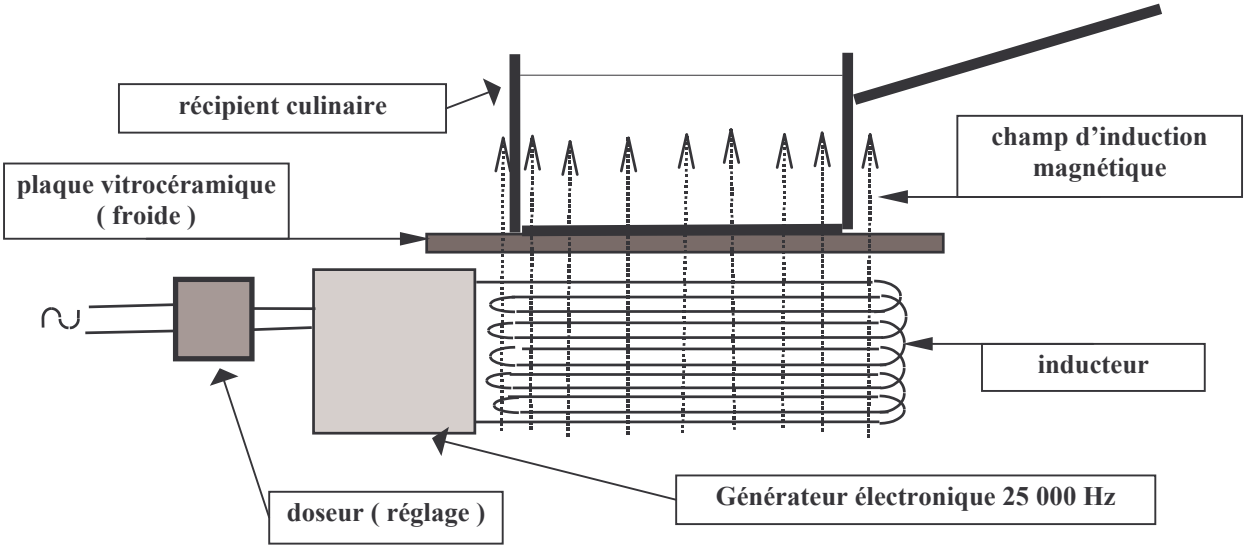
Donc la puissance P_f en watts des courants de Foucault produits est proportionnelle :	**Conséquences**
• A un coefficient K_f déterminé par des mesures sur un échantillon de la substance	L'effet dépend de la nature du métal
• Au carré de la fréquence **f** en hertz du champ d'induction ou du courant le produisant	Plus la fréquence est élevée, plus l'effet est important (si la fréquence est multipliée par 10, la puissance des courants de Foucault l'est par 100)
• Au carré de la valeur maximale du champs d'induction magnétique B_m en teslas (T) dans le métal	Si la perméabilité magnétique du métal est faible, le champ d'induction magnétique dans le métal sera très petit et l'effet négligeable. Par contre, si la perméabilité magnétique du métal est grande, le champ d'induction magnétique dans le métal sera important et l'effet le sera encore plus : si champ d'induction est multiplié par 10, la puissance des courants de Foucault l'est par 100
• Au volume **V** de métal concerné en m^3	Le volume de métal doit être suffisant pour que l'effet soit perceptible

8.3.3. Principe de fonctionnement de la plaque à induction

Si on pose sur la plaque un récipient en métal ferromagnétique, ce récipient se comporte comme un circuit magnétique, dans lequel le champ est considérablement amplifié.

Un générateur alimenté en courant du secteur (de fréquence 50 Hz) produit un courant électrique de haute fréquence (25 à 50 kHz) dans une bobine plate, située sous la surface de travail. Cette bobine crée alors un champ d'induction magnétique variable de haute fréquence.

Ce champs intense étant variable, il produit dans la masse du récipient, qui sert alors aussi de circuit électrique, des courants induits (ou courants de Foucault) qui émettent de la chaleur par effet Joule.
Avec cet appareil de cuisson, la chaleur est donc produite directement dans la masse du récipient culinaire.



La fréquence du courant alimentant la bobine doit être élevée, car la fréquence du champ d'induction magnétique le devient alors ; l'intensité du courant induit qui lui est proportionnelle sera donc importante, ainsi qu'en conséquence la quantité de chaleur produite.
On a déterminé que le fonctionnement de l'appareil est optimal, compte tenu des possibilités de production de courants de hautes fréquences à partir du courant du réseau EDF, avec une fréquence comprise entre **25 et 50 kHz**.
Le récipient doit présenter une perméabilité magnétique relative élevée pour concentrer le champ magnétique. Il est donc obligatoire d'utiliser des récipients en fer, fonte, acier émaillé ou non. Par contre, il est exclu d'utiliser le cuivre, l'aluminium, l'inox non ferrétique, le verre et la céramique à feu.
Le dégagement de chaleur est instantané, dès que le récipient est soumis à l'action du champ magnétique (mise en marche ou pose du récipient sur la plaque), et s'arrête dès qu'il ne l'est plus (enlèvement du récipient ou coupure de l'alimentation).
La quantité de chaleur dégagée est proportionnelle au volume V de métal utilisé et au carré de l'intensité du courant induit, or ce courant induit est lui-même proportionnel à la fréquence f et à la valeur maximale de l'induction magnétique Bm.
Donc, si K_f est un coefficient dépendant du récipient, la quantité de chaleur émise pendant le temps **t** est :

$$Q = K_f \times f^2 \times B_m^2 \times V \times t$$

La forme et la taille du récipient importent, elles doivent permettre la meilleure exposition possible au champ magnétique et constituer un circuit fermé (les formes cylindriques sont les plus compatibles). **Si la surface et le volume de métal exposé à l'induction sont très petits (par exemple un couteau, une fourchette, un ustensile oublié sur la plaque), il n'y aura pas d'échauffement.**

8.3.4. Caractéristiques

- alimentation en 380 volts, 50 Hz (le 220 V est déconseillé).
- fréquence de l'induction magnétique de 25 000 à 50 000 Hz.
- puissances nominales usuelles 1 800 et 3 600 W (jusqu'à 5 kW).
- surface de travail en vitrocéramique, matériau lisse, non conducteur de la chaleur (celle-ci ne se transmet donc que faiblement du récipient à la plaque) et de bonne tenue aux chocs thermiques (en cas de débordements par exemple).
- la sécurité est assurée par un limiteur de température.
- le réglage se fait de manière séquentielle à l'aide d'un "doseur". Celui-ci commande l'alimentation et agit sur le rythme des séquences d'arrêt/marche. Cela permet d'obtenir une échelle de puissances disponibles de 1 % à 100 % de la puissance nominale avec une précision de 1 % .

La plaque vitrocéramique est une dalle en verre teintée mais transparent au rayonnement électromagnétique, d'environ 1 cm d'épaisseur, qui a subi divers traitements (vitrification par cuisson, sérigraphie, recuisson pour fixer le décor) qui en font un matériau très résistant aux chocs thermiques et mécaniques. Elle présente une surface plane, lisse, pouvant être utilisée , à froid, comme plan de travail

8.3.5. Avantages de la plaque à induction

- Souplesse et rapidité : aucune inertie, chaleur disponible immédiatement, régulation de l'allure de cuisson instantanée et d'une grande précision.
- Certaines économies d'énergie :
  - pas de préchauffage.
  - la production de chaleur se faisant directement dans le récipient, sans intermédiaire, il y a diminution des pertes et augmentation du rendement.
  - la plaque réagit immédiatement aux réglages.
- Polyvalence : toutes les cuissons sont possibles, mais la plaque à induction est surtout adaptée aux cuissons rapides et aux « coups de feu ». L'utilisation comme moyen de maintien en température (voire mijotage) est déconseillée.
- Entretien facilité : seul le récipient s'échauffe, les projections ne carbonisent pas, la plaque se nettoie avec une éponge humide.
- Confort : il y a moins de pertes de chaleur dans l'environnement, l'ambiance et les conditions de travail en sont d'autant améliorées.
- Sécurité :
  - absence de risque de brûlures par contact avec la plaque à induction qui reste quasiment froide.
  - risque d'incendie pratiquement inexistant (débordements sans risque, pas de parties à haute température).
  - une masse métallique minimale est nécessaire au fonctionnement de l'appareil.

8.3.6. Inconvénients de la plaque à induction

- utilisation d'une batterie spécifique, nécessitant souvent son renouvellement.
- fiabilité parfois contestée : certains composants sont fragiles, mieux vaut, en particulier, ne pas placer l'appareil près d'une source de chaleur importante ou de vapeur.
- fragilité de la plaque vitrocéramique : il faut éviter les coups, les chocs brutaux, les rayures.
- coût d'investissement élevé.
- matériel récent, marché et gamme de matériel restent étroits, manque de recul et d'expérience, évaluation difficile de la fiabilité et de la rentabilité, consommations énergétiques réelles assez mal cernées (les indications des constructeurs restent assez floues).

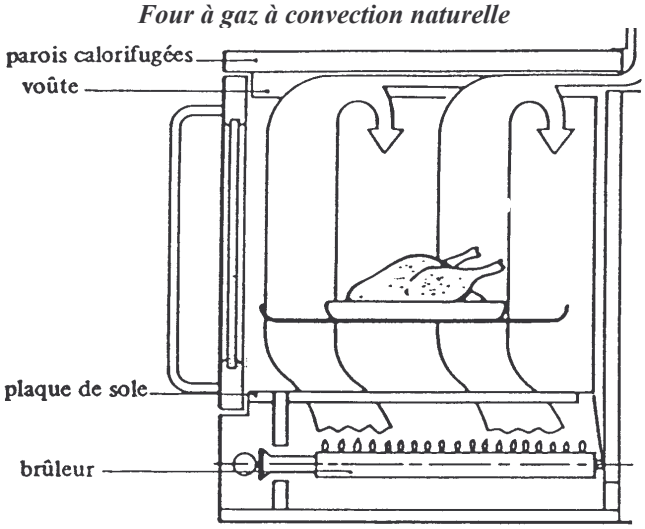
9. FOURS

9.1. FOUR A CONVECTION NATURELLE

9.1.1. Principe

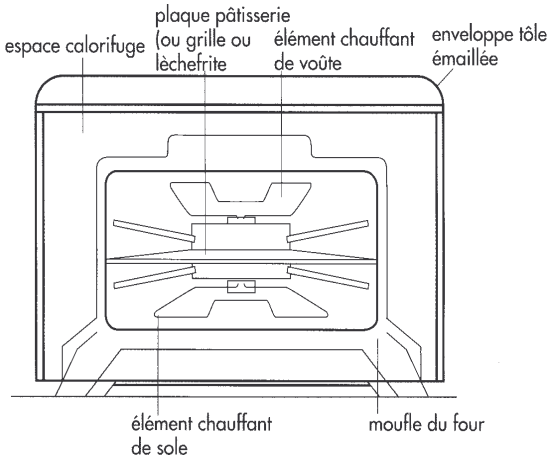
C'est le four classique, l'air chauffé dans la partie inférieure de l'enceinte (***sole***) par des résistances électriques (ou éventuellement des brûleurs à gaz), circule par **convection** et cède sa chaleur aux aliments et surtout aux parois du four. Ces parois, alors portées à haute température, émettent de la chaleur par **rayonnement**. Des éléments chauffants dans la partie supérieure de l'enceinte (***voûte***) peuvent être utilisés comme grill.

Four à gaz à convection naturelle



La cuisson s'effectue sur un seul niveau

Four électrique à convection naturelle



L'enceinte doit donc être soigneusement calorifugée et préchauffée avant utilisation.
La chaleur de cuisson absorbée par les aliments est principalement de la chaleur rayonnée par les parois et la voûte du four. Ces fours sont dits "à chaleur statique", car la convection y est faible, et présentent une importante inertie thermique. Ils ne peuvent cuire qu'une seule plaque placée à la bonne hauteur.

9.1.2. Régulation

Un thermostat à dilatation de liquide ou à tige permet de maintenir dans le four une température choisie (entre 50 et 300 °C) qui est affichée grâce à la vis de réglage du thermostat : graduation en °C ou en unité conventionnelle de 1 à 10. Le bulbe ou l'extrémité de la tige sont placés dans le four et en capte la température.
Ce réglage thermostatique peut éventuellement être complété par une sonde électronique. Une longue aiguille, dont l'extrémité est constituée de la soudure chaude d'un thermocouple électrique ou d'une thermorésistance, est plantée dans l'aliment et permet d'en détecter la température à coeur. Quand la température de fin de cuisson est atteinte une intervention sur le thermostat commande l'arrêt ou bien un signal sonore est déclenché.

9.1.3. Programmation

Minuterie : elle ne permet de programmer que la durée de la cuisson.

Programmateur : (appelé aussi chronorupteur, chrono régulateur ou timer) il permet par un double affichage
- ➔ la mise en service du four à une heure préfixée
- ➔ l'interruption du chauffage dès que le temps de cuisson est écoulé.

L'organe principal en est une horloge électrique entraînée par un petit moteur synchrone. Cette horloge commande des commutateurs à cames dont les roues munies de saillies ou d'encoches assurent suivant l'horaire choisi la fermeture ou l'ouverture des circuits électriques.

9.1.4. Dispositifs de sécurité

- les circuits électriques doivent être isolés, protégés par disjoncteur différentiel et les appareils mis à la terre.
- les résistances électriques de chauffage sont des résistances "BLINDEES", parfaitement étanches et isolées.
- appareils à gaz : voir sécurité des brûleurs

9.1.5. Entretien

9.1.5.1.Nettoyage par catalyse

Dans les fours autonettoyants ou autodégraissants, les graisses se dégradent au fur et à mesure de leur dépôt . Elles sont oxydées par l'oxyde métallique appliqué sur l'émail ou inclus dans l'émail des parois du four.
avantage: l'opération se fait pendant la cuisson, il n'y a pas de surcoût en énergie.
inconvénients :
- seules les graisses sont traitées,
- durée de vie du catalyseur d'environ 6 ans
- revêtement fragile difficile à entretenir

9.1.5.2.Nettoyage par pyrolyse

Les salissures sont décomposées à haute température : hors cuisson , environ 1 h à 500 °C, à faire environ 1 fois par mois.
La porte du four doit être dotée d'un verrouillage automatique.
avantages :
- les salissures de toute nature sont traitées
- le four est mieux isolé (économies, sécurité)

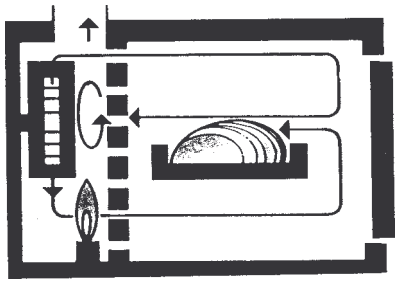
inconvénients :
- appareil plus coûteux (résistance supplémentaire, meilleur calorifugeage)
- surconsommation pendant le cycle de nettoyage.

9.2. FOUR A CONVECTION FORCEE

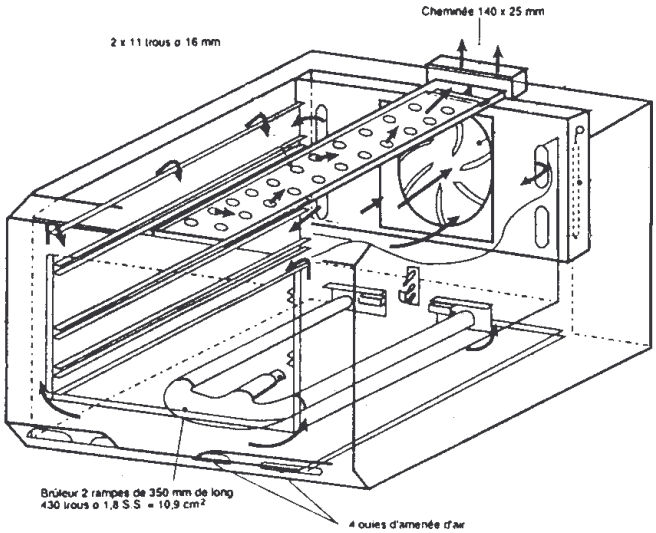
9.2.1. Principe

Dans un four à convection forcée , appelé aussi à air pulsé, à chaleur tournante, à turbine, les échanges thermiques par convection sont accrus par un **brassage mécanique de l'air** :
- ➔ dans le four à convection forcée simple, une simple ventilation accélère la circulation de l'air dans l'enceinte.
- ➔ dans le four à convection forcée dirigée, un dispositif de soufflage, de reprise d'air et de canalisation des courants de convection permet d'homogénéiser les températures dans l'ensemble du four.

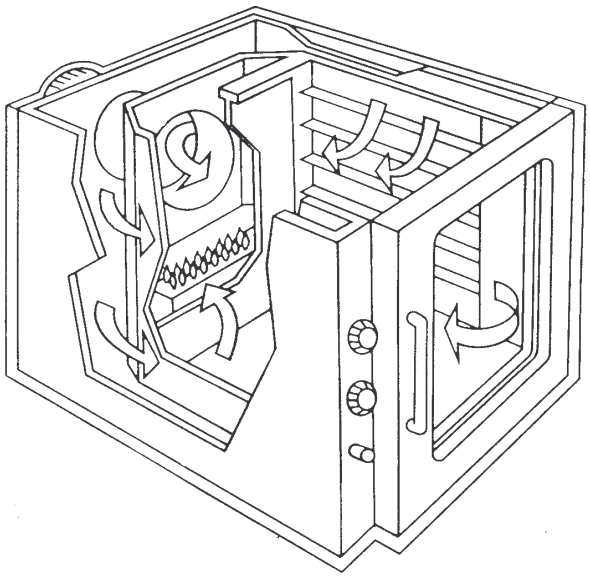
Cette circulation d'air chaud rend inutile le préchauffage du four, mais accroît le dessèchement des denrées.



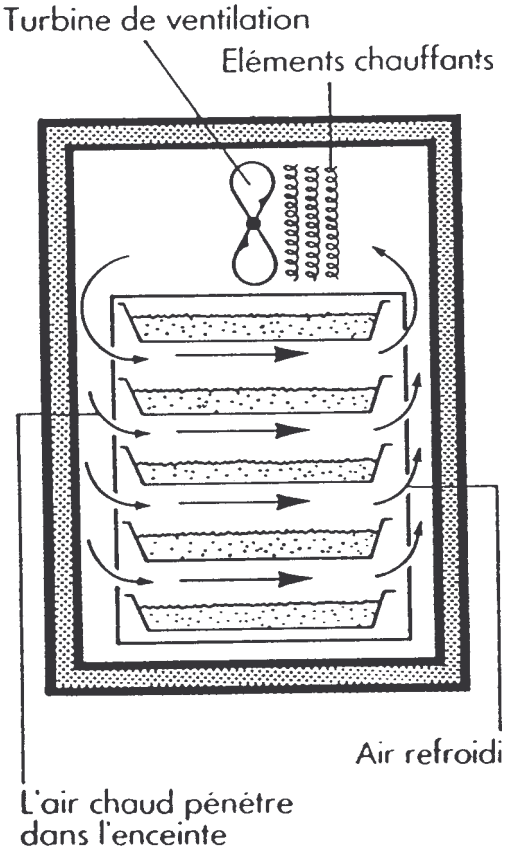
Four à gaz à convection forcée



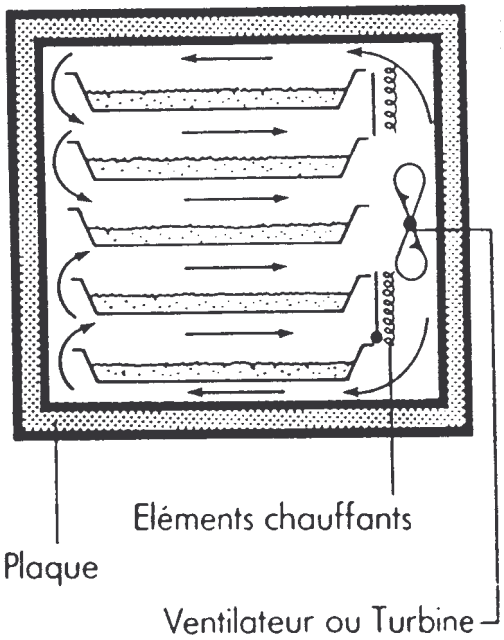
Four à convection forcée dirigée



Fours électriques à convection forcée



Four a convection forcée simple



9.2.2. Caractéristiques

- la puissance est proportionnelle à la capacité de chargement : environ 300 Watts par kg de produit (ou 500 W à 1000 W par niveau GN 1/1.)
- gamme de puissance très étendue de 2 kW à 150 kW.
- régulation par thermostat gradué soit en degrés Celsius, soit numériquement de 1 à 10 (1 unité équivaut à environ 30°C),
- température à coeur du produit éventuellement repérée par une sonde et affichée (pilotage possible du fonctionnement),
- contrôle et automatisation des durées de cuisson par programmateur ou minuteur,
- une sécurité coupe le chauffage et la ventilation lors de l'ouverture de la porte,
- les ventilateurs et résistances sont protégés des projections de graisses par un filtre mécanique,
- un volet réglable permet d'évacuer la vapeur d'eau produite lors de certaines cuissons (dispositif OURA),
- inversement, un humidificateur permet parfois d'introduire de la vapeur d'eau pour améliorer certaines cuissons et éviter le dessèchement des aliments.
- matériau : parois démontables en acier inoxydable (entretien facile) ou émaillé, isolation souvent en laine de roche.

9.2.3. Avantages du four à convection forcée sur le four classique

- faible inertie (250°C en moins de 10 minutes),
- cuisson sur plusieurs niveaux,
- capacité de production multipliée (par 3 à 5),
- température de cuisson plus basse (de 20 à 40 °C),
- réduction des odeurs, de l'encrassement, des fumées, des graisses brûlées,
- moindre perte en masse des produits (grâce à l'humidificateur et à une température de cuisson plus basse),
- uniformité des températures,
- gain de temps et d'énergie, meilleur rendement,
- plus grande polyvalence.

Remarque : A l'énergie consommée par le chauffage il faut ajouter celle consommée par la ventilation.

9.3. ENCEINTES A MICRO-ONDES

9.3.1. Principe

9.3.1.1. Ondes électromagnétiques

Une onde est la manifestation de la propagation d'un phénomène vibratoire. Elle est caractérisée par sa célérité c (ou vitesse de propagation), par sa longueur d'onde λ et par la fréquence de l'oscillation f :

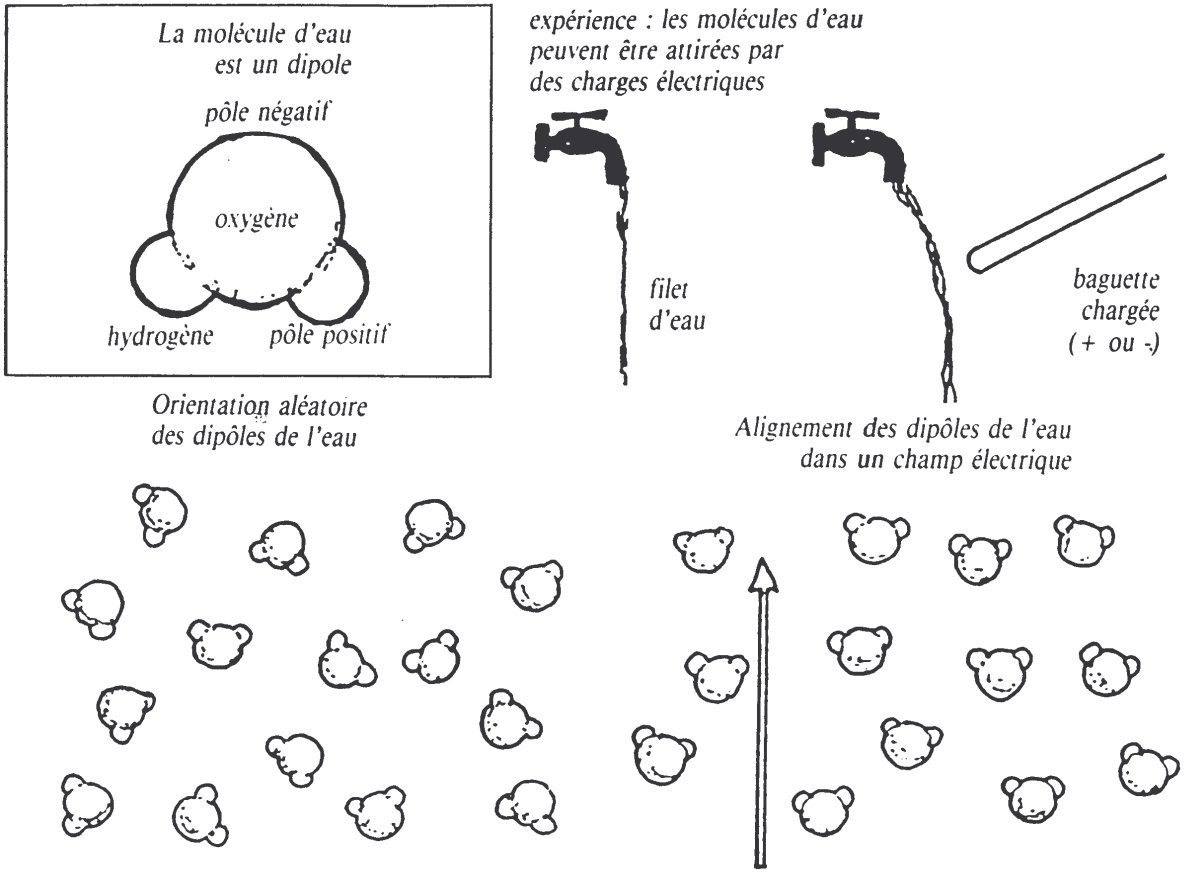
$$\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$$

Des oscillations d'ensembles d'électrons dans un conducteur ou dans le vide (un courant électrique alternatif par exemple) engendrent des ondes électromagnétiques. Une onde électromagnétique transporte de l'énergie et est composée d'un champ électrique, exprimé en Volts par mètre (V/m), et d'un champ magnétique, exprimé en Ampères par mètre (A/m) qui se propagent à la vitesse de la lumière (3×10^8 m/s).

9.3.1.2. Polarisation de la molécule d'eau

La molécule d'eau comporte autant de charges positives (protons) que de charges négatives (électrons), qui sont réparties de manière dissymétrique. Chaque molécule d'eau se comporte comme un dipôle électrique. Ces dipôles sont normalement orientés dans le plus grand désordre. Mais en présence d'un champ électrique, les dipôles pivotent et s'orientent dans le sens du champ.
Si le champ électrique est oscillant (il change alternativement de sens toutes les T secondes, T est alors sa période et f = 1/T est sa fréquence en Hertz), les molécules d'eau vont être animées d'un mouvement incessant de rotation.
Cependant les molécules d'eau présentent une certaine inertie : chaque molécule subit des forces, exercées par les molécules environnantes, qui la gênent, la freinent et offrent donc une « résistance visqueuse » à son mouvement de rotation : il y a production de chaleur dans la matière.
Si la fréquence du champ est trop élevée, les molécules d'eau ne peuvent pas "suivre" et il n'y a pas d'absorption d'énergie : l'eau ne s'échauffe pas. Si elle est trop basse, la rotation est trop lente et l'échauffement est négligeable
.

Micro - ondes, principe



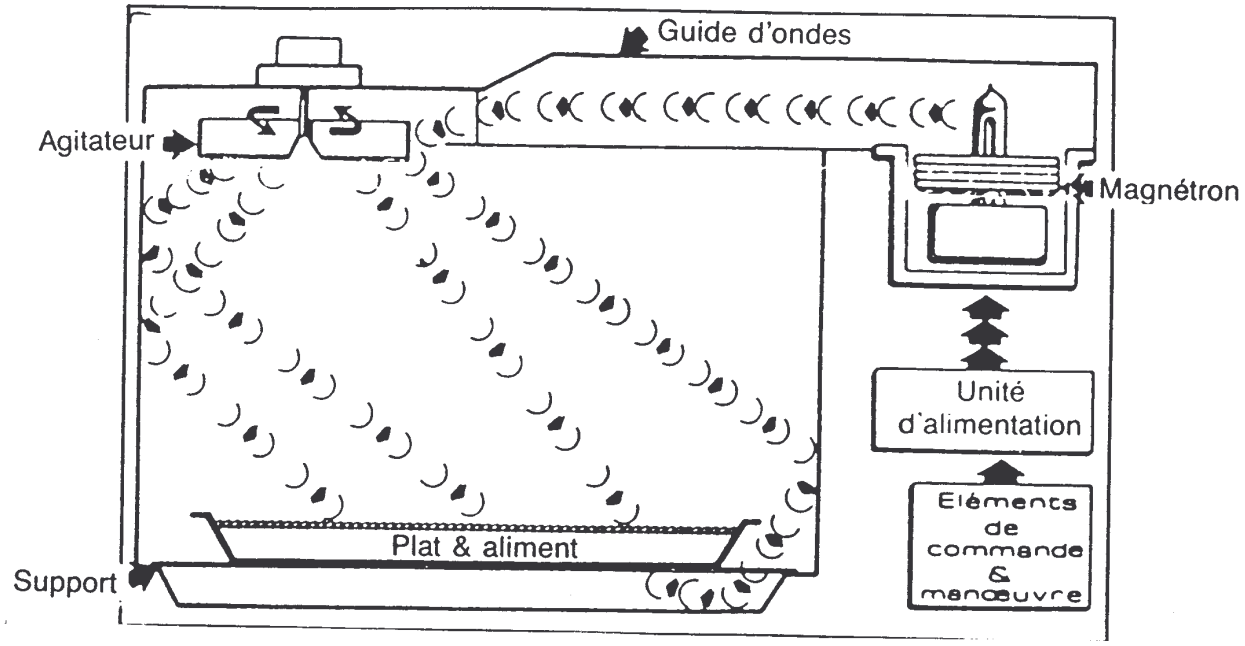
Aux fréquences des micro-ondes (ou hyperfréquences), les molécules d'eau pivotent suffisamment vite et la résistance visqueuse du milieu s'oppose à leur rotation. Le champ électrique fournit l'énergie nécessaire au mouvement de rotation et cette énergie est transmise, en quelque sorte par frottement, aux molécules voisines (au mais aussi glucides, lipides ou protides) ont le mouvement désordonné s'amplifie : la température s'élève.

Rappel: La chaleur de la matière est l'énergie cinétique d'agitation de ses molécules. La température correspond au degré d'agitation.

La fréquence utilisée réglementairement, afin de ne pas perturber les télécommunications, dans les enceintes à micro-ondes est **2 450 MégaHertz (Mhz)**. La longueur d'onde est donc $\lambda = 12{,}2$ cm.

En effet dans les unités du S.I. : $\lambda = c \div f = 300\,000\,000 \div 2\,450\,000 = 0{,}122$ m

Enceintes à micro - ondes, schéma de principe

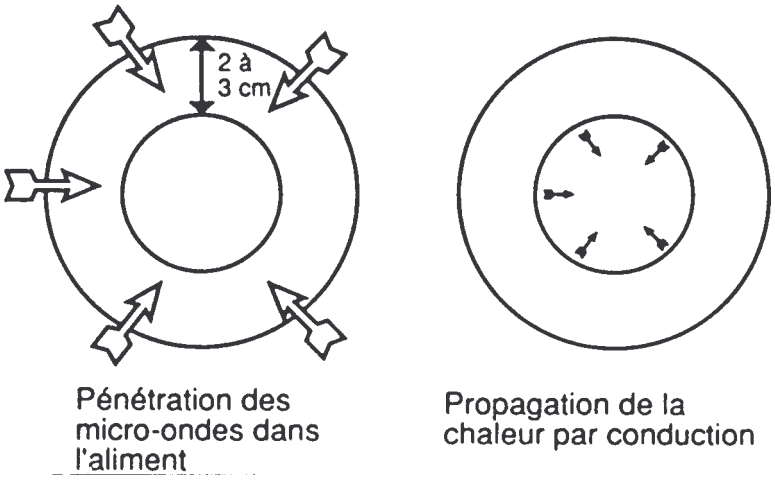


9.3.2. Utilisation en mode décongélation

Les molécules d'eau de la glace ont une liberté de mouvement entravée par la structure cristalline. Les micro-ondes devraient donc avoir un effet moindre sur la glace et les aliments congelés. En fait, **les micro-ondes pénètrent bien plus profondément (une dizaine de cm) et facilement dans la glace que dans l'eau**, et on obtient une décongélation homogène et rapide directement au cœur du produit.
Mais dès que l'on sort des aliments congelés de la chambre froide négative, leur surface commence à fondre. Ce film superficiel d'eau liquide arête les micro-ondes, absorbe leur énergie, s'échauffe et fait fondre uniquement la couche sous-jacente en lui transmettant sa chaleur par conduction. Ce mécanisme conduit à un emballement de l'échauffement en surface et à des sur-échauffements ponctuels des poches d'eau qui peuvent se former. On risque alors d'obtenir un produit cuit en surface et encore congelé à l'intérieur.
Pour assurer une décongélation régulière, l'appareil doit fonctionner à **faible puissance** et de **manière séquentielle**, en respectant, entre les temps de fonctionnement, des temps de relaxation suffisants pour permettre à la conduction d'uniformiser les températures.

9.3.3. Utilisation en mode cuisson ou réchauffement

Plus la proportion d'eau contenue dans un aliment est importante, plus celui-ci s'échauffera sous l'effet des micro-ondes. La présence de sels minéraux en solution ionise l'eau et augmente la vitesse d'échauffement.
L'homogénéité de la cuisson des aliments dont la teneur en eau n'est pas homogène est meilleure si les micro-ondes sont émises par séquences: les températures peuvent s'uniformiser pendant les périodes de relaxation.
La profondeur de pénétration des micro-ondes est de l'ordre de 1,5 à 3 cm maximum dans les aliments très hydratés et décongelés. Au-delà, la chaleur se propage par conduction. L'utilisation des micro-ondes est surtout adaptée aux produits de petite taille. Les aliments d'épaisseur importante doivent être retournés en cours de cuisson. Il faut ensuite les laisser reposer, à la fin de la cuisson, pour que la conduction ait le temps d'agir.



Pénétration des micro - ondes

L'intensité du champ électrique varie à l'intérieur de l'enceinte et l'absorption des micro-ondes n'est pas homogène. On y remédie en tournant manuellement le plat, ou en utilisant une enceinte équipée d'un plateau tournant ou d'un agitateur d'ondes.

Lors d'une cuisson dans un four à convection, il se forme autour de l'aliment (rôti, pain, pâtisserie, etc.) une croûte sèche qui piège la vapeur d'eau pouvant se former à l'intérieur de l'aliment : la partie intérieure est humide, la partie externe croustillante. Par contre la cuisson aux micro-ondes ne produit ni croûte, ni dorage. La production de chaleur par absorption de micro-ondes se fait autant et en même temps en surface qu'à l'intérieur de l'aliment : la vapeur d'eau qui se forme à l'intérieur du produit (ainsi que les graisses fondues) migre vers la surface, la traverse en la ramollissant ou en y laissant son humidité. Il faut parfois éliminer cette "transpiration" qui peut détériorer le produit : utilisation de papier absorbant, surélèvement des pièces à rôtir, des pâtes (pâtisseries, pizzas, pâtés, etc.) afin qu'elles ne chauffent pas dans le jus ou les graisses.
Si le chauffage par micro-ondes est trop poussé, l'eau qui compose le produit se vaporise et l'aliment peut se dessécher et durcir ou devenir caoutchouteux.
Lorsque la graisse de cuisson d'un aliment forme un film sur la couche d'eau qui recouvre le fond du plat, cette eau surchauffe, des bulles de vapeur se forment et produisent les petites explosions que l'on entend parfois.

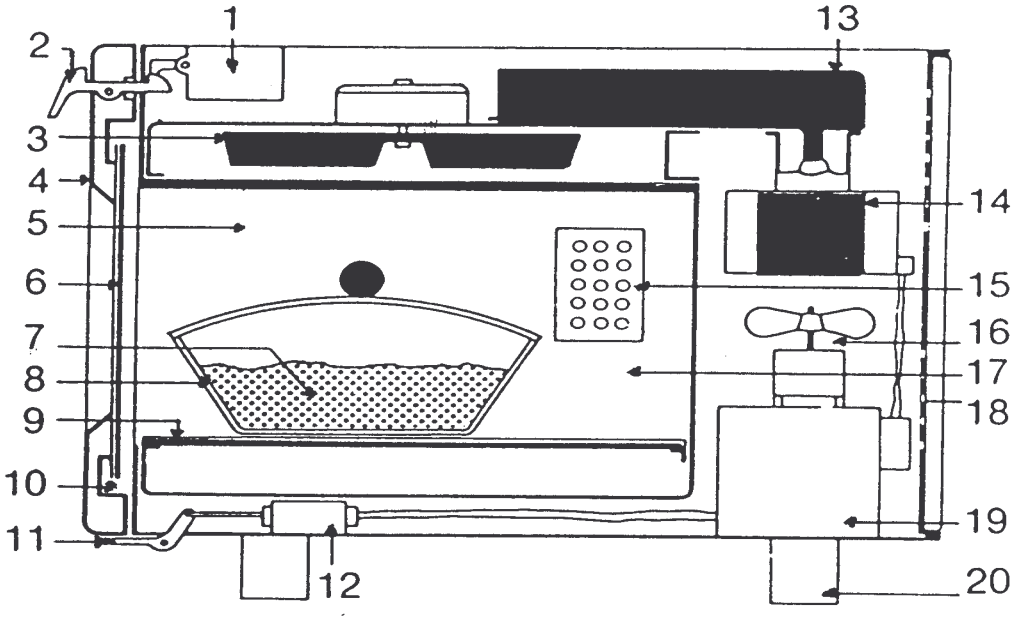
La rapidité de l'échauffement par les micro-ondes permet de satisfaire pleinement à la réglementation sur la remise en température des plats cuisinés à l'avance.

Remarque : **cuisson de la viande aux micro-ondes**
Lorsque l'on cuit un rôti dans un four à convection, la température est de l'ordre de 170 °C. La chaleur se transmet par conduction de la périphérie vers le centre de la viande. La température à coeur ne dépasse alors guère 70 à 80 °C.
Les muscles contiennent un pigment, la MYOGLOBINE.
➔ à 170 °C, la myoglobine est dénaturée et brunit; la couleur, l'arôme et le goût de la viande changent en surface.
➔ vers 70 à 80 °C, la myoglobine se transforme en OXYMYOGLOBINE de couleur rouge vif (au centre du rôti).
Dans une enceinte à micro-ondes, c'est l'eau de constitution qui en absorbant les ondes provoque l'élévation de température de la viande. Sa température de surface (et interne) ne dépasse pas 100 °C. La viande ne brunit jamais en surface, sa teinte est pratiquement homogène.
Les graisses absorbent en partie les micro-ondes qui élèvent surtout leur température de surface. La cuisson des viandes grasses donne un léger dorage.

9.3.4. Description et fonctionnement

Une alimentation électronique fournit, à partir du courant alternatif 220 Volts, un courant continu de haute tension (entre 2 000 et 5 000 Volts) à un émetteur, appelé MAGNETRON, qui produit les ondes. Elles sont véhiculées, sans perte d'énergie, par un GUIDE D'ONDES jusqu'à l'enceinte, où éventuellement après réflexion sur les parois, elles sont absorbées par le récepteur, c'est à dire un aliment à chauffer. La forme et les dimensions de l'enceinte ne sont pas quelconques, il doit y avoir "accord" entre les différentes parties de l'appareil. Un agitateur, ou brasseur d'ondes, en forme d'hélice, favorise la répartition des champs dans l'enceinte et minimise les retours vers le magnétron.
Le magnétron a un rendement de 50 à 60 % et l'énergie perdue l'échauffe considérablement. Il doit donc être refroidi par un ventilateur muni d'une prise d'air et d'un filtre, à l'arrière de l'appareil. Un thermostat de sécurité coupe l'alimentation en cas de surchauffe.

Enceintes à micro - ondes, schéma



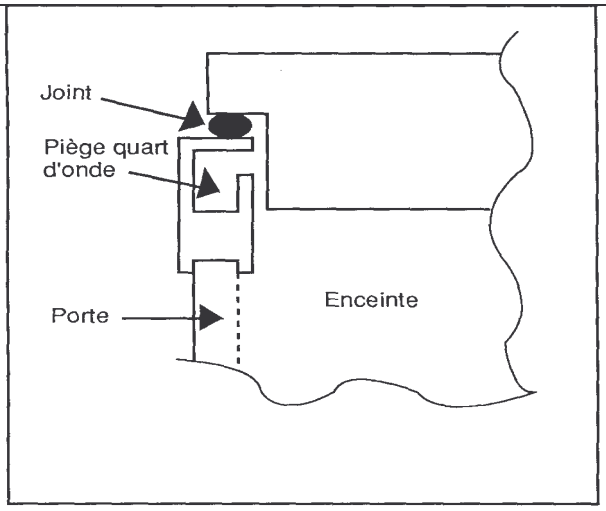
1 - contacteur de sécurité
2 - verrouillage de la porte
3 - agitateur d'ondes
4 - porte
5 - plafond de la cavité
6 - tôle perforée
7 - aliment
8 - plat
9 - plancher de la cavité
10 - piège à ondes
11 - charnière
12 - contacteur de sécurité
13 - guide d'ondes
14 - magnétron
15 - grille d'éclairage
16 - ventilateur de refroidissement
17 - cavité
18 - ouïes de ventilation
19 - électronique
20 - pied

9.3.5. Sécurité

Les micro-ondes transportant une énergie élevée peuvent provoquer des brûlures (comme le rayonnement solaire). Mais le risque est d'autant plus grave que les micro-ondes pénètrent à l'intérieur des tissus (remplis d'eau), et occasionnent alors des brûlures internes très dangereuses. L'organe le plus exposé est l'œil : possibilité de très graves brûlures de la rétine.

Le flux des fuites de micro-ondes ne doit jamais dépasser 50 W/m² (ou 5 mW/cm²) à une distance de 5 cm de l'appareil :

- les tôles d'acier de l'enceinte sont parfaitement étanches.
- la porte est munie de joints conçus pour s'opposer au passage des micro-ondes : **piège quart d'onde** .
- le hublot vitré de la porte est rendu étanche par une grille intérieure métallique dont chaque trou ne dépasse pas 3 mm, diamètre que les micro-ondes ne peuvent pas franchir.
- l'appareil ne peut fonctionner que si la porte est parfaitement verrouillée.
- il faut s'assurer régulièrement que la porte n'est pas faussée et que ses verrouillages fonctionnent bien.



L'espace compris entre la façade et la porte constitue un petit guide d'ondes qui est complété par le « piège quart d'ondes ». Les ondes qui entrent dans ce piège sont réfléchies. Ce système est complété par un joint en « caoutchouc ferrite » qui absorbe les fuites résiduelles.

9.3.6. Caractéristiques

- **Puissance restituée** : c'est la puissance calorifique absorbée par l'aliment.
  - appareils domestiques : 400 à 1 000 W
  - appareils professionnels : 1 000 à 6 000 W
- **Puissance nominale** : c'est la puissance électrique absorbée par l'appareil, soit environ le double de la puissance restituée.
- **Rendement** de l'appareil : toujours, donc, autour de 50 % .
- intérieur en acier inox, en acier laqué, ou en matière plastique, dont les dimensions doivent permettre l'utilisation de matériel Gastronorme, en gamme professionnelle.

9.3.7. Régulation et programmation

- Réglage de la puissance par sélecteur :
  - soit faisant varier la puissance (par exemple: 15 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de la puissance maximale .
  - soit déterminant un fonctionnement séquentiel d'une puissance unique : les différents temps de fonctionnement et de relaxation permettent d'obtenir une gamme d'allures de 10 % à 100 % de la puissance totale.
- réglage de la durée de chauffe par minuteur.
- certains appareils disposent d'une sonde pour contrôler la température à coeur du produit et éventuellement asservir le fonctionnement de l'appareil (arrêt à la température désirée).
- certains appareils disposent d'un programmateur qui permet d'enchaîner des opérations différentes (décongélation - cuisson, montée en température - mijotage) ou d'un microprocesseur qui programme, à partir d'indications (nature, masse, température et état initial de la denrée), les allures, les temps d'exposition et de repos.

9.3.8. Précautions d'utilisation

9.3.8.1. Les aliments

Les produits doivent être fragmentés et en petite quantité.

L'eau est chauffée par les micro-ondes si rapidement que la production de vapeur peut être un problème :

- un oeuf cuit dans sa coquille explose.
- il faut ménager des ouvertures dans les récipients fermés pour laisser échapper la vapeur : inciser les sacs plastiques, percer les films plastiques, le papier sulfurisé...
- Il faut piquer les aliments sous peau pour qu'ils n'éclatent pas (tomates, pommes de terre, saucisses, pommes, aubergines, et même jaunes d'œuf...).

Certains produits sont très difficiles à cuire aux micro-ondes en raison de temps de cuisson très courts, du contrôle difficile de la température, d'une maîtrise délicate de l'excès de cuisson, d'une composition en eau inadaptée...(œufs,

préparation à base d'œufs, de crème fraîche, émulsions, rognons, coquillages, escargots, champignons, pâtisseries … etc.). Les recettes doivent être adaptées à ce mode de cuisson.

9.3.8.2. Les récipients culinaires

Ils doivent être en matière transparente aux micro-ondes :

- ⇨ le verre, les matériaux vitrifiés conviennent bien.
- ⇨ les matières plastiques doivent être testées avec minutie : la température atteinte par conduction avoisine 100°C, or elles ne doivent ni fondre, ni se déformer, ni se ramollir.
- ⇨ les barquettes de carton recouvert de polyéthylène basse densité, de polypropylène ou de polyester sont très utilisées.
- ⇨ la porcelaine, la faïence, la terre cuite absorbent légèrement les micro-ondes mais peuvent convenir. Mais parfois l'émail, renfermant des sels métalliques, absorbe les micro - onde et la vaisselle devient brûlante et dangereuse.
- ⇨ ne pas utiliser de bois qui se dessèche et se fend, ni d'objets collés qui se décollent (par échauffement de la colle).
- ⇨ le métal est normalement proscrit : Il réfléchit les ondes, forme écran qui empêche la cuisson des aliments et risque de renvoyer suffisamment d'énergie vers le magnétron pour le détruire. D'autre part le métal est conducteur de l'électricité et il peut jaillir, entre celui-ci et les parois ou le fond de l'enceinte, des étincelles, voire un arc électrique suffisamment puissant pour percer le métal des parois ou faire fondre le joint de la porte. Mêmes les liens métalliques des sacs-congélation, les vaisselles à liseré doré, à décor métallique, le papier aluminium sont à éviter.

Toutefois les barquettes métalliques sont utilisables à condition :

- d'en retirer impérativement le couvercle s'il est métallique.
- de ne pas dépasser 3 à 4 cm de haut maximum : les micro-ondes ne pénètrent alors dans l'aliment que par le dessus.
- de les placer au centre du four pour éviter les arcs électriques.

- ⇨ le plat brunisseur ou à dorer est en vitrocéramique chargée de sels métalliques qui accumulent de la chaleur si le plat est préchauffé avant d'y mettre l'aliment. Cela permet de saisir celui-ci et de produire l'effet de dorage.

9.3.8.3. Le réglage de l'appareil

En cas de plusieurs allures disponibles, la plus faible (modération de la puissance ou fonctionnement par intermittence) doit obligatoirement être utilisée pour les décongélations et pour la cuisson d'aliments épais ou de masse importante.
Il faut séparer la phase de décongélation de la phase de cuisson (allure différente).
Les temps de cuisson doivent être estimés au plus court.
Il faut fractionner ces temps, ce qui permet de mélanger, retourner, déplacer les aliments dans l'enceinte et prévoir en fin de réchauffement un temps de repos d'autant plus important que la masse de produit est grande.
NE JAMAIS PRECHAUFFER L'ENCEINTE A VIDE !
Ne pas l'implanter près d'une source de chaleur afin de ne pas gêner le refroidissement du magnétron.

9.3.8.4. Entretien

- ◆ Les parois chargées de réfléchir les ondes doivent être maintenues en parfait état de propreté (éponge + eau chaude).
- ◆ Le filtre doit être périodiquement vérifié.
- ◆ Ne jamais démonter une partie quelconque de l'appareil.

9.3.9. Avantages de l'enceinte à micro-ondes

- ➔ grande rapidité d'échauffement, gain de temps important.
- ➔ économie d'énergie, absence de perte de chaleur par les parois, dans l'atmosphère ou lors de l'ouverture de la porte : seul l'aliment absorbe l'énergie des ondes. Mais si le rendement de la transformation d'énergie rayonnante en chaleur est exceptionnel, ce qui est mis en avant par les constructeurs, celui de la transformation en amont de l'énergie électrique en énergie rayonnante est de l'ordre de 50 % . Or c'est le rendement global de l'appareil qui intéresse l'utilisateur.
- ➔ excellente qualité des produits obtenus : les arômes et les vitamines sont préservés, le mode de cuisson ne nécessite pas d'adjonction d'eau en quantité ou de matières grasses.
- ➔ respect des règles d'hygiène.
- ➔ grande souplesse et simplicité d'utilisation, plats aisément manipulables, salissures très faibles, entretien facile, économie de vaisselle, pas de surchauffe du local: les conditions de travail sont améliorées.

Les récipients

Les matériaux doivent de plus être sélectionnés en fonction de leur comportement à la chaleur comme pour tous les autres procédés de cuisson. Ainsi un récipient bon pour micro-ondes peut être :

— à usage restreint, pour les températures en dessous du point d'ébullition de l'eau. C'est le cas en décongélation et en remise en température ;

— à usage limité, pour la cuisson d'aliments dont la température n'excédera pas 120° C ;

— à usage large, pour la cuisson de graisses, de sucres (150 à 180° C) ;

— à usage haute température, pour supporter un dorage par infrarouge, par exemple.

Comportement des matériaux culinaires usuels

Verres et matériaux vitrifiés

Ces matériaux transparents ou partiellement transparents aux micro-ondes résistent bien aux fortes températures lors des cuissons de graisses et de sucres. Certains peuvent être placés sous un gril aussi bien que supporter des températures négatives. Ils peuvent de plus être servis à table et s'accommodent très bien du lavage en lave-vaisselle. Certains récipients bien adaptés portent une mention « bon pour micro-ondes ».

Ne pas utiliser les ustensiles ou plats comportant des bagues ou des décors à base métallique, filets ou motifs.

Cependant certains plats, généralement en vitrocéramique, sont intentionnellement chargés de micrograins métalliques (oxyde d'étain, ferrites). Sous cette forme ils absorbent l'énergie [illegible] Ils restituent cette chaleur à l'aliment pour le dorage par contact : ce sont les plats brunisseurs ou « à dorer ».

Poterie en terre cuite

Ce matériau est plus ou moins transparent suivant sa composition et son épaisseur. Les récipients en poterie et terre cuite sont généralement émaillés ou vernis et la tenue aux micro-ondes de ces revêtements est variable. Les poteries non émaillées sont souvent poreuses ; elles deviennent absorbantes lorsqu'elles retiennent des liquides ou des graisses et échauffent alors au détriment de l'aliment. En dépit de ces réserves, les récipients en terre cuite sont utilisables pour un usage limité (inférieur à 120° C).

Les terrines à pâtés, pratiques à cause de leur forme et de leur couvercle non étanche, supportent des températures nettement plus élevées.

Porcelaine et faïence de table

Ces matériaux sont également plus ou moins transparents selon leur composition et leur épaisseur (à noter que les décors à base de métal sont à proscrire : ils se dégradent).

Ils sont appréciés pour réchauffer directement dans l'assiette : celle-ci chauffée en même temps que l'aliment le maintient à bonne température.

Papier, carton

Il s'agit souvent de matériaux combustibles, on limitera donc leur utilisation à la remise en température de consommation des plats. Le papier sulfurisé peut servir néanmoins à des cuissons, en papillotes, de poissons, pommes de terre... Les matériaux paraffinés pour les rendre imperméables ne supportent pas de hautes températures.

Les plats en carton peuvent également être enduits de matière plastique alimentaire (polyéthylène, propylène, polyester...). Ce sont des « complexes », étanches aux graisses et résistant aux températures négatives de congélation et aux températures positives dans la limite de la température de fusion du plastique utilisé.

Autre utilisation du papier, la serviette en « non tissé » cellulosique que l'on dépose dans l'enceinte afin d'absorber l'humidité excessive dégagée par certains aliments soumis aux micro-ondes, par exemple dans le cas de réchauffage de croissants, pizzas... Il est alors placé sous, ou autour de l'aliment.

Bois, osier, bambou, paille

Ce sont des matériaux généralement secs, plus ou moins absorbants, qui risquent de se détériorer par dessiccation brutale. Ils peuvent être utilisés pour des réchauffages de très courte durée.

Matières plastiques

Devant la diversité des matières plastiques de qualité alimentaire à la disposition des utisateurs sous forme de boîtes rigides, semi-rigides, sacs, films, etc., il importe d'effectuer, avant tout usage, le « test de transparence ». Si le matériau reste froid, il n'a subi aucune transformation et peut être utilisé pour la décongélation, le réchauffage, et éventuellement certaines cuissons.

A noter que souvent les couvercles ne sont pas de même nature que les récipients, et doivent être également soumis au « test ».

Les sacs en polyéthylène, servant couramment à la congélation, peuvent permettre la décongélation sans transfert dans d'autres récipients. Il suffit d'enlever le lien métallique.

Tous les matériaux qui s'échauffent, se déforment, se ramollissent, sont à exclure. Certaines matières plastiques résistantes à la chaleur prennent une pigmentation au contact des graisses cuites, tomates, caramel... ce qui en limite l'usage.

La constante recherche effectuée dans l'industrie des matières plastiques permet d'envisager le développement sur le marché de matériaux de composition et de formes tout à fait adaptés à l'usage en micro-ondes : poêles, casseroles, plats, moules, supports, etc.

Généralement, toute utilisation d'ustensiles métalliques ou comportant des parties métalliques est à proscrire, car le métal réfléchit les ondes et risque de les renvoyer vers le magnétron et de le détériorer. Il faut donc éliminer les barquettes en aluminium, les brochettes métalliques, les thermomètres de contrôle. Cependant pour ralentir la cuisson sur certaines parties d'aliments de forme irrégulière (os de gigot, pattes de poulet...) une protection en papier d'aluminium est possible, en veillant à laisser le métal éloigné de toute paroi pour ne pas provoquer d'arc électrique.

Certains appareils sur le marché tolèrent le métal ; dans ce cas, le constructeur l'indique expressément. C'est ainsi qu'il existe des enceintes comportant des grilles, des sondes métalliques permettant le contrôle automatique des cuissons. Ils permettent aussi l'utilisation de brochettes, en particulier si la masse de l'aliment est plus importante que la masse métallique. Les barquettes métalliques recouvertes de matériaux « transparents » et non d'une feuille de métal peuvent être également utilisées, mais il faut signaler que leur emploi modifie la répartition des ondes et ne favorise pas l'homogénéité des températures.

Les formes des récipients

Pour faciliter la pénétration des ondes d'une manière homogène dans les aliments, certaines formes de récipients sont plus appropriées que d'autres. L'idéal est le plat circulaire, ou mieux annulaire (exemple moule à savarin), la partie centrale étant relativement défavorisée dans la répartition des ondes.

Ajuster au mieux les dimensions du plat au volume d'aliment à traiter : un plat trop important s'échaufferait au détriment de l'aliment. Préférer les récipients peu profonds, à bords verticaux plutôt qu'évasés, aux angles arrondis, à fond incurvé. Parmi les récipients couramment utilisés en cuisine traditionnelle, une sélection est fonc à faire.

La méthode de travail

Tous les conseils donnés ci-après ont pour but de favoriser la pénétration des ondes d'une manière homogène dans les aliments, et donc d'optimiser les résultats culinaires.

Disposer les aliments en faible épaisseur.
Il est utile de prévoir cette disposition avant la congélation, au moment du conditionnement.

Si l'aliment est de forme irrégulière, protéger les parties minces, ou absorbant davantage la chaleur comme les os, par de la feuille d'aluminium. Si possible désosser la viande.

Disposer les grandes pièces, épaisses et fermes vers le bord du plat,
les morceaux tendres et minces ou avec os au centre.

Surélever les pièces à rôtir,
et les pâtes (pizzas, pâtés...), afin qu'elles ne chauffent pas dans les graisses ni le jus. Il existe des grilles non métalliques qui s'adaptent aux plats de cuisson. A défaut, on peut utiliser une

Document :

SALMONELLE ET MICRO-ONDES

DANGER ?

Fin août, la presse AFP indiquait que le four micro-ondes était suspecté par les Britanniques d'être à l'origine d'empoisonnements alimentaires. On le sait, Outre-Manche, de graves problèmes d'intoxications alimentaires subsistent, en particulier avec les œufs dont les Anglais sont grands consommateurs. Le germe mis en cause est de la famille des salmonelles (salmonella enteridis), parasite du tube digestif, éliminé par l'urine et les selles et qui peut survivre dans le milieu extérieur. Ce germe peut se propager soit par une contagion (mains sales), soit par contagion indirecte (eau ou aliments souillés).

Cette bactérie a besoin pour être détruite d'une température de 70 °C pendant quelques minutes, d'où les accusations à l'encontre des fours micro-ondes qui n'atteignent pas forcément ce niveau de température.

Lors de nos essais, nous avons effectué des relevés de température et l'on peut constater en effet que la température finale oscille entre 50 °C et 65 °C pour la cuisson d'un poisson de 800 g. En ce qui concerne le réchauffage d'un plat cuisiné congelé la fourchette de température est encore plus grande ; elle est fonction notamment de la bonne répartition des ondes et de la sensibilité des divers constituants du plat à l'action des micro-ondes (tous les aliments ne s'échauffent pas à la même vitesse sous l'action des micro-ondes). Le réchauffage d'un plat riche en eau, comme la soupe de légumes de notre essai permet d'atteindre des températures supérieures à 70 °C, et l'utilisateur devra attendre le refroidissement du plat pour le consommer.

On le voit dans ces exemples, le four micro-ondes ne peut garantir à tous les coups une destruction totale des germes pathogènes. Mais ceci étant dit, le four micro-ondes n'a pas pour fonction la stérilisation des aliments qui au demeurant devraient être exempts de toutes bactéries nocives.

La responsabilité repose sur le fabricant de denrées alimentaires et sur le bon respect de la chaîne du froid, les différents intervenants étant contrôlés par les services vétérinaires. Lorsqu'il y a un doute sur la fraîcheur ou la qualité microbiologique d'un produit, il est conseillé de le jeter ou d'effecter une surcuisson dans un four traditionnel (avec les micro-ondes, la surcuisson entraîne un dessèchement trop important de l'aliment qui devient inconsommable). Le consommateur doit aussi être vigilant et respecter les règles d'hygiène élémentaires lorsqu'il manipule ou conserve des denrées.

221/OCTOBRE 89 50 MILLIONS DE CONSOMMATEURS

TOUT N'EST PAS TOUJOURS FACILE

MULTI CUISSON
(Que choisir Jv.90)

La cuisson multiple, a priori, c'est le rêve. Mais elle ne va pas non plus sans problème. Comme dans tout four à micro-ondes, il est difficile d'évaluer correctement le temps nécessaire. Il ne dépend pas seulement du poids, comme en cuisson traditionnelle, mais aussi de la forme, de l'épaisseur, de la densité des produits... Pour vous faciliter la tâche, certains fabricants offrent une possibilité de cuisson automatique en fonction du poids. Elle ne résoud que partiellement le problème et, même ainsi, les tâtonnements sont inévitables. Face aux multiples possibilités des combinés, l'utilisateur a de bonnes raisons d'être perplexe. Est-il préférable d'enchaîner les cuissons (et dans quel ordre ?) ou de les associer, faut-il privilégier la chaleur tournante, la convection classique, ou le gril ? Chaque recette peut devenir un casse-tête ! Mieux vaut faire plusieurs essais, se donner une marge d'erreur et s'habituer progressivement au maniement de ces appareils complexes.

Les combinés privent en outre les utilisateurs de fonctions annexes du micro-ondes qu'apprécient les cuisinières un peu expérimentées : préparer une réduction à l'échalote pendant que le rôti cuit, faire ramollir un beurre trop froid ou gonfler des pruneaux secs...

Ils ne permettent pas non plus de bénéficier de tous les avantages des autres types de cuisson. La chaleur tournante, par exemple, est la championne des cuissons simultanées : le gâteau en même temps que le rôti, plusieurs tartes superposées... cela reste possible dans les combinés, mais leur volume réduit limite les possibilités. ■

MICRO_ONDES

EXEMPLES DE CUISSON

aliment	poids	temps	consomm.
poulet en morceaux	800 g	15 mn	380 W h
filets de sole	300 g	6 mn	140 W h
haricots verts	500 g	10 mn	230 W h

EXEMPLES DE DECONGELATION

aliment	poids	temps	consomm.
rôti de bœuf	1 kg	15 mn	150 W h
filets de sole	300 g	4 mn	50 W h
framboises	250 g	2 mn	30 W h

Document : Les ondes électromagnétiques

ENSEMBLE DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES
classées par ordre d'énergie transportée croissante

	Longueur d'onde	Fréquence	Dénomination	Utilisations principales
	10 000 km 1 000 km 100 km	30 Hz 300 Hz 3 kHz	Ondes à fréquences industrielles et acoustiques	téléphonie transmissons sous-marines
induction →	10 km	30 kHz	**Très basses fréquences**	**chauffage induction** radio-navigation
	1 km	300 kHz	Basses fréquences Longues ondes (L.O.)	radio-diffusion (L.O.) radio-navigation
	100 m	3 MHz	Moyennes fréquences	radio-diffusion (O.M.) radio-navigation
	10 m	30 MHz	Ondes décamétriques Hautes fréquences (H.F.)	radio-diffusion
	1 m	300 MHz	Ondes métriques	télévision Modulation de fréquence
micro-ondes →	**12 cm** 10 cm 1 cm	**2 450 MHz** 3 GHz 30 GHz	Micro-ondes	télévision-radar, télécommunications, **fours, chauffage** radar, maser
infrarouge →	1 mm 100 µm 10 µm 1 µm	300 GHz 3 000 GHz 3.10^{13} Hz 3.10^{14} Hz	Rayonnement Infrarouge	**chauffage-fours** laser photographie infrarouge
	100 nm	3.10^{15} Hz	Rayons visibles: rouge, orange, ⋮, violet	vision
	10 nm	3.10^{16} Hz	Rayons ultra-violets	analyse chimique photographie U.V.
	1 nm ⋮ 0,001 nm	3.10^{17} Hz ⋮ 3.10^{20} Hz	Rayons x	radioscopie radiothérapie industrie
		3.10^{23} Hz	Rayons γ rayons γ cosmiques	thérapie recherches

10. CUISEUR VAPEUR

10.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Il repose sur le changement d'état eau/vapeur et la valeur élevée de la chaleur massique de vaporisation de l'eau.

Rappel : A 100 °C, sous pression normale (760 mm de mercure = 1 atmosphère = 1,013 25 bar = 101 325 Pascals), 1 kg d'eau liquide se vaporise en absorbant 2 257 kJ. Inversement, 1 kg de vapeur d'eau revient à l'état liquide (on dit qu'il se condense) en dégageant 2 257 kJ. Si on augmente la pression, la température d'ébullition de l'eau s'élève.

Dans un cuiseur-vapeur, la vapeur d'eau produite circule par convection; elle se condense au contact des aliments plus froid qu'elle, en leur cédant sa chaleur de vaporisation, qui constitue l'essentiel de la chaleur de cuisson des aliments.

10.2. DEFINITION

Le cuiseur-vapeur est une enceinte étanche, calorifugée, en acier inoxydable ou en aluminium de forte épaisseur. Les aliments y sont disposés dans des récipients souvent perforés. La chaleur est transmise aux aliments par contact avec la vapeur d'eau produite par un générateur de vapeur, à partir d'une petite quantité d'eau portée à ébullition.

10.3. TYPES D'APPAREILS

10.3.1.Cuiseur à vapeur humide (ou fluente) sans surpression

De l'eau est portée à ébullition dans la partie inférieure de la chambre de cuisson. La pression dans l'appareil est la pression atmosphérique (voisine de 1 bar, l'eau bout alors à environ 100°C). La vapeur d'eau est à une température d'environ 100°C et on est donc en présence d'un mélange d'eau liquide et de vapeur saturée (pour cuissons délicates et produits fragiles, maintien au chaud, remise en température des plats cuisinés).

10.3.2.Cuiseur à vapeur sèche (ou surchauffée) sous pression

10.3.2.1. Principe

Un générateur autonome produit de la vapeur surchauffée. Cette vapeur, portée à une température supérieure à son point de vaporisation, est une vapeur sèche qui ne contient pas de gouttelettes d'eau en suspension.

La vapeur, injectée dans la chambre de cuisson, y provoque une surpression. Au contact des aliments, elle se condense, en leur donnant sa chaleur de vaporisation, à des températures supérieures à 100 °C puisque la pression dans la chambre de cuisson est supérieure à la pression atmosphérique normale : on atteint donc des températures de cuisson plus élevées (supérieures à 100 °C) et les temps de cuisson en sont d'autant diminués.

Pression en bar	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3
température du changement d'état eau/vapeur en °C	100	105	109	113	117	120	138

10.3.2.2. Cuiseur vapeur basse pression

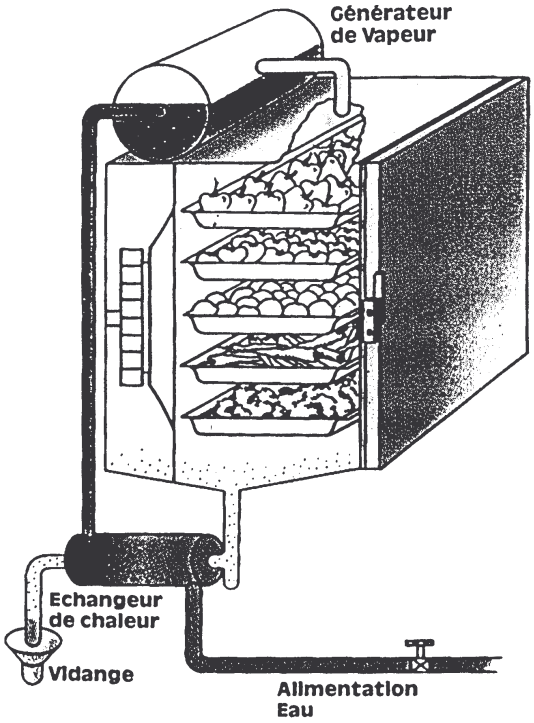
La pression de la vapeur est comprise entre 0,3 et 0,5 bar et donc la pression dans l'appareil est environ 1,3 à 1,5 bars.
ATTENTION: ne pas confondre la pression de vapeur, que le manomètre de l'appareil mesure, et la pression dans l'appareil (pression atmosphérique + pression de vapeur)
La température de la vapeur atteint 105 à 110 °C (pour des produits compacts ou de gros et moyens calibres : pains d'épinards surgelés, pommes de terre entières, œufs, etc.).

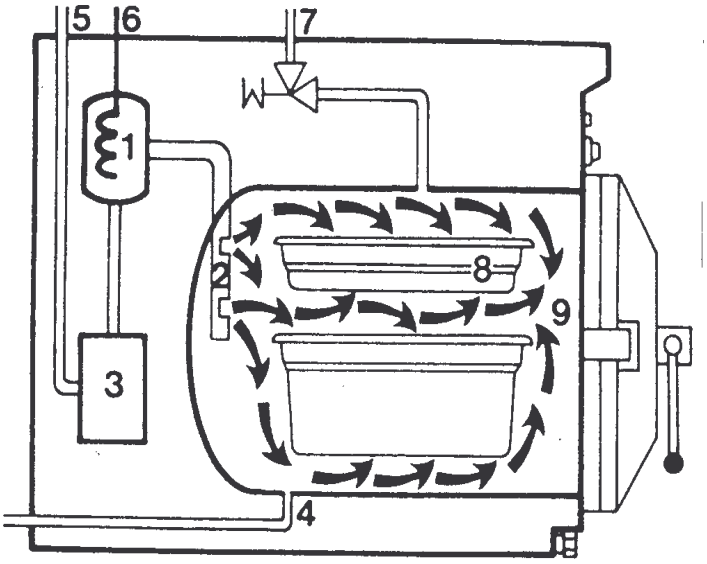
10.3.2.3. Cuiseurs vapeur haute pression

la pression est de 2 à 3 bars dans l'appareil, la pression de la vapeur utilisée est de 1 à 2 bars.
La température atteint environ 120 à 140 °C (pour des produits de petits calibres devant être décongelés ou / et cuits rapidement : jardinière de légumes, petits pois, etc.)

Certains appareils offrent la possibilité de choisir la pression de vapeur et donc la température de cuisson. Plus la pression est élevée, plus la durée de cuisson est courte.
Plus le calibre de l'aliment est petit, plus sa surface qui subit la pression est petite, et donc **plus il peut supporter une pression élevée**.

Cuiseurs vapeur





1 Générateur de vapeur. 2 Amenée de vapeur. 3 Adoucisseur d'eau. 4 Ecoulement de l'eau de condensation. 5 Prise d'eau. 6 Prise de courant. 7 Soupape de sûreté. 8 Récipients GN. 9 Chambre de cuisson.

10.4. CARACTERISTIQUES

- Puissances de 3 à 60 kW.
- Capacités de 10 à 500 l.
- temps de montée en température du générateur : de 1 à 4 min.
- l'eau dans le générateur de vapeur est chauffée soit par des résistances blindées immergées, soit par un brûleur à gaz à air soufflé.
- cette eau est le plus souvent traitée auparavant dans un adoucisseur incorporé.
- l'alimentation en eau est manuelle ou automatique.
- paniers et tiroirs sont aux dimensions gastronormes.
- une douchette permet le nettoyage du compartiment et l'arrêt de la cuisson des produits par aspersion dès leur sortie.

10.5. REGULATION, PROGRAMMATION

➔ l'automatisation du fonctionnement est assurée par minuteur ou programmateur, en particulier une phase de décompression doit être programmée en fin de cuisson.

➔ la température à cœur du produit peut être relevée et affichée numériquement (la programmation du fonctionnement peut éventuellement y être asservie).

10.6. SECURITE

- un pressostat contrôle la pression de la vapeur,
- une soupape de sécurité libère l'excès de vapeur,
- une sécurité arrête le chauffage en cas de manque d'eau,
- l'ouverture de la porte ne peut se faire que si le compartiment n'est pas sous pression,
- une sécurité interdit le fonctionnement si la porte n'est pas parfaitement verrouillée.

10.7. AVANTAGES DU CUISEUR VAPEUR

⇨ temps de cuisson très courts (divisés par 3 ou 4),

⇨ inertie très faible : la quantité d'eau à vaporiser est petite,

- ⇨ économies d'eau et d'énergie (par rapport à une marmite à bain-marie à eau, la consommation d'énergie est divisée par quatre),
- ⇨ perte en masse réduite des produits,
- ⇨ le mode de cuisson préserve les qualités organoleptiques des aliments : couleur, saveur, goût, texture, et leurs qualités nutritionnelles : pas de pertes par dissolution et diffusion des sels minéraux, des vitamines, des glucides et des protides, très peu d'oxydation des vitamines.
- ⇨ utilisation recommandée pour les produits fragiles,
- ⇨ mise en fonctionnement rapide, emploi facile, nettoyage aisé.

10.8. ENTRETIEN

- ➔ vérifier périodiquement l'équipement de chauffe,
- ➔ vidanger régulièrement la chaudière afin d'éliminer les dépôts qui pourraient diminuer le rendement,
- ➔ veiller à la propreté des joints de la porte, la laisser entrouverte en cas de non - fonctionnement,
- ➔ vérifier les soupapes de sécurité et le verrouillage automatique de la porte,
- ➔ utiliser une eau traitée pour éviter l'entartrage de la chaudière,
- ➔ nettoyage régulier du compartiment cuisson (eau + détergent), rinçage abondant.

10.9. POLYCUISEURS

Ces appareils multifonction (fours mixtes, polycuiseurs, combi-steamers, tunnel multi-énergie...) combinent

- cuisson à la vapeur (en ambiance humide: couleur et valeur nutritionnelle des aliments préservés, pas de dessèchement, diminution des pertes en masse)
- cuisson à l'air chaud pulsé (en ambiance sèche: coloration de l'aliment, apport de croustillance)
- cuisson aux micro-ondes (à coeur, rapide et homogène)
- cuisson aux infrarouges (dorage superficiel, coloration)

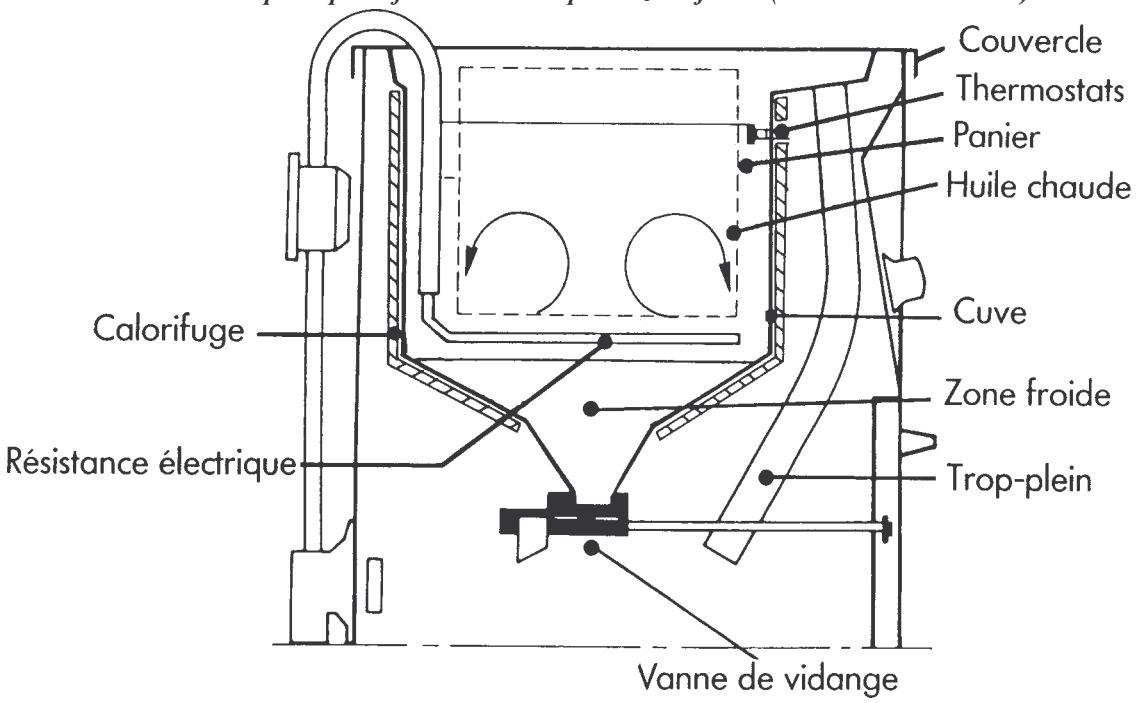
11. FRITEUSES

11.1. FRITEUSES A ZONE FROIDE

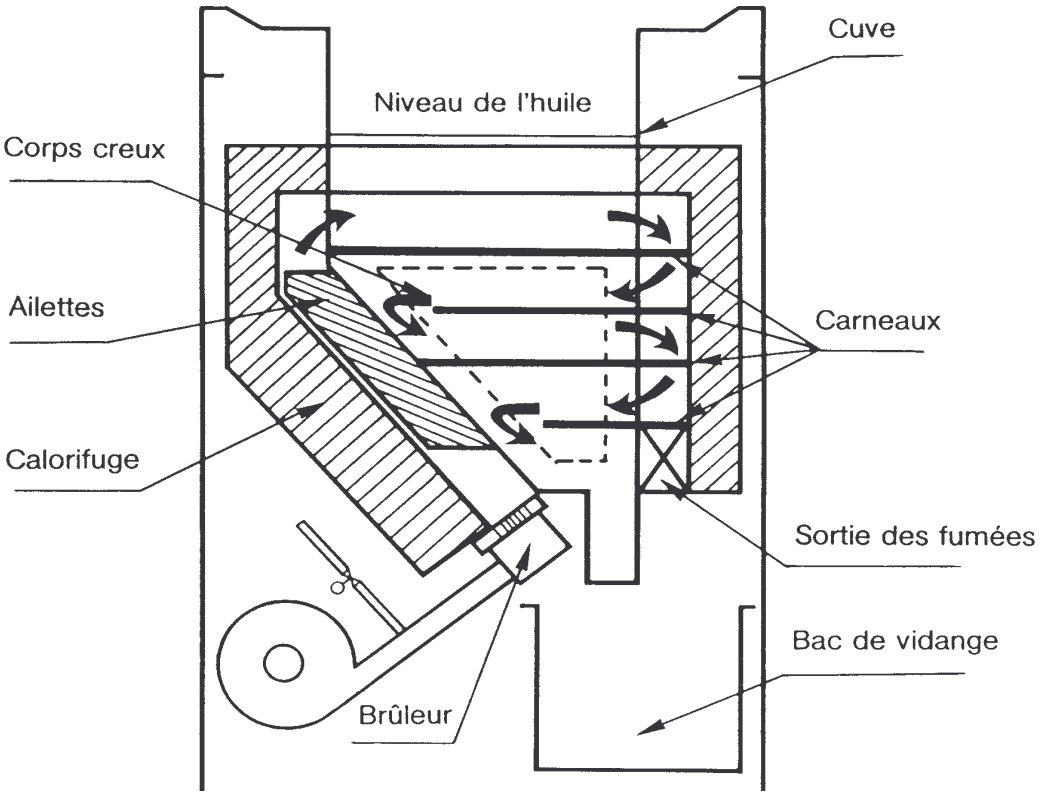
11.1.1. Définition

Les friteuses sont des cuves contenant et chauffant un bain de matière grasse dans lequel sont cuits les aliments. Les friteuses modernes sont toutes à zone froide : la partie inférieure du bain (1/3 en général) reste à une température inférieure d'au moins 60 °C à la température du bain. Les particules qui s'échappent des aliments pendant la cuisson viennent se déposer dans cette zone froide sans être décomposés ou carbonisés par des cuissons répétées et sans altérer la qualité de l'huile. Les équipements de chauffe sont situés au-dessus de la zone froide.

Schémas de principe de friteuses électriques à zone froide (source : EDF - GDF)



Schémas de principe de friteuses à gaz à zone froide (source : EDF - GDF)



11.1.2. Caractéristiques

- la puissance doit être suffisante pour permettre une montée en température (et surtout une remontée en température entre deux charges) très rapide: de 20 °C à 180 °C en environ 8 minutes, mais sans risque d'altération des huiles.
- capacité utile : de 5 à 100 l. C'est le volume de matière grasse utile pour la cuisson, il faut y ajouter le volume de la zone froide : la capacité totale peut aller jusqu'à 150 l. En général, on compte 0,5 à 0,75 l de capacité utile par repas servi.
- puissance moyenne : de 0,7 à 1 kW par litre d'huile utile, soit une gamme de 3 à 60 kW.
- performances de la friteuse, elles sont caractérisées par :
  - sa production horaire en kg de produit par heure ou en nombre de portion par heure,
  - sa consommation spécifique en kW.h par kg de produit,
  - sa production spécifique en kg de produit par kW.h consommé.
- température de la zone froide : environ de 50 à 100 °C.
- un système permet la vidange et la filtration de l'huile.
- matériaux : acier inoxydable, angles arrondis, calorifugeage rigoureux, isolation maximale.

11.1.3. Régulation, programmation

- régulation par thermostat gradué en degrés Celsius : 110 à 220 °C,
- un limiteur de température (2ème thermostat) stoppe le chauffage en cas de dysfonctionnement du thermostat réglable, avant d'atteindre la température critique de l'huile et évite toute dégradation du bain et tout risque d'incendie.
- durées de cuisson déterminées par minuteur ou programmateur.
- programme de "fonte" des graisses solides en début de chauffe : la montée en température se fait en séquentiel, ce qui permet aux huiles concrètes de défiger progressivement.

11.1.4. Avantages de la friteuse à zone froide

- économie d'huile :
  - vidange aisée permettant des filtrations fréquentes,
  - faible quantité d'impuretés évitant l'altération du bain,
  - limitation de la température empêchant toute dégradation de l'huile.
- entretien aisé.
- sécurité renforcée : limitation en température, débordements impossibles.

11.1.5. Prévention, sécurité

- les organes de fonctionnement sont protégés des graisses et des débordements.
- les friteuses électriques sont équipées de résistances blindées plongeantes et amovibles.
- la conformité aux normes NF doit être assurée.

La friteuse est un des appareils les plus dangereux :

- ➔ risque de brûlures par éclaboussures,
- ➔ risque d'intoxication alimentaire provoquée par les déchets toxiques produits dans une huile usée ou trop chauffée,
- ➔ risque d'incendie : les vapeurs d'huile trop chaude, les gaz libérés par dégradation de l'huile s'enflamment spontanément.

Ne jamais dépasser 180°C et renouveler régulièrement les bains.

Attention aux projections d'eau dans un bain de friture : l'eau se vaporise violemment et fait jaillir de nombreuses éclaboussures d'huile brûlante.

11.1.6. Entretien

- filtrer l'huile pour éviter coloration et dégradation.
- nettoyer, pour éviter carbonisation et odeurs, la cuve, les paniers, le couvercle (brosse + eau chaude, essuyage).
- nettoyer l'habillage extérieur (récurant doux, non abrasif), NE JAMAIS EMPLOYER LE JET D'EAU !
- nettoyer régulièrement les rampes de brûleurs ou les injecteurs d'une friteuse à gaz.
- de temps en temps, dégraisser la cuve : remplir d'une solution d'eau et de détergent, faire bouillir 30 min, laisser agir 10 à 12 h, vidanger ensuite et rincer plusieurs fois avec une eau très chaude additionnée de vinaigre, sécher soigneusement.
- vérifier et au besoin ré-étalonner les thermostats.

11.2. FRITEUSES SANS BAIN D'HUILE

Il s'agit d'appareils destinés à traiter des frites surgelées précuites adaptées à ces appareils. Ils réalisent la fin de la cuisson, sans huile, grâce au rayonnement émis par une résistance ou un tube à quartz. Les frites disposées dans un plateau revêtu de Téflon qui s'incline et tourne sur lui-même ou bien dans un panier rotatif sont automatiquement retournées et donc cuites uniformément. Ces frites, lors de la précuisson absorberaient environ 7 % de leur masse d'huile, et normalement autant lors du second bain, inutile dans ce cas : on obtiendrait donc des frites deux fois moins grasses (source : constructeurs).

11.3. FRITEUSES A PRESSION

La pression qui règne dans ces appareils est de l'ordre de 1,8 bar (surpression de 0,8 bar). Le point d'ébullition de l'eau des aliments est donc augmenté. Les sucs et le jus sont alors maintenus à l'intérieur du produit, qui devient plus moelleux et plus goûteux. Conservant son jus, le produit absorbe moins d'huile. Moins gras et moins sec, il se conserve plus longtemps en armoire de maintien en température. Ce type de cuisson convent à tout type d'aliment frit (poulet pané, poisson pané, beignets ...) sauf aux frites qui , pour que leur cuisson soit réussie doivent perdre une partie de leur eau.
La pression est régulée par un poids et un orifice calibrés qui doivent être nettoyés tous les jours.
Sécurité :

- vanne de sécurité réglée à 1 bar de surpression (2 bars dans l'appareil)
- le joint du couvercle est conçu pour commencer à fuir à partir d'une surpression de 1,3 bars (2,3 bars dans l'appareil)
- le couvercle ne peut être ouvert par l'utilisateur que si la pression dans l'appareil est en dessous de 1,1 bars (surpression inférieure à 1,1 bar)

11.4. AUTRES APPAREILS DE CUISSON UTILISES EN RESTAURATION COLLECTIVE

11.4.1. Grils ou grilloirs

Ils sont constitués d'une plaque de fonte épaisse, lisse ou rainurée, ou de barreaux rapprochés en fonte, en acier ou acier inox.
Le chauffage gaz est assuré par des brûleurs, composés de plusieurs rampes, destinés à assurer une homogénéité de température de 300 à 400°C.

Le chauffage électrique est assuré soit par des blocs chauffants céramiques portés à incandescence soit par des éléments chauffant incorporés dans les barreaux.
Le transfert de chaleur jusqu'aux denrées se fait par rayonnement et pour certains ont par une part importante de conduction
La régulation se fait par **thermostat** ou **doseur d'énergie** et la sécurité est assurée par un **limiteur de température**.
L'entretien est primordial car, s'ils sont rayés, le client consommera des restes calcinés avec sa préparation. Ces plaques doivent donc être chauffées pour dégrader les matières déposées, puis nettoyées avec un papier absorbant ou un papier sec et propre, éventuellement une brosse non abrasive.

11.4.2. Salamandres

C'est une enceinte ouverte dans laquelle les éléments chauffants sont situés en voûte. Le transfert de chaleur se fait exclusivement par rayonnement.
En énergie gaz, le plafond chauffant est constitué traditionnellement de plaquettes en fonte rainurées, équipées de rampes qui atteignent 800°C à 900°C. Le plafond peut également être un brûleur rayonnant en matériau céramique chauffé au rouge.
En énergie électrique les éléments chauffant peuvent être constitués soit de résistances électriques blindées, soit des tubes à quartz.
La bonne répartition de la chaleur demande souvent des réflecteurs en acier inoxydable.
Cet appareil souple, robuste et peu encombrant, est utilisé pour la finition des plats à dorer, à glacer ou à gratiner ainsi que la cuisson de viandes grasses sans contact avec l'élément chauffant.
Parfois, aussi, on peut poser un plat en attente sur le sommet du plafond chauffant permettant ainsi son maintien en température.
La fonction rayonnante étant primordiale, il importe de maintenir propre et non rayé le plafond et les parois latérales qui assurent le rayonnement. La plaque recueillant la sauce doit évidemment être vidée et maintenue propre.

11.4.3. Rôtissoires

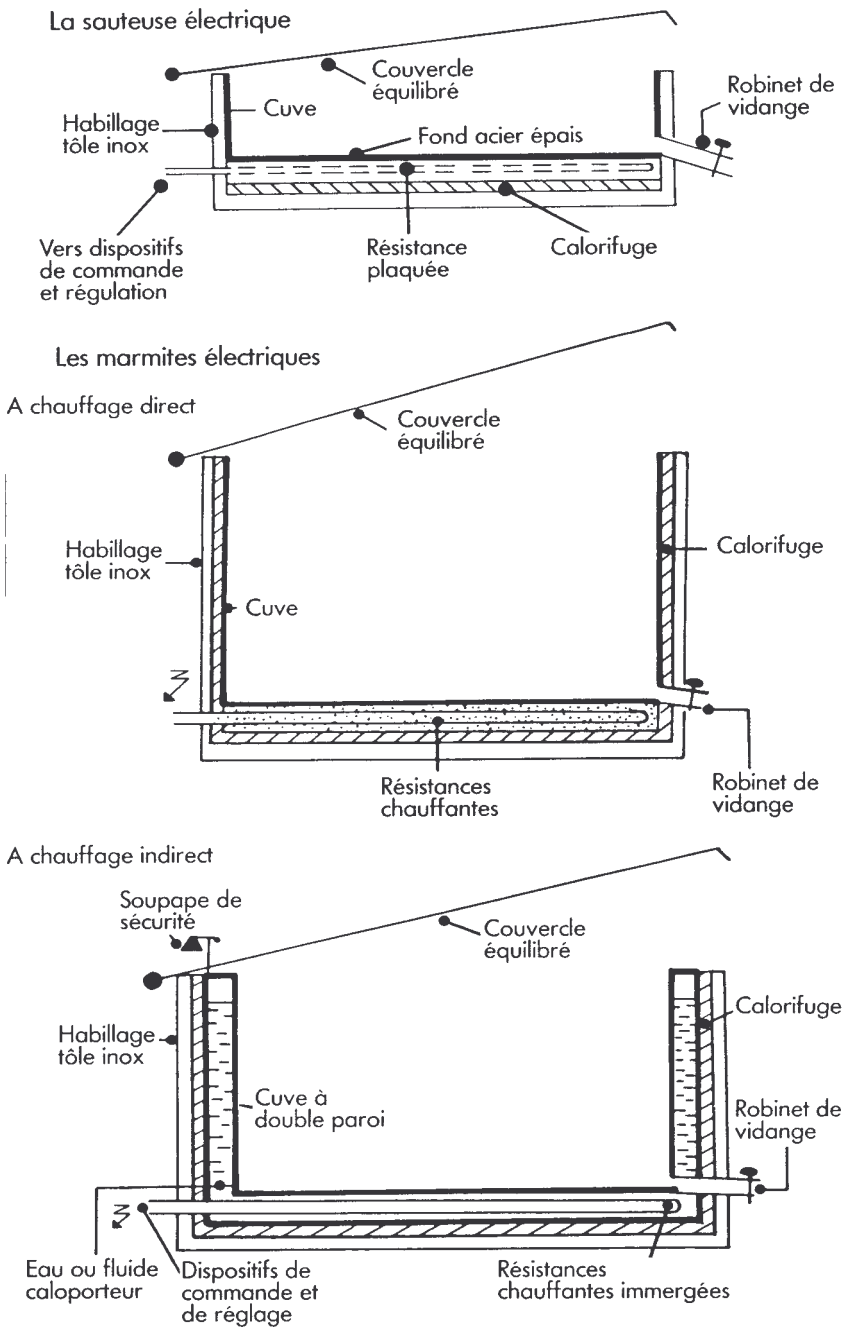
Les aliments à rôtir sont soit disposés sur une ou des broches soit disposés sur des balancelles. Le transfert de chaleur se fait exclusivement par rayonnement.
Les éléments chauffants sont situés soit en partie centrale soit sur la paroi verticale arrière..
En énergie gaz, les matériaux rayonnants sont chauffés par des rampes à gaz.
En énergie électrique, il s'agit le plus souvent de tubes quartz.
C'est le bon entretien et la propreté des réflecteurs qui assurent une bonne répartition des rayons infrarouges.

11.4.4. Sauteuses et marmites

Les **sauteuses** présentent une cuve, fixe ou basculante, d'une profondeur de 20 à 30 cm et servent à la cuisson de nombreux plats (viandes panées, omelettes, légumes). Elles remplacent avantageusement les plaques de cuisson car elles éliminent les récipients et sont souvent ergonomiques.
Leur fond épais est en fonte mais pour des raisons d'entretien, un revêtement inox peut être utile.
Certaines sont alimentées en énergie gaz avec divers types de brûleurs chauffant le fond, les autres sont équipées de résistances électriques blindées.
La régulation se fait par **doseur d'énergie** et la sécurité est assurée par un **limiteur de température** qui limite la température de surface à 220 °C pour éviter la dégradation des corps gras
Leur entretien doit être régulier car des débris d'aliments peuvent brûler. Cet entretien est facilité lorsque la cuve est alimentée en eau chaude et en eau froide et que son système de vidange peut se déverser dans un caniveau relié à la conduite d'évacuation des eaux usées est pratique.

Les **marmites à chauffage direct** sont utilisées pour des cuissons à l'eau. En énergie électrique ce sont des cuves dans lesquelles sont situés des éléments chauffants : résistances blindées ou fils résistants montés sur steatites. En énergie gaz, le brûleur situé sous la cuve chauffe celle-ci directement et par les gaz brûlés chauds qui circulent autour de la cuve avant de s'échapper par la mitre d'évacuation-
Les **marmites à chauffage indirect** ou bain-marie permettent de cuire des aliments qui risquent d'attacher, laitages, purées, sautés. Les résistances ou les brûleurs chauffent une double paroi contenant de l'eau ; en règle générale la température ne dépasse pas 100°C sauf si le couvercle est étanche et muni d'un pressostat ; dans ce cas ces marmites dites à surpression peuvent atteindre 110°C à 0,5 bar.
La gamme de capacité des marmites, fixe ou basculantes, est très étendue (20 à 500 litres).La régulation se fait par **thermostat** ou **doseur d'énergie**. Elles ont en général un réglage fin permettant des mijotages ou des maintiens en température.

Schémas en coupe de sauteuse et marmites électriques (source : EDF)



11.4.5.Appareils multifonctions

Ces **appareils multifonctions** ou appareils combinés ou rotagrill ...etc. permettent tous type de cuisson : sauter, braiser, rissoler, griller, frire, cuire à l'eau, pocher, blanchir ... Le même appareil remplit les fonctions d'une sauteuse, d'une marmite et d'une friteuse et remplace à lui tout seul les appareils de cuisson traditionnels (sauteuse, marmites bain marie, marmites à chauffe directe, friteuses, cuiseurs à pâtes, cuiseurs à sauce.

Associés à des **Polycuiseurs** (fours mixtes air pulsé - vapeur ou tunnels multi - énergie), ils permettent dans une cuisine centrale de produire avec seulement deux types d'appareils une gamme très large de produits, sans suréquipement, , en évitant la sous - utilisation du matériel, et en offrant avec une grande souplesse et adaptabilité.

11.4.6.Appareils de conservation chaude et de remise en température

Ils sont utilisés, de façon à respecter **l'arrêté du 29 septembre 1997**; soit dans le cadre de la **liaison chaude** (maintien en température supérieure à 63°C), soit pour la remise en température rapide (de 10 à 63 ° en moins d'une heure) des aliments en **liaison froide**.

Les appareils de remise en température peuvent être n'importe lesquels des appareils de cuisson étudiés, en particulier enceinte micro-ondes, four à air pulsé avec une mention particulière pour le cuiseur vapeur qui est rapide et ne produit aucun dessèchement ; on trouve cependant des appareils spécialisés comme les **fours obscurs à infrarouge**.

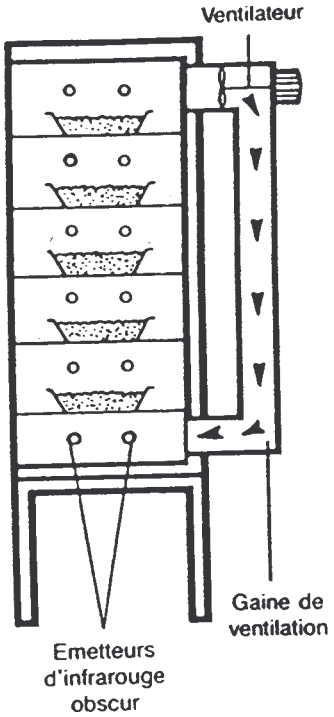
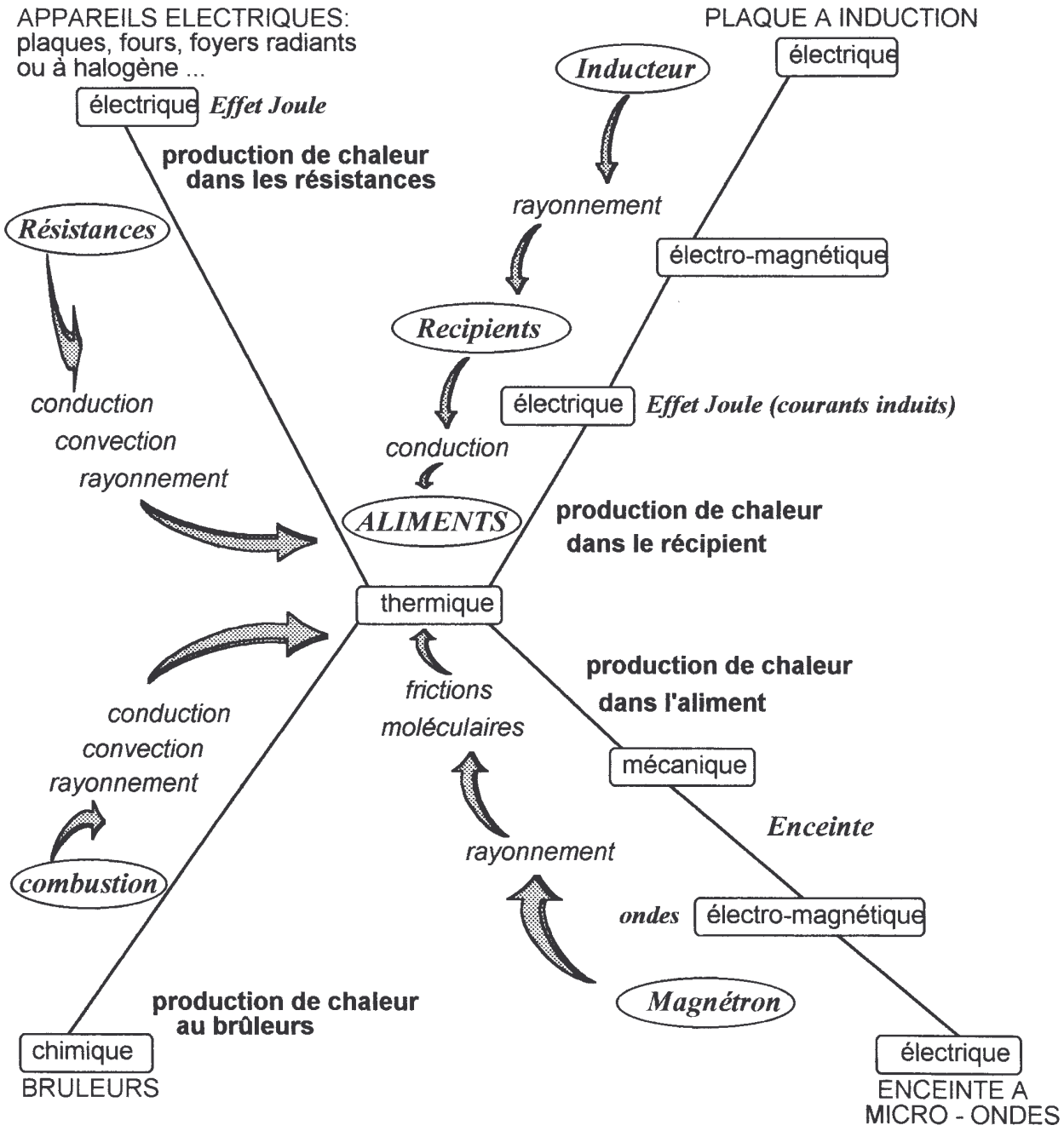


Schéma d'une enceinte obscure à infra rouge

Pour le maintien en température, on trouve, les **tables chaudes**, les **bains-marie** et des **étuves** ou **armoires chaudes** dérivées des fours à convection naturelle. La seule différence étant une température inférieure. A noter cependant qu'une température de 63°C à cœur demande un réglage du bain-marie ou de l'étuve à une température supérieure à 80°C. La régulation se fait par **thermostat** et **doseur d'énergie**. Tous ces appareils sont aux dimensions **Gastronormes** et doivent présenter une excellente isolation thermique.

Document : Production de chaleur dans les appareils culinaires

PRODUIRE DE LA CHALEUR, C'EST REALISER LA TRANSFORMATION D'UNE FORME D'ENERGIE EN ENERGIE THERMIQUE :



Document : Entretien des appareils de cuisson (1)

APPAREILS DE CUISSON - ENTRETIEN

POSTE		SURVEILLANCE (PERIODICITE)		INTERVENTIONS (PERIODICITE)		EXECUTANT		REGLEMENTATIONS	COMMENTAIRES (L'astérisque dans la colonne « spécialiste » signifie qu'un contrat d'entretien par une personne agréée est obligatoire)
appareil	élément ou partie	jours	mois	jours	mois	le gestionnaire	le spécialiste		
fourneau	brûleur					x		Règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public, arrêté du 25/6/80 JO, décret GC 18 et décret GC 19.	(1) Nettoyage par immersion dans bain lessiviel. Débouchage orifice avec bâtonnet bois. (2) Réglage de la bague de réglage d'admission d'air. (3) Nettoyage par immersion dans bain lessiviel. (4) Changement après déformation. (6) Vérification thermocouple. (7) Remplacement tampon. (8) Vérification thermostat (éventuellement) ou thermocouple, conformité température débit petit feu. (9) Nettoyage et ramonage.
	grille						x		
	plaque (coup de feu et mijotage				1 (1)	x	x		
					3 (2)	x	x		
					1 (3)	x	x		
					4 (4)		x		
	plaque à snacker (cuisson directe)		1 (6)		1 (1)	x	x		
					1 (6)				
			1 (8)		24 (7)	x			
						x			
	four à convection naturelle				1 (1)				
					1 (1)				
	ensemble fourneau et conduits				6 (9)		x		
friteuse à zone froide	brûleur		1 (14)		1 (14)		x		(10) Vérification thermostat limiteur de température. (14) Vérification équipement chauffe et thermocouple. (15) Tous les jours filtration bain d'huile. (16) Vérification de passage libre dans la tuyauterie de retour du trop plein au bac de récupération.
	bain d'huile	8 (6)				x			
	trop plein	8 (8)			1 (15)				
		8 (10)			8 (16)	x			
						x			
grilloir	brûleur		1 (14)		1 (14)		x		
salamandre plaque	brûleur			1 (18)	1 (17)		x		(17) Vérification et entretien équipement de chauffe, thermocouple et veilleuse. (18) Vidage plaque et nettoyage.
						x			
rôtissoire	bacs de récupération			1 (19)		x			(19) Vidage des bacs de récupération et nettoyage. (20) Vérification et entretien système de mouvement des broches.
	mouvements de broches éléments rayonnants		3 (20)			x			
étuve table chaude	brûleur		1 (25)		1 (1)		x		(25) Contrôle température, vérification thermostat.
hotte cuisine	filtres				1 (26)				(26) Nettoyage (plus fréquent si nécessaire). (27) Remplacement (réimprégnation éventuelle). (28) Nettoyage et graissage paliers. (29) Nettoyage des verreries.
					8 (27)	x			
	ventilateur				1 (28)	x			
	éclairage				1 (29)	x	x		

Document : Entretien des appareils de cuisson (2)

APPAREILS DE CUISSON - ENTRETIEN (suite)

POSTE		SURVEILLANCE (PERIODICITE)		INTERVENTIONS (PERIODICITE)		EXECUTANT		REGLEMENTATIONS	COMMENTAIRES (L'astérisque dans la colonne « spécialiste » signifie qu'un contrat d'entretien par une personne agréée est obligatoire)
appareil	élément ou partie	jours	mois	jours	mois	le gestionnaire	le spécialiste		
marmite à chauffage direct	brûleur		1 (14) 1 (8)		1 (1) 1 (14) 3 (2)	× ×	×		
	alimentation en eau	8 (30)			1 (31)		×		(30) Vérification de l'étanchéité du ou des robinets. (31) Serrage du presse-étoupe (éventuellement).
marmite à chauffage indirect (bain-marie)	brûleur		1 (14) 1 (8)		1 (1) 1 (14)		× ×		
	bain-marie	1 (32)					×		(32) Vérification du niveau d'eau du BM.
	pressostat				3		×		Vérifier le point de coupure ou d'enclenchement et le réglage du différentiel s'il existe. Nettoyer et resserrer les cosses.
	soupape de sûreté	8 (33)			1 (34)	×	×		(33) Vérification du fonctionnement du clapet de la soupape. (34) Tarage du ressort de soupape.
	alimentation en eau	8 (30)			1 (31)	×	×		
fours à air pulsé	Mêmes préconisations que pour les fours à convection naturelle				3	×	×		Nettoyage de la turbine et graissage des paliers.
fours à micro-ondes		1				×			Après chaque période d'utilisation, vérifier la propreté de la cavité, du plafond, de la face interne de la porte, de la sole (grille, plaque de verre, etc.). Ne pas utiliser pour les nettoyages un produit abrasif.
				8		×			Nettoyage du filtre à air par trempage dans une eau additionnée d'un produit dégraissant autorisé, rinçage et séchage.
					6		×		Vérification des organes électriques, du fonctionnement des sécurités, du mouvement de la porte et de son placage sur le châssis.
sauteuse basculante	brûleur		1 (14) 1 (8)		1 (1) 1 (14)	×	×		
	alimentation en eau	8 (30)			1 (31)	×			
	mécanisme de basculement	8 (35)			1 (36)	×	×		(35) Vérification du système de basculement (hydraulique, mécanique ou pneumatique). (36) Graissage éventuel ou vérification du système hydraulique.
cuiseurs à vapeur		8	1 (14)		1 (14)	×	×		Vérification des surfaces. Vidange de la chaudière pour éviter la formation de dépôts. Vérifier la propreté et l'état des joints, porte, le fonctionnement du système de verrouillage.
ventilation du local	dispositif d'extraction d'air vicié				1	× ou	×		Nettoyage complet y compris le ventilateur.

(Source : *L'Hôtellerie*, « Matériel de cuisson en restauration », n° spécial, 8 décembre 1988)

ANNEXE 1 : AUTRES APPAREILS UTILISES EN RESTAURATION COLLECTIVE

1. APPAREILS DE LAVAGE DE LA VAISSELLE

On trouve deux grands types de laveuses en dehors des machines spécifiques comme les **lave-verres** destinés au lavage de la verrerie (bar, caféterie …) ou les **lave-batterie à granules** où des granules en matière plastique sont projetées avec l'eau de lavage pour décoller mécaniquement les salissures sur la batterie de cuisine (plats, ustensiles …), en fin de cycle, les granules sont récupérés dans un filtre.

1.1. MACHINES A OUVERTURE FRONTALE OU A CAPOT MOBILE

La vaisselle est disposée dans des paniers fixes ou statiques pour être lavée. L'entrée et la sortie des paniers est effectuée manuellement par l'employé. Elles sont réservées aux petites exploitations de restauration classique ou self jusqu'à 200 rationnaires environ.

1.2. MACHINES A CONVOYEUR

L'entrée et la sortie de la vaisselle sont automatiques. Un convoyeur motorisé fait partie de la machine et fait avancer automatiquement la vaisselle dans le tunnel de lavage. Les pièces à laver sont directement posées et accrochées sur le convoyeur ou bien disposée dans des paniers mobiles. Ces machines sont réservées aux exploitations de taille plus importante (plus de 200 rationnaires).

1.3. SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE ET DIFFERENTES ETAPES DU LAVAGE

Préparation de la vaisselle : débarrassage, raclage et tri évitent d'obstruer les tamis et les canalisations ; une mise en panier sans surcharge, avec bonne inclinaison de la vaisselle, évite les relavages et pertes de temps.
Le lavage de la vaisselle se fait progressivement en 5 étapes maximum suivant l'importance de la machine.

Remarque : Le résultat dépend de l'eau utilisée pour le lavage. Une eau « dure » (à titre hydrotimétrique élevé) est entartrante et laisse des traces blanches sur la vaisselle. Un système d'adoucissement de l'eau alimentant le lave-vaisselle est alors nécessaire. Le titre hydrotimétrique de l'eau utilisée ne doit pas dépasser 5 à 7 °TH

1.3.1. Prélavage

Cette opération n'existe que sur les grosses machines. Sur les petites machines, elle est réalisée manuellement à l'aide de la douchette
But : humidifier les souillures à basse température (30 à 40° C) et les éliminer grâce à l'action mécanique des jets. Le lavage pourra se faire alors à une température élevée sans problèmes (coagulation ...).

1.3.2. Lavage

Comme pour le prélavage une pompe projette se l'eau sous pression (au moins 3 bars), mais avec addition de détergent et élévation de température de l'eau (sans dépasser 55 à 60° C pour éviter la coagulation des protéines et leur incrustation et favoriser l'action des produits lessiviels). A l'action mécanique des jets liée à la puissance de la pompe s'ajoute la durée du contact solution/vaisselle, et l'action de température.

1.3.3. Pré-rinçage

But : commencer l'élimination de la solution détergente pour éviter la précipitation des éléments minéraux lors du rinçage et du séchage et, en outre, élever la température des pièces (60 à 70° C) pour faciliter le rinçage

1.3.4. Rinçage

Opération finale du nettoyage : Toute trace de liquide doit être éliminée pour deux raisons :

- esthétique : la vaisselle doit être nette et brillante
- hygiène alimentaire : le produit détergent peut être plus ou moins toxique.

La température de rinçage est en générale supérieure ou égale à 85 °C pour faciliter le séchage et éliminer les germes pathogènes éventuels

1.3.5. Séchage

Le plus souvent, un tunnel ajouté à la sortie des grosses machines pulse de l'air à 70 / 80° C.
Dans le cas des petites machines, c'est la température élevée de l'eau et de la vaisselle qui assure un séchage rapide sans laisser de traces grâce à l'action d'un produit tensio - actif qui transforme les gouttes d'eau en film tendu à la surface de la vaisselle.

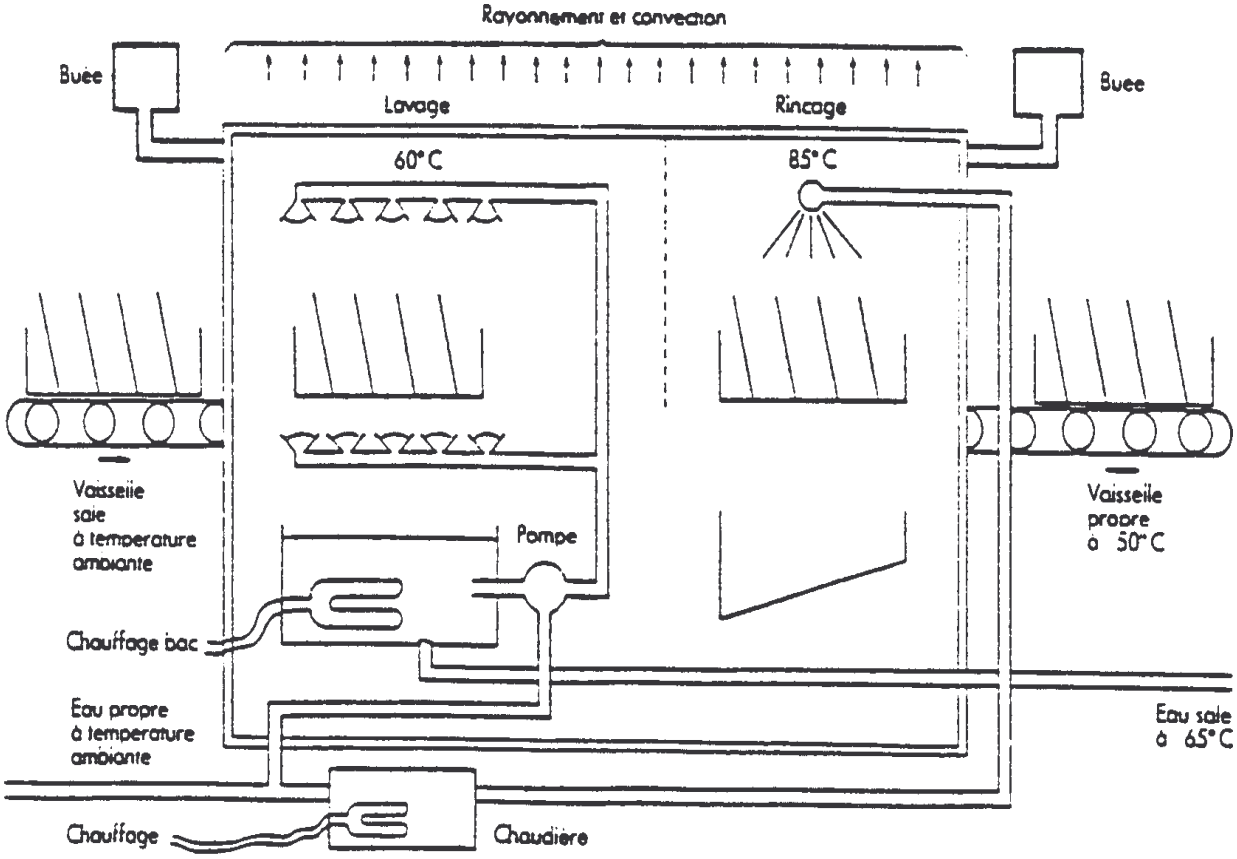
1.4. ENTRETIEN DE LA MACHINE

• ***en fin de journée***

- sortir et nettoyer les rideaux de fermeture, les paniers filtres, les tubes supérieurs et inférieurs de lavage et de rinçage
- laver et désinfecter les paniers,
- laver et brosser dans une solution détergente les différentes pièces
- laver et brosser au jet d'eau chaude le bas de la machine.
- placer les pièces détachées propres dans un panier propre et recouvrir.
- aérer la machine, durant toute la nuit, pour éviter les mauvaises odeurs,
- remonter la machine seulement le lendemain matin.

• ***une fois par semaine***

- contrôler les injecteurs et l'étanchéité des vannes.



MACHINE A CONVOYEUR d'après document EDF

MACHINE A PANIER FIXE d'après document Société Bonnet

Remplissage

Ouverture de la vanne électromagnétique A
L'eau traverse la chaudière C
Elle remplit la cuve E par les jets de rinçage D
Le niveau atteint, la vanne électromagnétique A se ferme

Lavage : circuit fermé

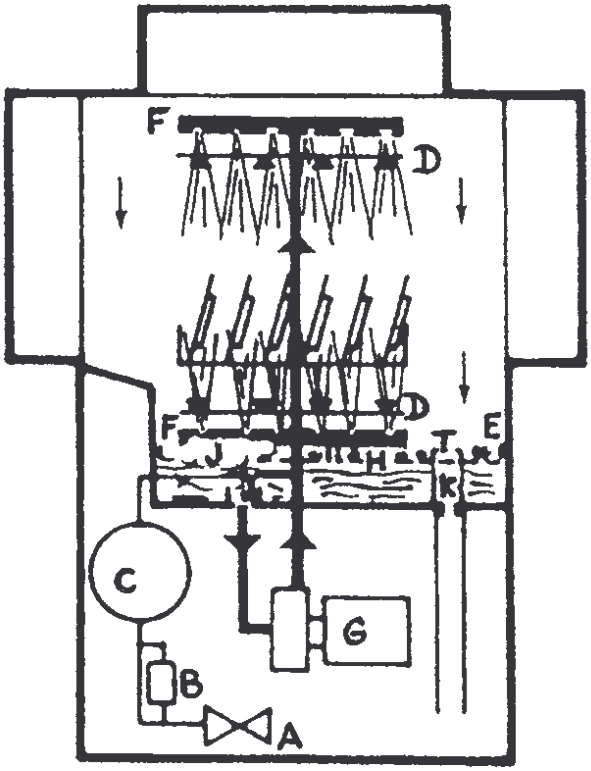
La pompe G aspire la solution de lavage au travers de la crépine J et la refoule dans les jets de lavage F

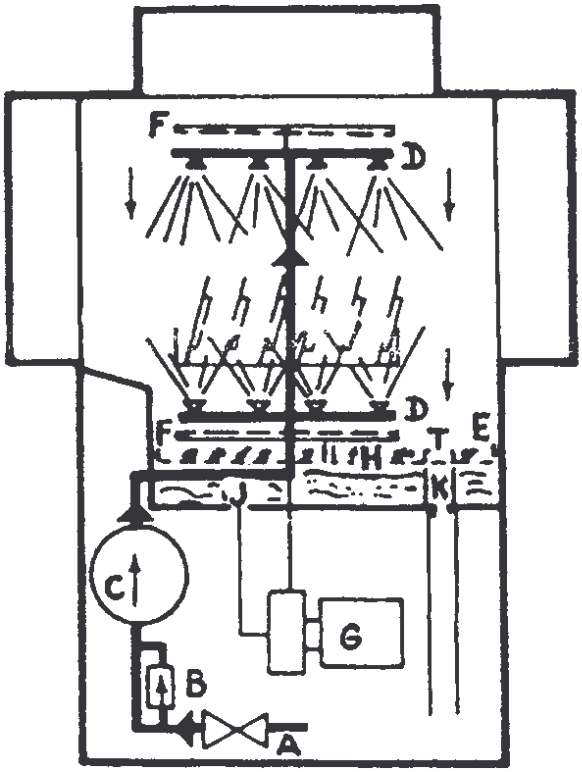
Rinçage : circuit ouvert

Ouverture de la vanne électromagnétique A
Le produit de rinçage est injecté par le doseur B
L'eau chauffée par C est pulvérisée par les jets de rinçage
Le niveau monte, le trop plein s'écoule par la bonde K

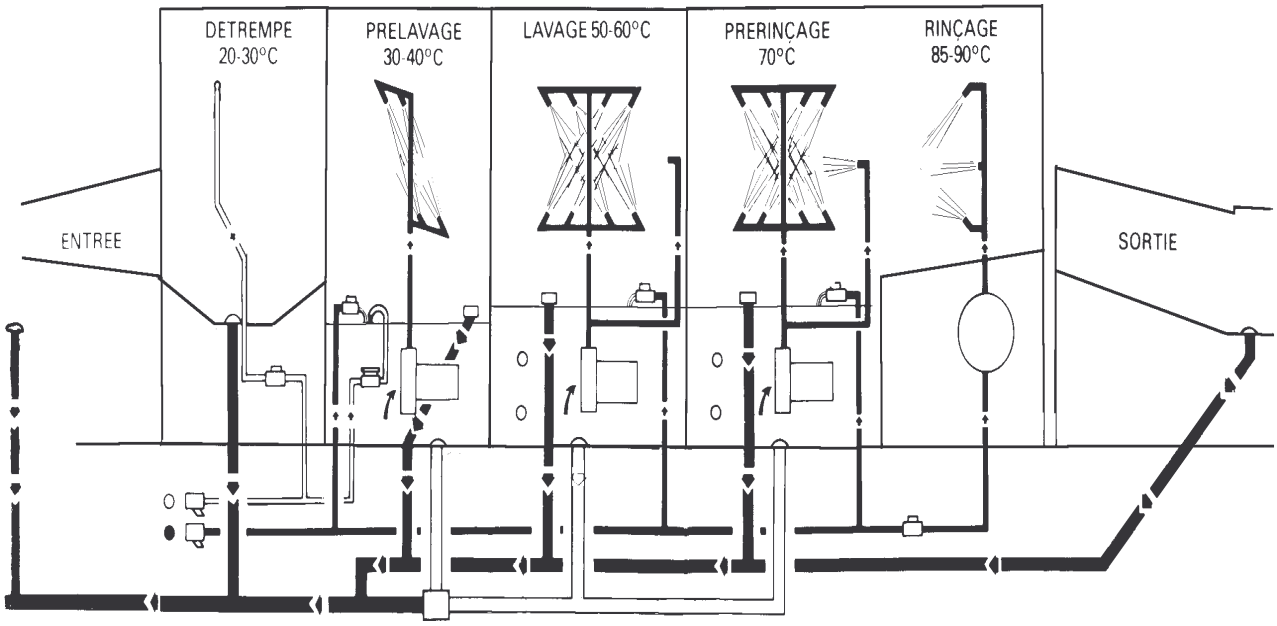
Vidange

La bonde K ouverte, l'eau de la cuve E s'écoule vers la vidange





MACHINE A CONVOYEUR d'après document Société Bonnet



2. APPAREILS DE PREPARATION DES ALIMENTS

Ce sont des appareils qui permettent d'éplucher, d'essorer, couper, hacher , mélanger, trancher ...
(d'après documents CATED)

2.1. EPLUCHEUSE PARMENTIERE :

- Cuve fermée par un couvercle dont l'intérieur comporte des secteurs abrasifs entraînés par un moteur électrique. L'épluchage se fait par usure de la peau des légumes.
- Arrivée d'eau froide par jets en partie haute et évacuation de l'eau et des déchets en partie basse de la cuve.

2.2. CUTTER

Cuve protégé contre la corrosion (aluminium anodisé), d'une capacité usuelle d'une dizaine de litres, comportant en général 2 ou 3 couteaux en acier inoxydable entraînés à 1 500 tr/min par un moteur électrique d'une puissance de l'ordre de 1 kW.

2.3. ESSOREUSE A SALADE

Un tambour perforé tourne à l'intérieur d'une cuve fermée en acier inoxydable. Il retient la salade, l'eau est éliminée par action de la force centrifuge. La cuve comporte un orifice d'évacuation de l'eau. Capacités courantes : de 5 à 10 kg de salade par opération.

2.4. HACHOIR

Une vis sans fin achemine la viande vers un couteau tournant contre une grille. L'entraînement se fait par une moteur de 1 à 3 kW suivant la capacité (200 à 600 kg/h de viande hachée).Le hachoir peut être réfrigéré.

2.5. MELANGEUR

Une cuve en acier inoxydable contient les aliments à mélanger, capacité de 20 à 90 litres. La cuve est amovible sur glissière verticale ou relevable par volant et vis sans fin. L'appareil peut être équipé de différents outils (crochet, spirale, fouet, palette) qui se fixent à l'extrémité d'un arbre entraîné par un moteur d'une puissance de 250 W à 6 kW, suivant la capacité. L'allure de marche peut être commandée par boîte de vitesse ou variateur. A vitesse lente, on pétrit les pâtes, à vitesse moyenne, on mélange, à vitesse rapide, on fait monter.

2.6. TRANCHE-PAIN

Permet de couper des morceaux dans une baguette ou un pain. Les capacités usuelles vont jusqu'à 250 tranches par minute.

2.7. TRANCHEUR

Un couteau circulaire (diamètre de 220 à 350 mm) est entraîné par un moteur et un réducteur de vitesse à vis sans fin pour obtenir une vitesse fonctionnelle. Les appareils comportent un protège couteau. Le chariot peut être à pousse-talon, coulissant ou à avance automatique. Le plateau de coupe est commandé par un sélecteur de tranches gradué en épaisseur.

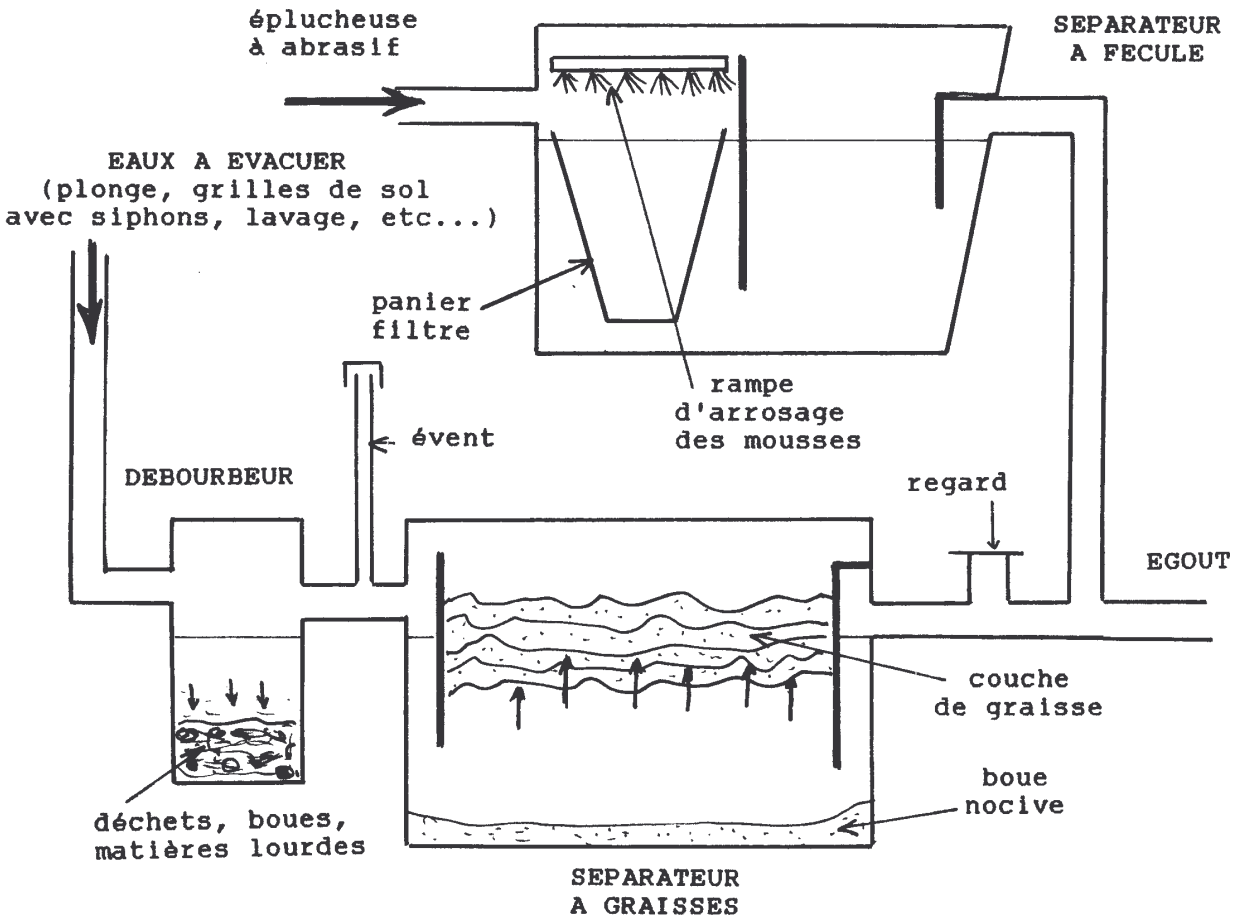
3. APPAREILS DE TRAITEMENT DES DECHETS

3.1. COMPACTEURS ET BROYEURS DE DECHETS

Ils réduisent considérablement le volume des déchets qui sont broyé ou comprimés mécaniquement avant d'être mis en sacs poubelle ou en conteneurs
Dans le cas d'un broyage en présence d'eau, les déchets peuvent être évacués par voie humide.
Dans tous les cas, **la circulation des déchets doit respecter la marche en avant**.

3.2. EVACUATION DES EAUX USEES

La réglementation (le règlement sanitaire départemental, notamment) impose aux cuisines collectives de débarrasser les eaux usées des déchets non miscibles avec l'eau ou fermentescibles (boues, graisses, fécule) avant leur envoi dans le réseau public d'égout. Il faut donc traiter mécaniquement les rejets de cuisine dans des bacs spécifiques : **débourbeurs**, **séparateur à graisse** et **séparateur à fécule**.



Débourbeur : Le débourbeur permet de séparer, par décantation, les matières les plus lourdes. Ensuite les eaux usées traversent le séparateur à graisse où les graisses, solidifiées et moins denses que l'eau, sont retenues en remontant à la

Bac à graisses : Les graisses (moins denses que l'eau) contenues dans les effluents sont retenues en surface d'un bac spécifique

Séparateur à fécule : Les éplucheuses de pommes de terre à abrasif produisent de grandes quantités de fécule présentes dans l'eau rejetée. Les fécules produisent des mousses difficiles à évacuer qui entrent en fermentation, produisent des odeurs nauséabondes et colmatent rapidement les canalisations. Les eaux chargées de fécule ne doivent jamais transiter par le débourbeur et le bac à graisse. Le séparateur à fécule doit être placé le plus près possible de la sortie des éplucheuses. Un séparateur à fécule est constitué de deux bacs, le premier comportant un panier filtre amovible et une rampe d'arrosage destinée à neutraliser les mousses.
Toutes les matières retenues dans ces bacs doivent être enlevées régulièrement par un camion-pompe d'une entreprise de nettoyage. L'ensemble des bacs doit donc être facile d'accès pour ce véhicule et regroupés, si possible dans un emplacement extérieur, sinon dans un local indépendant, lavable, fortement ventilé et fréquemment nettoyé.

ANNEXE 2 : EXEMPLES D'ETUDES FONCTIONNELLES

1. MACHINE A LAVER LA VAISSELLE A USAGE COLLECTIF

(extrait du rapport de Jury PLP2 interne 1993)

Il est souhaitable de préciser le **CADRE D'UTILISATION DE L'APPAREIL** : L'appareil étudié ici est un appareil utilisé en collectivité dans le secteur du service alimentaire.

FONCTION D'USAGE : L'appareil doit permettre d'éliminer les salissures d'une vaisselle de collectivité de façon qu'elle ne présente ni risque microbiologique ni risque toxicologique, Qu'elle retrouve son aspect esthétique et qu'elle soit prête à l'utilisation.

FONCTIONS PRINCIPALES	**SOLUTIONS TECHNIQUES :**	**COMMENTAIRES :**
Recevoir la vaisselle	Paniers	adaptés au type de vaisselle
Alimenter en eau	Raccordement au réseau, Electrovanne	éventuellement en eau chaude
Faire circuler l'eau	Moteur - Pompe , Canalisation	
Chauffer l'eau	Résistance électrique	thermoplongeur
Distribuer les produits	Distributeurs	lavage et rinçage
Evacuer les eaux usées	Raccordement au réseau d'eau usée	respect de la législation sur les rejets (température déchets)
FONCTIONS COMPLEMENTAIRES		
Réguler les températures la distribution d'eau	 Thermostat Pressostat	 améliore l'efficacité du lavage
Améliorer qualité de l'eau	Adoucisseur	améliore l'efficacité du lavage
Enchaîner les différentes opérations	Programmateur	limite les interventions humaines
Retenir les déchets	Filtre	
Protéger l'utilisateur	Rideaux de protection Mise à la terre	risques de brûlures risques d'électrocution
Protéger l'appareil	Composants, matériaux répondants aux normes (UTE, NF)	permettant d'assurer la sécurité, l'entretien et la maintenance
Protéger l'environnement	Isolants thermiques, phoniques Système de condensation des buées	

2. CELLULES DE REFROIDISSEMENT RAPIDE

(d'après le rapport de Jury PLP2 interne 1993)

CADRE D'UTILISATION DE L'APPAREIL : la restauration différée

FONCTION D'USAGE : refroidir les plats cuisinés à l'avance conformément à la réglementation en vigueur (moyen imposé ou permettant d'atteindre les objectifs fixés)

FONCTIONS TECHNIQUES	**SOLUTIONS TECHNIQUES**		**COMMENTAIRES**	
A) PRINCIPALES			**Principe :**	
1°) abaisser la température	**Machine frigorifique à froid**		**échanges thermiques dus aux changements d'état d'un fluide**	
	mécanique	**cryogénique**	**froid mécanique**	**cryogénie**
			transformations subies par un fluide frigorigène dans le cycle de Carnot d'une pompe à chaleur	détente et vaporisation d'un fluide cryogénique (N_2 ou CO_2)
extraire la chaleur des produits	évaporateur détendeur	détendeur et buses d'injection	vaporisation du fluide à basse pression abaisse la pression du fluide pour permettre sa vaporisation	détente du fluide cryogénique dans l'enceinte et vaporisation au contact des produits
optimiser l'échange	ventilateurs	ventilateurs	augmentation de la vitesse de circulation de l'air et donc de la fréquence des échanges	favorisent le contact entre fluide et produits
évacuer la chaleur	condenseur à eau ou à air	conduit d'évacuation	liquéfaction du fluide à haute pression	évacue le fluide gazeux vers l'extérieur
faire circuler le fluide	moto compresseur et circuit fermé de canalisation	réservoir et canalisation	augmentation de la pression du fluide et consommation d'énergie (⇒ Puissance électrique absorbée, coût énergétique)	fonctionnement avec consommation et perte de fluide (⇒ coût fluide, renouvellement du stock à prévoir)
2°) contenir les produits	enceintes avec échelles ou chariots aux dimensions normalisées		plats ou barquettes normalisées GN : Gastronorme ou EN : Euronorme	
	capacité nominale en kg de produit par cycle de refroidissement		capacité ou nombre de cellules adaptées à la production (rythme, quantité, conditionnement, nombre de rationnaires)	

FONCTIONS TECHNIQUES	**SOLUTIONS TECHNIQUES**	**COMMENTAIRES**
B) COMPLEMENTAIRES		
régulation (température)	thermostat à bulbe ou électronique	asservi le fonctionnement de la machine à la température à atteindre dans l'enceinte pour obtenir la température à coeur souhaitée
	sonde thermique	contrôle la température à coeur du produit
régulation (temps)	programmateur relié au thermostat	respect du couple temps/température en fonction de la puissance frigorifique, de la capacité nominale, des produits (épaisseur, nature ...)
affichage de la température	cadran d'affichage analogique ou digital	permet de surveiller visuellement et rapidement la descente en température au cours du cycle
affichage du temps	cadran d'affichage analogique ou digital	permet de contrôler la durée du cycle
enregistrement des températures et des durées	enregistreur ("mouchard")	contrôle à posteriori
alarme	voyant ou (et) signal sonore	en cas de dysfonctionnement
isolation thermique	enceinte isotherme, isolant thermique : polyuréthanne, étanchéité de l'enceinte, joint de porte ...	limiter le flux de déperdition thermique

(suite)

FONCTIONS TECHNIQUES	SOLUTIONS TECHNIQUES	COMMENTAIRES
B) COMPLEMENTAIRES		
sécurité des aliments	matériaux alimentaires (inox, aluminium, polypropylène ...)	innocuité alimentaire des matériaux destinés au contact des denrées alimentaires
	agrément LERPAC ou CNERPAC	attestation de conformité aux règles d'hygiène et attestation des performances au cahier des charges de l'AFF
sécurité des utilisateurs	raccordement avec prise de terre et disjoncteur différentiel, indice de protection électrique (IP) élevé	protection contre l'électrocution
	poignée intérieure de décondamnation	
sécurité de l'appareil	installation électrique conforme aux normes NF UTE et NF électricité	préservation de l'intégrité de l'appareil pour un fonctionnement optimal répondant à son usage
	notice du constructeur	respect des consignes d'installation, de fonctionnement, d'entretien.
facilité d'entretien	matériaux inoxydables	matériaux imputrescibles, lavables, résistants aux produits d'entretien (autorisé pour contact alimentaire)
	angles de l'habitacle arrondis	accès facile lors du nettoyage, interdit les dépôts alimentaires et les agrégats de germes.

3. FRITEUSE A ZONE FROIDE.

(Extrait du rapport de jury PLP2 Interne 1992)

FONCTION D'USAGE : Dans le cas proposé, la fonction d'usage d'une friteuse est de frire c'est-à-dire cuire des aliments (frais ou surgelés) par immersion dans un corps gras, porté à une température donnée. Les aliments cuits présentent des qualités organoleptiques spécifiques : couleur, croustillant, saveur... Les besoins de l'utilisateur exigent de cuire des quantités importantes d'aliments (collectivités) en un minimum de temps (rentabilité).

FONCTIONS TECHNIQUES PRINCIPALES	SOLUTIONS TECHNIQUES	COMMENTAIRES
* Contenir le corps gras	Cuve	Capacité adaptée aux besoins (de 5 à 100 l)
* Recevoir les aliments	Panier	Préhension et position d'égouttage
* Chauffer le corps gras à 200 ° C maximum	Résistance électrique	Thermoplongeur (puissance de 3 à 60 kW)
* Maintenir la température dans des limites précises	Thermostat	Réglage de la température en fonction de l'aliment pour obtenir le degré de cuisson souhaité
COMPLEMENTAIRES		
* Prolonger la qualité du bain de friture	Zone froide (environ 60° C) composée d'huile ou d'eau	Décantation des particules alimentaires qui pourraient altérer le bain de friture (oxydation, odeurs...)
* Protéger le milieu de cuisson entre les utilisations	Couvercle	Protection contre l'air, la lumière, les poussières...
* Renouveler le bain de friture	Vanne de vidange	Facteur d'ergonomie
* Limiter les pertes en énergie	Cuve calorifugée	Meilleur rendement thermique de l'appareil
* Assurer la sécurité de l'aliment et du milieu	Thermostat,	Risque de surchauffe
de l'appareil	Appareil répondant aux normes de sécurité électrique (normes UTE et NF)	, Notice du constructeur indiquant les conditions d'installation, de fonctionnement et d'entretien
- des utilisateurs	Trop-plein, Couvercle, Mise à la terre	Risques de brûlures Risques de projections Risque d'électrocution

ANNEXE 3 : MODES DE CUISSON,

Des techniques évolutives Par Diane Roussot La Cuisine Collective Mai 2004

Griller, sauter, poêler ou marquer sont des opérations qui ont plusieurs points communs :

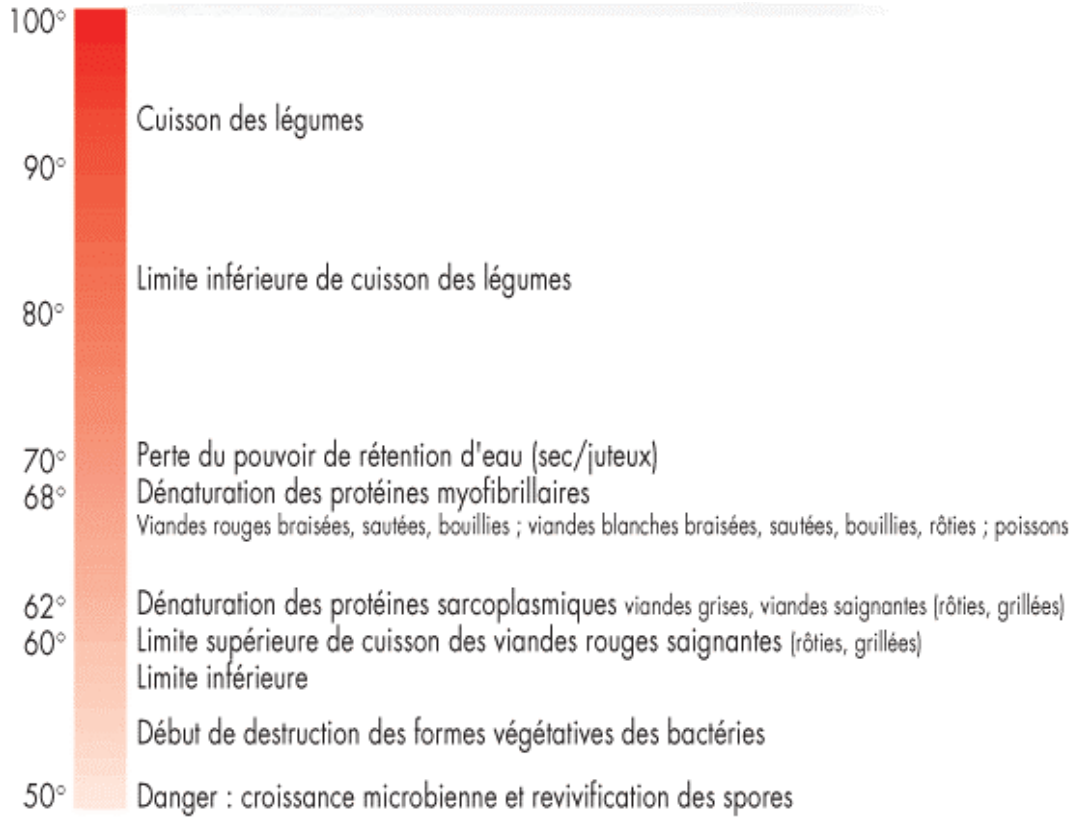
- **une cuisson haute température (>140 °C) avec coloration (réaction de Maillard) de toute ou partie de la surface extérieure ;**
- **une cuisson interne à température réduite (<100 °C) ;**
- **dans tous les cas, les pièces traitées sont de taille relativement petite ;**
- **presque tous les produits peuvent être traités de ces différentes façons : viandes rouges et blanches, poissons et fruits de mer, légumes, fromages…**

Cette similitude entretient une confusion qui fait que beaucoup d'entre nous n'ont pas une idée claire de l'outil le mieux adapté à un type de cuisson bien précis. Les opérations citées précédemment sont obtenues à l'aide de deux modes de transmission de chaleur :

➔ La ***conduction*** : un corps chaud transfert son énergie à un corps froid au travers de leur surface de contact. Plus l'écart de température et la surface de contact sont grands, plus le transfert est rapide.

➔ Le ***rayonnement*** : l'énergie véhiculée par un rayonnement infrarouge se transforme en chaleur dans le premier corps opaque rencontré par lequel il est absorbé - les milieux ou corps transparents tels que le vide, l'air ou le verre, traversés par le rayonnement infrarouge avant son absorption par le corps opaque, n'ont, quant à eux, pas ou peu changé de température.

Depuis très longtemps, les chefs étudient les possibilités d'obtenir des résultats organoleptiques parfaits à l'issue d'une cuisson. L'objectif étant de réussir à satisfaire autant le palais, que la vue et l'odorat. Pour se diriger dans cette voie, il est nécessaire de comprendre comment réagissent les aliments lors d'une opération de cuisson.
Les différents composants de l'aliment (lipides, protéines, glucides, etc.) se comportent différemment à la chaleur. Les protéines coagulent puis s'hydrolysent. Les graisses fondent puis brûlent.



Les glucides simples (sucres) fondent également puis caramélisent. Les glucides complexes s'hydrolysent progressivement. Trois paramètres sont modifiés à la cuisson: la couleur, la consistance et la jutosité.

Couleur

La cuisson d'un aliment protidique se passe en plusieurs étapes, fonction du mode de cuisson qui lui est appliqué. La première étape consiste à coaguler les protéines de surface. La vision de la surface de l'aliment traité est ainsi modifiée et la couleur rouge vif d'une viande apparaît brunâtre. Dans un deuxième temps, la myoglobine du muscle (pigment

rouge) se décompose progressivement, faisant passer la couleur rouge vif initiale au rose, puis au brun. Cette modification devient irréversible lorsque la température dépasse 68 °C.

Consistance
Le muscle d'un animal se compose de fibres de différentes longueurs entre lesquelles s'intercalent des nerfs et des tissus conjonctifs appelés aponévroses. Une cuisson trop violente entraîne la contraction de ces fibres, rendant la viande dure à mâcher, qui a perdu une partie de sa saveur.

Jutosité
La sensation de jutosité d'une viande dépend des caractéristiques des protéines qui la composent, ayant la capacité de retenir une quantité d'eau importante. Le niveau de chaleur apporté par la cuisson provoque une contraction plus ou moins importante des protéines, modifiant ainsi la quantité d'eau emprisonnée. A partir de 68 °C, les fibres musculaires contractées ne peuvent plus se détendre. L'eau libérée est chassée des cellules, entraînant une sensation de sécheresse de l'aliment en bouche.

Passons maintenant aux différentes techniques de cuisson existant aujourd'hui.

A juste ou basse température, même combat

C'est une technique qui vise l'association d'un appoint de cuisson et d'une température de dégustation. Cette technologie s'applique surtout aux produits d'origine protidique (viandes, poissons, œufs) ainsi qu'à quelques légumes dits " blancs " (asperges blanches, navets, carottes). Pour cela, le cuisinier doit connaître les réactions physico-chimiques qui résultent du traitement, citées auparavant. La réaction des protéines animales à la cuisson reste le phénomène le plus difficile à maîtriser. Trop violemment saisies, les nutriments coagulent rapidement, entraînant la rétractation des fibres musculaires et par conséquent, le durcissement de l'aliment, ainsi qu'un dessèchement dû à la perte rapide de l'eau libre contenue dans l'espace interstitiel des cellules musculaires. Une cuisson à basse température maîtrisée limite ce phénomène.
La notion de " juste température " n'est pas nouvelle. De nombreuses tentatives ont été faites, d'abord de manière empirique puis de manière plus scientifique. Développée depuis quelques années par le CREA (Centre de recherches et d'études pour l'alimentation), cette maîtrise culinaire nécessite la connaissance des raisons d'application de cette technique mais aussi le respect de quelques règles de base dans les fabrications. Voici les 6 étapes de la cuisson à juste température :

Marquage en cuisson du produit
Le saisissement plus ou moins important de la pièce entraîne la coagulation superficielle de l'albumine. Le niveau de coloration dépend de la durée de cette phase. Durant cette opération, de quelques secondes à plusieurs minutes, la température à cœur du produit ne s'élève que de quelques degrés ; 20 à 25 °C pour des pièces de 7 à 9 cm d'épaisseur. Matériel à utiliser : poêle, sautoir, plaque à snacker, plaque à rôtir, four…

Conduite de la cuisson
La cuisson de la pièce saisie se poursuit de préférence dans un four mixte, avec une ambiance humide (vapeur sans pression). La température de l'enceinte sera réglée sur une température voisine de la température à obtenir au cœur du produit (en général, entre 60 et 100 °C). Dans le cas d'une viande rouge servie saignante ou rosée, le réglage de la température de l'enceinte doit se situer en dessous de la température provoquant la coagulation irréversible des protéines et de dégradation de la couleur (+ 68 °C).

Durée de cuisson
Elle est directement liée à la nature de la pièce traitée.
C'est donc le couple température/ durée de cuisson qu'il faut privilégier. Plus l'aliment traité est riche en tissus conjonctifs, plus la cuisson doit être longue de manière à hydrolyser complètement les aponévroses. Les durées de cuisson dépendent directement du résultat escompté : viande saignante, rosée, à point ou bien cuite. Ces températures optimales obtenues à cœur ne doivent pas dépasser : - 48 °C à 52 °C pour les viandes servies bleues ; - 52 °C à 58 °C pour les viandes servies saignantes ; - 60 °C à 64 °C pour les viandes rosées ; - 68 °C à 72 °C pour les viandes bien cuites. La conservation d'une viande cuite, selon la méthode de la basse température, est liée au couple temps/température, déterminant les valeurs " cuisatrices " (point de cuisson de l'aliment) et " pasteurisatrices " (valeur correspondant à la destruction partielle des micro-organismes).

Période de repos
Comme dans une cuisson classique, la période de repos est nécessaire pour permettre une redistribution homogène du sang à l'intérieur des cellules musculaires. Néanmoins, dans les cuissons à juste température, cette phase est beaucoup plus courte.

Séchage de la partie externe de la pièce
Selon l'aliment traité, un rapide passage en salamandre permet à la pièce de retrouver son aspect croustillant et doré, améliorant son aspect visuel.

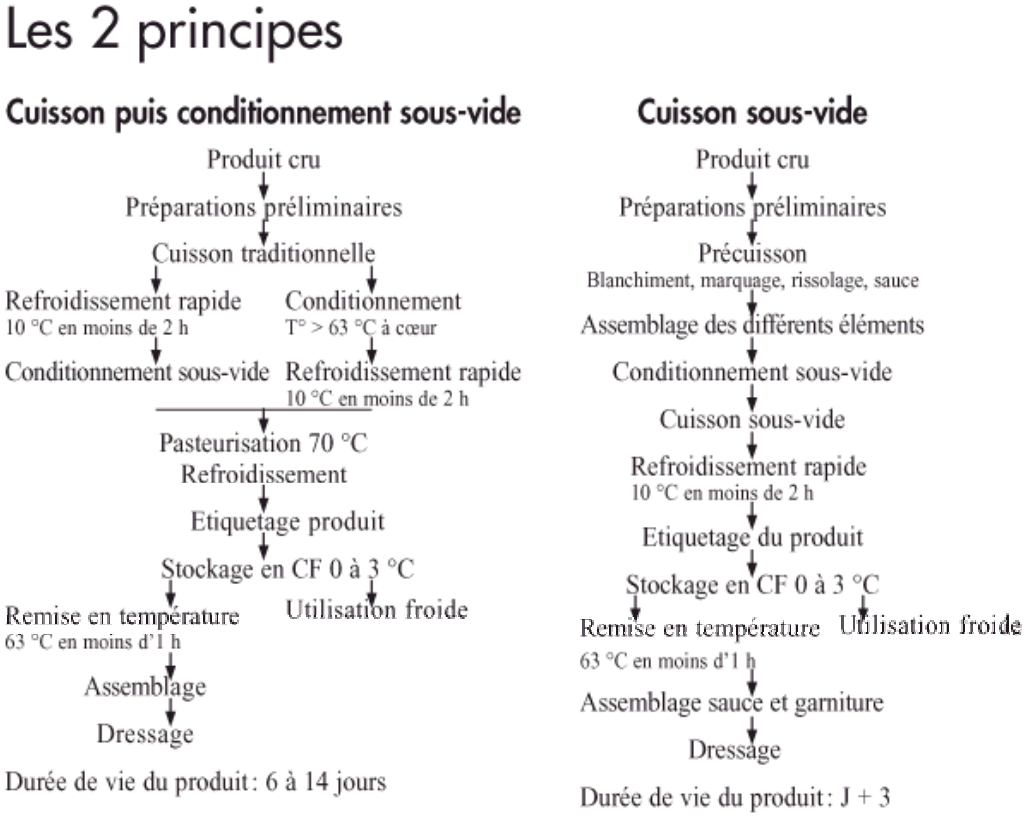
Service au client
La viande ou le poisson doit être à la température idéale de dégustation. Les qualités organoleptiques du produit se développent au maximum, la sensation de plaisir hédonique est totale, le client est alors satisfait.

Cuisson à juste température… sous-vide
La plupart des professionnels s'accordent à dire que le meilleur rendu en cuisson à juste température est obtenu en association avec la cuisson sous-vide. Pour ce faire, le principe général doit être quelque peu aménagé… les bases culinaires étant conditionnées dans des emballages spécifiques. A la différence d'une cuisson basse température classique, certains aliments doivent être précuits ou colorés avant conditionnement. Le principe devient le suivant : coloration éventuelle, conditionnement en sachet cuisson, marquage à 80 °C, descente en température, cuisson en ambiance humide, service immédiat ou refroidissement rapide et stockage.

Qu'en est-il des micro-organismes ?
Le fait de cuire des aliments à basse température (inférieure à 63 °C à cœur), suffisante pour rendre un aliment consommable, entraîne le risque de prolifération microbienne. L'allongement de la durée de cuisson associé à cette température basse permet la destruction partielle des micro-organismes dans des conditions identiques à celles utilisées lors de la pasteurisation.

Le sous-vide, laborieuse percée

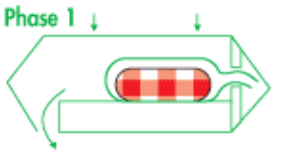
Pour l'histoire
La technologie du " vide " n'est pas nouvelle. C'est à Blaise Pascal, mathématicien, philosophe et écrivain français, que l'on doit les premières expériences concernant l'existence de la pression atmosphérique et par là même, celle du " vide ". Les premiers essais de conditionnement de produits et de cuisson dans l'emballage remontent à 1968, avec le procédé Gatineau concernant la stérilisation des pommes de terre dans leur emballage définitif. En 1972, le procédé a été appliqué en salaisons, en conditionnement rigide ou souple. C'est un succès, aujourd'hui, la plupart des salaisonniers utilisent cette technique. Le développement est plus lent pour les plats cuisinés et les aliments carnés. En octobre 1984, une note de service de la Direction générale de l'alimentation (D.G.A.L.) interdit le sous-vide, en restauration, des produits d'origine animale dans un simple but de conservation… ces aliments étant trop fragiles. Puis après quelques avancées dans ce domaine, en mars 1990, une seconde note de service de la D.G.A.L. énonce les conditions suivant lesquelles il est possible de déconditionner et reconditionner les plats industriels cuisinés à l'avance, en leur donnant 72 heures de durée de vie, dans des conditions moins contraignantes que l'univers des salles blanches. Si le sous-vide s'est développé si lentement, c'est que cette technique a imposé et permis une multitude de recherches microbiologiques et de mises au point de process profitables à l'ensemble des industriels et des professionnels de la restauration.



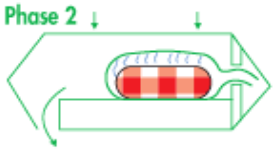
Des avantages appréciables

Préservation des qualités organoleptiques. La cuisson sous-vide favorise une concentration des arômes qui accentue la saveur naturelle des produits. Il s'agit en fait d'une cuisine traditionnelle en papillote dans laquelle toutes les saveurs sont emprisonnées à l'intérieur du sac et ne se perdent pas dans la vapeur ou l'eau de cuisson. Conservation du moelleux et valorisation de certains produits. Pour des raisons physico-chimiques, la cuisson sous-vide doit se réaliser à basse température, telle une cuisson lente ; d'où un allongement du temps de cuisson, parfois équivalent au double de celui de la cuisson traditionnelle. Il en découle une amélioration de la qualité du produit. D'autre part, le vide et la cuisson en milieu humide permettent à la chaleur de se répartir uniformément dans le produit. Ceci explique pourquoi il est possible d'obtenir avec la cuisson sous-vide, des cuissons de viandes parfaitement rosées du pourtour jusqu'au cœur. Pour les légumes, la répartition uniforme des molécules d'eau procure un moelleux inégalable qui accentue la tendreté. La cuisson sous-vide à basse température, sans oxydation du produit, évite l'altération du goût mais aussi celle de sa structure moléculaire, des vitamines, des graisses et des enzymes. L'utilisation des adjuvants, tels que le beurre, l'huile, les épices, est réduite au minimum. L'ensemble de ces éléments permet donc de réaliser une cuisine légère, plus digeste et parfaitement diététique. Source d'importantes économies de matières premières, la cuisson sousvide ne subit quasiment aucune perte de poids par évaporation ou par dessèchement alors que cette perte peut atteindre 20 à 30 % en cuisson traditionnelle. De plus, le transport des préparations est facilité, nul besoin de matériel spécifique. Ce type de cuisson permet une production en grande série, de quelques produits… le gain de productivité est important et le risque de perte du produit, est nettement diminué. En plus, un polycuiseur ou un seul récipient d'eau peut recevoir en même temps, les plats les plus divers (viandes, poissons, et légumes) : appréciable commodité et économie d'énergie. Un point à ne pas négliger, le travail en plonge est considérablement réduit ; du sachet, l'aliment passe directement à l'assiette ou au plat de service. A partir du moment où les règles de la technique sont respectées, la cuisson sous-vide assure une hygiène et une fraîcheur parfaites. Les matériaux de conditionnement protègent contre les souillures extérieures et empêchent le développement des microbes aérobies. Les sachets peuvent se conserver dans des conditions d'hygiène irréprochables. De plus, toute interférence d'odeurs entre les produits est impossible lors de la conservation.

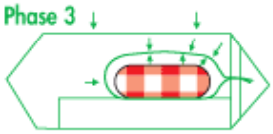
Schéma d'un cycle de mise sous-vide



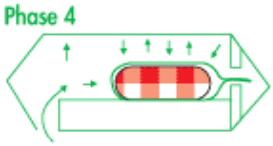
La machine est en route et le couvercle est fermé. L'air de la cloche est aspiré. La pression chute dans la cloche et devient inférieure à la pression atmosphérique. Il est désormais impossible d'ouvrir le couvercle de la cloche.



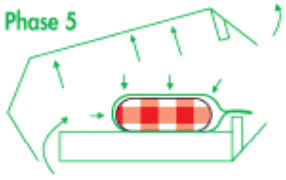
L'eau libre de l'aliment commence à se vaporiser et la pression à l'intérieur du sachet est alors supérieure à celle de la cloche, et provoque le gonflement du sachet.



Le vide programmé est atteint. L'aspiration stoppe et la machine soude hermétiquement le sachet. Les pressions dans le sachet et dans la cloche sont égales. Le sachet est encore gonflé.



La machine commande la remise en atmosphère progressive de la cloche. L'air extérieur est de nouveau introduit. La pression dans la cloche est alors supérieure à celle du sachet. Le conditionnement épouse parfaitement le contenu du sachet.



La remise en atmosphère continue, la pression de la cloche devient identique à la pression atmosphérique. Le couvercle peut de nouveau s'ouvrir. Le contenu du sachet est sous vide.

Choisir judicieusement les matériaux à utiliser
Disponibles sous forme de rouleaux ou sachets, de dimensions diverses, il existe différents matériaux pour réaliser les cuissons sous-vide :

- Les nylons orientés polypropylènes, constitués de plusieurs couches. Ils sont thermorésistants : ils supportent une chaleur de 120 °C et ont une épaisseur de 95 microns. Toutefois, le sachet ne résiste pas au froid négatif, il casse à très basse température. Ces sachets sont réservés à la cuisson et à la conservation en froid positif.
- Les nylons orientés polyéthylène, résistants aussi bien au chaud qu'au froid. Cet emballage est thermorésistant à 100 °C et cryorésistant à - 40 °C. Son épaisseur est également de 95 microns.
- Les coextrudés multicouches, thermorésistants à 110 °C, et rétractables. Leur épaisseur est cette fois de 60 microns.

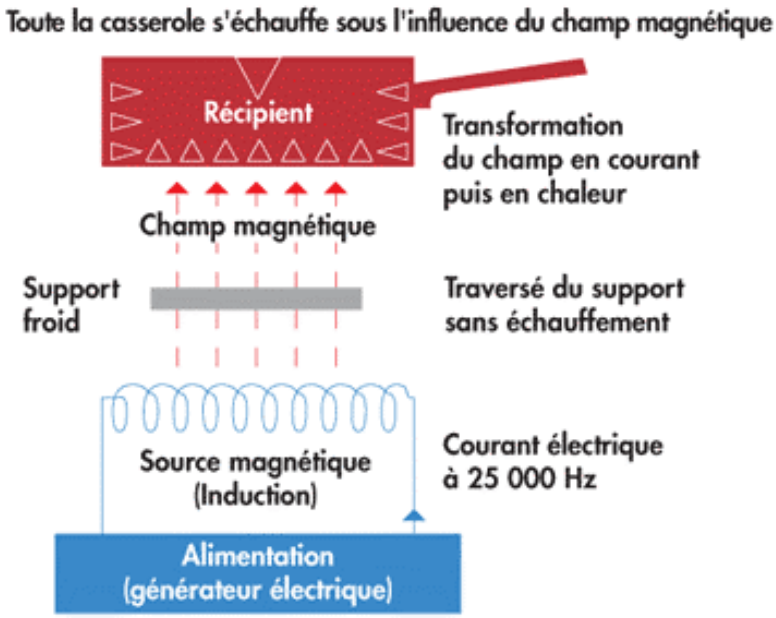
Quel est l'avantage des sachets rétractables ? Après la mise sous-vide, l'apport de chaleur brutal permet à la matière plastique de se rétracter autour du produit. Il épouse complètement sa forme, empêchant la constitution de l'exsudat. Recommandé pour les produits tels que les rôtis, les poissons…
Les matériaux non rétractables conviennent, de ce fait, mieux aux plats en sauce ainsi qu'aux produits décorés.
On ne s'aventure pas n'importe comment dans le sous-vide qui nécessite une recherche d'adéquation parfaite entre le matériel pour faire le vide et les matériaux utilisés pour l'emballage.

La tendance induction

Le foyer par induction utilise un convertisseur de fréquence qui transforme le courant 50 hertz du réseau 220 V en courant 25 à 30 kg hertz de fréquence. Ce courant de fréquence élevée ainsi généré passe au travers d'une bobine constituée d'un fil électrique, créant un champ électromagnétique variable (la bobine remplaçant la résistance traditionnelle). Ce champ induit dans tout conducteur métallique, des courants électriques (courants de Foucault), qui produisent un échauffement rapide du métal ferritique.

Schéma 1 Doc. EDF

Le fonctionnement d'une plaque à induction



Les avantages
Suppression de l'inertie remarquable sur les plaques à accumulation, il en résulte une très grande souplesse d'utilisation. Economie d'énergie de 50 à 80 % selon l'utilisation par rapport aux plaques traditionnelles, due principalement à l'absence de consommation en absence de récipient. Moins de risque de brûlure, de débordement et d'incendie. Nettoyage aisé. Supporte les récipients en fer, fer émaillé, fonte acier, acier inox ferritique. Une remarque cependant, il est nécessaire de ventiler les inducteurs. Les avantages combinés de la plaque " coup de feu " et de la plaque " mijotage " permettent des cuissons minutes (sauté, meunière), des réductions, des cuissons lentes (poché, glaçage) et des cuissons vives à l'anglaise.

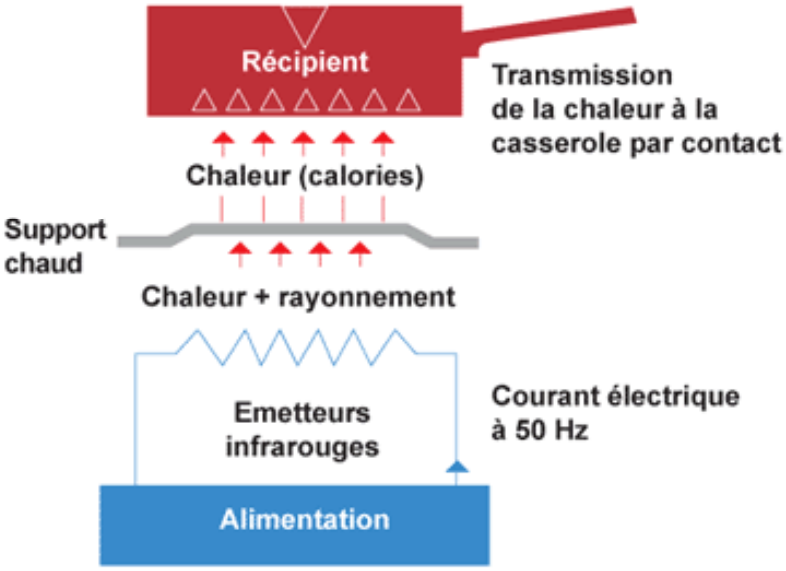
L'infrarouge en deux mots

Foyers radiants
Des brûleurs radiants ou des résistances à base de matériaux supportant les hautes températures rougissent très rapidement et rayonnent à travers la vitrocéramique. La chaleur se transmet par rayonnement et par conduction. Un détecteur de casserole sécurise et optimise le système. La vitrocéramique est la surface sur laquelle on pose les récipients de cuisson. C'est un matériau plus dur que l'acier, qui ne raye pas, et ne se dilate pratiquement pas. Etanche, résistante aux chocs mécaniques et thermiques, elle est transparente aux rayonnements infrarouges et magnétiques. A ces avantages techniques, il faut ajouter sa facilité de nettoyage avec une éponge et détergents autorisés, suivi d'un rinçage à l'eau claire.

Foyers halogènes
Il s'agit de lampes à filaments de tungstène renfermant un gaz halogène. Ces lampes sont placées dans un réflecteur qui renvoie la lumière infrarouge. Les avantages sont: la montée en température ultra rapide, la maîtrise de la puissance calorifique, la visualisation de l'intensité, la sécurité, le nettoyage aisé et l'utilisation de récipients standards, à fonds plats. Ces plaques permettent les mêmes types de cuisson que les foyers induction avec une souplesse sensiblement égale et une rapidité de chauffe remarquable, en 5 secondes.

Schéma 2 Doc. EDF

Le fonctionnement d'une plaque infrarouge



Quand la vapeur s'échappe

Polycuiseur
Des résistances blindées associées à l'action d'un ou plusieurs ventilateurs permettent le brassage mécanique de l'air. Ce brassage accélère les échanges thermiques et permet de réaliser des cuissons sans préchauffage. L'air chaud étant homogénéisé, la température est rigoureusement identique partout à l'intérieur de l'enceinte. Un générateur de vapeur accroît encore les possibilités de l'appareil qui devient alors équivalent à un cuiseur sans pression. Le four est capable de réaliser différentes fonctions : la convection forcée (air pulsé), la fonction mixte (vapeur intermittente) ou le cuiseur seul. Le tout, en un seul appareil.

Avantages : Régularité et précision de cuisson exceptionnelles avec des pertes de poids minimales. Economie d'énergie par son préchauffage quasi inexistant et par des cuissons à températures légèrement inférieures à la normale. Nettoyage aisé. Les températures étant moins élevées, les projections et les graisses brûlées sont moins importantes. Surveillance réduite grâce à la programmation. En atmosphère sèche : toutes les utilisations d'un four classique, les pâtisseries, les rôtis, les rissolages… sont réalisables. En atmosphère humide ou pulvérisation séquentielle de vapeur : les rôtis de viande blanche, de volaille, les poêlés et la remise en température sont possibles. En mode vapeur : les légumes, les poissons, les préparations sous-vide sont les plus adaptés.

Cuiseur vapeur
Dans les cuiseurs sans pression, l'eau nécessaire à la vaporisation peut être placée en partie basse de l'appareil. Dans les appareils à pression, l'eau est toujours chauffée par un générateur autonome, à des températures supérieures à 100 °C. Les pressions varient de 0,2 à 2 bars et parfois plus. L'installation d'un adoucisseur d'eau est généralement prescrite par les constructeurs. Les capacités des appareils vont de 10 à 50 litres et sont réglementées. Certains modèles possèdent deux enceintes de cuisson. Dans tous les cas, elles reçoivent des éléments gastronormes pleins ou perforés 1/1. 4 types d'appareils se distinguent sur le marché. Les cuiseurs à vapeur humide qui fonctionnent sous pression atmosphérique. Les cuiseurs à vapeur sèche basse pression (0,2 à 0,5 bar et 102 à 110 °C). Les cuiseurs à vapeur sèche haute pression (1 à 2 bars et 120 à 140 °C). Les multicuiseurs : des appareils qui combinent les trois versions en proposant le choix de la pression atmosphérique.

Un contact très étroit

Grillade
La grillade électrique barreaudée est excellente pour les viandes et les poissons gras. Elle donne de moins bons résultats pour les poissons fragiles du type sole, rouget… La grillade fonte pentée a longtemps été la meilleure solution gaz. Elle reste un produit fiable, bien placé en prix. Ses faiblesses : tendance à ferrer en première passe, production soutenue difficile, nettoyage compliqué et taille limitée. Les plaques acier rainurées " ne sont pas forcément propices aux grillades ", avoue certains fabricants. " L'eau des exsudats rejetés par la viande ou le poisson se vaporise dans les rainures et crée une ambiance de vapeur saturée plus propice à la cuisson bouillie que saisie. Par contre, le marquage est correct. " Une bonne solution pour simplement marquer l'aliment, avant ou après une autre cuisson. En version chromée, son intérêt se limite aux viandes blanches et aux poissons.

Plancha
Plus élaborées que les grillades, les cuissons poêlées demandent de la matière grasse pour diminuer l'accrochage, augmenter la surface de contact et développer les arômes. La plaque acier lisse, plancha ou plaque à snacker est incontestablement l'appareil le mieux adapté à cette cuisson. La matière grasse est directement déposée sur la plaque et la cuisson peut être dosée en déplaçant le produit de la zone centrale vers les bords moins chauds. La surface plus chaude est proportionnellement plus importante sur la grande plaque que sur le 1/2 module. De ce fait, les grandes plaques sont préférables pour les productions de masse d'un nombre important de produits identiques, alors que les plaques 1/2 module conviennent mieux en restauration gastronomique. La plaque bimétal polie a été développée pour améliorer les petits défauts de la plaque acier ; à savoir, sa présentation parfois oxydée et son aspect noir à l'usage. La plaque bimétal, du fait de ses 3 mm d'inox, n'échange pas aussi bien la chaleur. Elle ne saisit pas de la même façon et il faut travailler à une température très supérieure (60 à 80 °C) pour obtenir un résultat satisfaisant. Cette différence peut être très appréciée pour les pièces un peu épaisses, les viandes blanches et les poissons. La plaque chromée dure est limitée en température pour améliorer la tenue du chrome. Ce type de plaque est, à l'origine, destiné aux cuissons homogènes de la périphérie au cœur d'une pièce de produit généralement surgelée, sans forcément rechercher une coloration extérieure. En dehors de sa fonction d'origine, cette plaque lisse ou même partiellement rainurée, peut donner de bons résultats sur quelques produits fragiles cuisant à basse température, comme le poisson. Elle est, par contre, à proscrire pour les viandes rouges dans sa conception d'origine. Aujourd'hui, l'aspect flatteur et la nettoyabilité dus au chrome poussent quelques fois les clients à retenir ces plaques alors que l'usage qu'ils en attendent est celui d'une plaque acier.

Nettoyage
Pour toutes les opérations évoquées ci-dessus, le nettoyage fréquent de l'appareil de cuisson est indispensable à un résultat de qualité. Pour les plaques lisses, la spatule inox est l'outil le plus efficace et le plus respectueux de l'intégrité de la surface de l'appareil. Les grillades à barreaux sont plus facilement nettoyables avec des brosses métalliques en laiton.

Matériel à revêtement anti-adhésif
Depuis de nombreuses années maintenant, poêles, sauteuses et russes présentent des revêtements à base de téflon ou dérivés qui permettent des cuissons sautées plus diététiques, sans ajout de matière grasse. Les aliments n'attachent pas à l'ustensile. Cette façon de cuisiner préserve l'aliment de toute dénaturation, la fantaisie culinaire doit se situer au niveau de l'accompagnement.

Intense rayonnement

Qu'elle fonctionne au gaz ou à l'électricité, la salamandre était utilisée, jusqu'à présent, pour des gratins rapides ou légers, des glaçages ou de manière moins académique, pour réchauffer les assiettes. A ces fonctions traditionnelles, viennent s'ajouter des usages plus modernes comme " sécher " des préparations conditionnées sous-vide afin de leur redonner du croustillant. Elle sert également à cuire rapidement et violemment de petits crustacés; à cuire directement dans l'assiette de fines escalopes ou lamelles de produits particulièrement fragiles et délicats.

La mode " wok "

La cuisine au wok est à la mode. Et pourtant, c'est l'un des plus anciens ustensiles de cuisson, entré dans les mœurs il y a plus de 3 000 ans. Ayant connu son essor lors de la pénurie de bois à brûler, cette " poêle-casserole " a permis de préparer des plats chauds tout en économisant un maximum d'énergie grâce à sa forme hémisphérique. Un des avantages du wok est d'obtenir une cuisson homogène de tous les ingrédients. Le fond concave du wok et ses hauts bords recourbés répartissent la chaleur bien plus uniformément que d'autres poêles classiques. Des aliments sautés au-dessus d'une source de chaleur vive conservent mieux leurs couleurs fraîches, leurs saveurs originales et leurs vitamines, que lorsqu'ils sont cuits selon d'autres méthodes. Ce mode de cuisson rapide est également économique. Même si vous optez pour une viande tendre et juteuse, n'en prenez que de petites quantités, généralement mélangées à différentes sortes de légumes. D'autre part, la cuisson au wok ne demande que peu de matière grasse. Un wok s'entretient sans problème. Les aliments ne s'attachent jamais au wok puisqu'ils sont continuellement remués. Plusieurs techniques de cuisson sont applicables au wok : - La méthode " chao " ou " stir-frying " est un mode de cuisson typique de la cuisine chinoise. Son principe consiste à graisser deux fois le wok à l'huile. Puis il faut verser l'huile chaude dans un récipient résistant à la chaleur. Les ingrédients doivent être détaillés en morceaux de 2 cm, puis cuits dans très peu d'huile, tout en les retournant constamment. L'huile doit être très chaude pour que la viande s'entoure rapidement d'une enveloppe croustillante. - Frire en utilisant une huile de qualité, d'un goût neutre. Faire dorer les ingrédients lentement, à basse et moyenne température, ou les faire frire brièvement à température vive. - Etuver en graissant le wok, en y déposant les ingrédients nécessaires puis en les recouvrant de liquide. - La cuisson vapeur est également possible. Déposer un ou plusieurs paniers en bambou. Ces paniers doivent avoir un diamètre inférieur à celui du wok et posséder un couvercle bien ajusté. La cuisson vapeur convient particulièrement aux préparations fines et fragiles, aux chaussons ou roulades de pâtes farcies. Plonger d'abord le panier dans l'eau, puis y déposer les aliments à cuire. Verser de l'eau dans le wok et porter à ébullition.

Remise en température en vitesse

A la vapeur

L'utilisation de la vapeur sans pression permet de porter à une température de + 63 °C dans des délais satisfaisants, les plats cuisinés élaborés à l'avance, avec une bonne restitution organoleptique du produit. Remarque: grand intérêt des matériels polyfonctionnels comme le cuiseur multipression ou le polycuiseur.

Aux micro-ondes

Essentiellement destinées à la remise en température des plats cuisinés, les enceintes micro-ondes peuvent également cuire les aliments. Les ondes électromagnétiques traversent l'air et la plupart des matériaux (sauf les métaux qui les réfléchissent). Ces ondes sont principalement absorbées par l'eau composant la majorité des aliments. Cette absorption se traduit par une agitation moléculaire qui élève la température de l'aliment. Dans le cas des produits conditionnés sous-vide, il est nécessaire de percer les sachets pour laisser s'échapper la vapeur produite dans le sac lors de la régénération.

En bain-marie

Ce procédé n'a rien de nouveau dans son principe; simple à mettre en œuvre et économique, il permet d'assurer, dans de bonnes conditions, la remise en température des produits conditionnés sous-vide. Pour une diffusion régulière de la chaleur, les sachets doivent être accrochés en position médiane par pinces ou déposés dans des paniers type friteuse. Chaque compartiment ainsi délimité correspond à une minuterie avec sonnerie et voyant électrique clignotant permettant le réglage individuel des temps de remise en température. Au terme de ces durées, l'opérateur est averti par sonnerie et clignotant.

Quand le pilotage informatique s'en mêle

Tant dans le domaine de la conserve appertisée que du sous-vide, les matériels de type industriel (cuiseurs, refroidisseurs) sont tous dirigés par un programme informatique. La percée des nouvelles technologies dans les unités de restauration a permis de voir depuis quelques années des matériels autonomes associant leur fonction principale à un ordinateur pour gérer les cuissons ou les phases de refroidissement. Viennent maintenant s'intégrer les circuits de machines (cuiseurs, sauteuses, friteuses, cellules…) en réseau informatique. Ces différents appareils, branchés à une prise informatique, sont non seulement " pilotés " par un ordinateur mais surtout communiquent constamment les différents paramètres du traitement des denrées (température et temps) permettant ainsi une traçabilité fiable et simple dans le cadre de la méthode HACCP. De plus, l'opérateur, en cas d'anomalie, peut corriger les données à tout moment, depuis n'importe quel ordinateur relié au réseau.

Il est donc possible, pour chaque cuisson, d'enregistrer les paramètres de température à cœur, température de l'enceinte et temps de cuisson. Les données peuvent être éditées toutes les minutes. Connecté en permanence avec les appareils de cuisson, le logiciel peut offrir les fonctionnalités suivantes : gestion des appareils installés, gestion des programmes de cuisson, bibliothèque de cuisson, création de programmes, importation et exportation, protocolisation des cuissons avec identification du programme de cuisson, calcul des valeurs pasteurisatrices et archivage informatique. Les données HACCP sont présentées sous forme de graphique ou de tableau.

La cuisine collective Mai 2004

ANNEXE 4 : LE SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES (S.I.)

l définit, depuis 1960, de manière cohérente pour chaque grandeur physique une unité de mesure. Il comprend actuellement 7 unités de base (le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le Kelvin, la mole, le candéla) et des unités supplémentaires et dérivées. Il autorise, dans certains cas, l'utilisation de quelques unités hors système.

Grandeurs	Symboles	Unités	Symboles
LONGUEUR	**L, l**	mètre	**m**
aire	**S, s**	mètre carré	**m^2**
volume	**V**	mètre cube	**m^3**
angle plan	**α**	radian	**rad**
angle solide	**Ω**	stéradian	**sr**
TEMPS	**t**	seconde	**s**
vitesse	**v**	mètre par seconde	**m/s ou $m.s^{-1}$**
accélération	**γ, g**	mètre par seconde par seconde	**m/s^2 ou $m.s^{-2}$**
vitesse angulaire	**ω**	radian par seconde	**rad/s ou $rad.s^{-1}$**
fréquence	**f**	Hertz	**Hz**
MASSE	**m**	kilogramme	**kg**
masse volumique	**ρ**	kilogramme par mètre carré	**kg/m^3 ou $kg.m^{-3}$**
force	**F**	Newton	**N**
pression	**p**	Pascal	**Pa**
énergie, travail	**W, E**	Joule	**J**
puissance	**P**	Watt	**W**
QUANTITE DE MATIERE	**N**	mole	**mol**
TEMPERATURE	**θ, T**	Kelvin	**K**
quantité de chaleur	**Q, W**	Joule	**J**
chaleur massique	**c**	Joule par kilogramme et par Kelvin	**$J/kg.K$ ou $J.kg^{-1}.K^{-1}$**
conductivité thermique	**λ**	Watt par mètre et par Kelvin	**$W/m.K$ ou $W.m^{-1}.K^{-1}$**
INTENSITE D'UN COURANT	**I, i**	Ampère	**A**
quantité d'électricité	**q**	Coulomb	**C**
champs électrique	**E**	Volt par mètre	**V/m ou $V.m^{-1}$**
tension ou d.d.p.	**U, u**	Volt	**V**
résistance	**R**	Ohm	**Ω**
conductance	**G**	Siémens	**S ou A/V ou $A.V^{-1}$**
résistivité	**ρ**	Ohm-mètre	**$\Omega.m$**
capacité électrique	**C**	Farad	**F**
champ magnétique	**H**	Ampère par mètre	**A/m ou $A.m^{-1}$**
induction magnétique	**B**	Tesla	**T**
flux d'induction magnétique	**Φ**	Weber	**Wb**
inductance	**L**	Henry	**H**
INTENSITE LUMINEUSE	**I**	candéla	**cd**
éclairement	**E**	lux	**lx**
flux lumineux	**F**	lumen	**lm**
luminance	**L**	candéla par mètre carré	**cd/m^2 ou $cd.m^{-2}$**

On forme les multiples et les sous-multiples d'une unité en ajoutant, au nom de l'unité, un préfixe qui dépend du facteur par lequel l'unité a été multipliée :

multiples			sous-multiples		
facteur	préfixe	symbole	facteur	préfixe	symbole
10^{18} = 1 000 000 000 000 000 000	exa	E	10^{-1} = 0,1	déci	d
10^{15} = 1 000 000 000 000 000	peta	P	10^{-2} = 0,01	centi	c
10^{12} = 1 000 000 000 000	téra	T	10^{-3} = 0,001	milli	m
10^{9} = 1 000 000 000	giga	G	10^{-6} = 0,000 001	micro	µ
10^{6} = 1 000 000	méga	M	10^{-9} = 0,000 000 001	nano	n
10^{3} = 1 000	kilo	k	10^{-12} = 0,000 000 000 001	pico	p
10^{2} = 100	hecto	h	10^{-15} = 0,000 000 000 000 001	femto	f
10^{1} = 10	déca	da	10^{-18} = 0,000 000 000 000 000 001	atto	a

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1 : MÉTHODOLOGIE 2

1. ANALYSE FONCTIONNELLE 2
2. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE FONCTIONNELLE 4
3. ORGANIGRAMME D'UNE ANALYSE FONCTIONNELLE 4

CHAPITRE 2 :NOTIONS DE THERMODYNAMIQUE 5

1. NOTION D'ÉNERGIE 5
   - 1.1. Définition 5
   - 1.2. Différentes formes d'énergie 5
   - 1.3. Unités d'énergie 5
   - 1.4. Transformation de l'énergie 5
   - 1.5. Rendement 5
   - 1.6. Puissance 6
2. TEMPÉRATURES 6
   - 2.1. Interprétation 6
   - 2.2. Echelles de température 6
   - 2.3. Procédés de repérage des températures 6
   - 2.4. Thermomètres 7
     - 2.4.1. Thermomètre à dilatation des liquides 7
     - 2.4.2. Thermomètre à bilame 7
     - 2.4.3. Thermomètre à thermocouple électrique 7
     - 2.4.4. Thermomètre à résistance électrique 8
     - 2.4.5. Thermomètre à infra-rouge 8
   - 2.5 Thermostats 8
     - 2.5.1. Thermostats à bilame 8
     - 2.5.2. Thermostats bimétallique fixe 8
     - 2.5.3. Thermostats à canne 8
     - 2.5.4. Thermostats à bulbe 9
     - 2.5.5. Thermostats à thermocouple électrique 10
3. ETATS DE LA MATIÈRE 10
4. QUANTITÉ DE CHALEUR 12
   - 4.1. Production de chaleur 12
   - 4.2. Convention de signe 12
   - 4.3. Unités de quantité de chaleur 12

5. CHALEUR ET TEMPÉRATURE 12
5.1. Quantité de chaleur échangée par un corps qui ne change pas d'état. 12
5.2. Capacité thermique massique 13
5.3. Quantité de chaleur échangée par un corps qui change d'état. 13
5.4. Quelques données 14
5.5. Exemple de cas pratiques, calculs numériques 14

6. ETAT GAZEUX ET VAPORISATION 18
6.1. Pression 18
6.1.1. Unités de pression 18
6.1.2. Pression dans un liquide au repos 18
6.1.3. Pression d'un gaz au repos 19
6.2. Propriétés des gaz 19
6.3. Gaz parfait 19
6.4. Pression de vapeur, vapeur sèche, vapeur saturante 20

7. CHANGEMENTS D'ÉTATS D'UNE SOLUTION BINAIRE 21

8. TRANSFERTS DE CHALEUR 22
8.1. Propagation par conduction 23
8.2. Propagation par convection 23
8.3. Propagation par rayonnement 24

9. TRAVAIL ET CHALEUR 25

10. PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE 26

11. DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE 26

12. THÉORÈME DE CARNOT 27

13. RENDEMENT THERMIQUE D'UNE MACHINE THERMIQUE 27
13.1. Rendement thermique d'un moteur thermique 27
13.2. Rendement thermique d'une Pompe à chaleur ou d'une machine frigorifique 27

14. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES À CHALEUR 28

15. DIFFÉRENTS ORGANES D'UNE POMPE À CHALEUR (P.A.C.) 30

CHAPITRE 3 : APPAREILS FRIGORIFIQUES 34

1. ETUDE DE LA FONCTION PRINCIPALE : PRODUIRE DU FROID DANS UNE ENCEINTE ISOLÉE 33
1.1. Principe de la production du froid 33
1.2. Phénomènes produisant du froid 33
1.2.1. Changements d'état de la matière 33
1.2.2. Evaporation 33
1.2.3. Dissolution 34
1.3. Systèmes de froid artificiel 34
1.4. Réfrigération mécanique 34
1.4.1. Principe de fonctionnement 34
1.4.2. Puissance 38
1.4.3. Commande et régulation 38
1.4.4. Fluides frigorigènes 38
1.4.5. Evaporateur 39
1.4.6. Organes de détente 39
1.4.7. Condenseur 40
1.4.8. Compresseur 40
1.4.9. Système de dégivrage 41
1.5. Réfrigération par absorption 41
1.6. Réfrigération cryogénique 43

2. AUTRE FONCTION PRINCIPALE : CONTENIR LES ALIMENTS 45

3. FONCTIONS SECONDAIRES 45
3.1. Informer l'utilisateur 45
3.2. Assurer la traçabilité 45

3.3. Assurer la sécurité ... 45
3.4. Permettre l'entretien ... 45
3.5. Limiter les pertes de froid ... 46
3.6. Déplacer l'appareil ... 46

4. CADRE RÉGLEMENTAIRE ... 46
4.1. réglementation en restauration commerciale ... 46
4.2. Reglementation en restauration collective ... 47

5. CONSERVATION DES ALIMENTS PAR LE FROID ... 50
5.1. Altération des aliments ... 50
5.2. Effets du froid contre l'altération des aliments ... 50
5.3. Congélation et surgélation des aliments ... 52
5.3.1. Avantages : ... 52
5.3.2. Etude physique ... 52
5.3.3. Entreposage ... 54
5.3.4. Décongélation : ... 54

6. EQUIPEMENTS DOMESTIQUES ... 55
6.1. Réfrigérateurs domestiques ... 55
6.2. Réfrigérateurs congélateurs ... 55
6.3. Congélateurs domestiques ... 55
6.4. Zones de froid ... 56

7. CHAMBRES FROIDES ET ARMOIRES FRIGORIFIQUES ... 58
7.1. Définition ... 58
7.2. Critères de choix ... 59
7.3. Armoires frigorifiques ... 59
7.4. Chambres froides ... 60
7.4.1. Chambre froide compacte ... 61
7.4.2. Chambre froide modulable ... 61
7.4.3. Chambre froide bâtie ... 61
7.5. Entretien et maintenance de premier niveau ... 62

8. CELLULES DE REFROIDISSEMENT ET DE CONGÉLATION RAPIDE ... 62
8.1. Définition ... 62
8.2. Critères de choix ... 62
8.3. Caractéristiques ... 62
8.4. Cellules à froid mécanique ... 63
8.5. Cellules cryogénique ... 63
8.6. Cellules mixtes ... 64

9. RÉGLEMENTATION, SÉCURITÉ ... 64

10. ENTRETIEN ... 64

11. EXERCICES ET CORRIGÉS ... 64

12. SYSTÈME DE SURGÉLATION INDUSTRIELLE ... 68
12.1. Tunnel à air forcé ... 68
12.2. Congélateurs à lit fluidisé ... 68
12.3. Congélateurs à plaques ... 69
13.4. Congélation par aspersion (cryogénie) ... 69

CHAPITRE 4 : APPAREILS DE CUISSON ET DE MAINTIEN OU DE REMISE EN TEMPÉRATURE ... 73

1. FONCTIONS PRINCIPALES ... 73
1.1. Elever la température des aliments ... 73
1.1.1. Produire la chaleur de cuisson et de réchauffement des aliments: ... 73
1.1.2. Transmettre la chaleur à l'aliment, suivant son mode de cuisson : ... 73
1.2. Eventuellement contenir les aliments et/ou le fluide de cuisson ... 73

2. FONCTIONS SECONDAIRES ... 73
2.1. Régler la production d'énergie thermique ... 73
2.2. Réguler la température ... 74
2.3. Commander ... 74
2.4. Programmer le fonctionnement dans le temps ... 74
2.5. Informer ... 74
2.6. Assurer la sécurité ... 74
2.7. Permettre l'entretien et une utilisation ergonomique ... 74
2.8. Limiter les pertes d'énergie ... 75

3. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ... 75
3.1. Critères de choix des appareils de cuisson ... 75
3.2. Caractéristiques techniques ... 75
3.3. Entretien et maintenance de premier niveau des appareils professionnels ... 76
3.3.1. Vérifications périodiques ... 76
3.3.2. Appareils à gaz ... 76
3.3.3. Nettoyage ... 76

4. SOURCES D'ÉNERGIE ... 77

5. PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR EFFET JOULE ... 77
5.1. Notions d'électricité ... 77
5.1.1. Le courant électrique ... 77
5.1.2. Intensité et tension ... 77
5.1.3. Puissance électrique ... 77
5.1.4. Energie électrique ... 78
5.1.5. Courant triphasé ... 78
5.1.6. Sécurité ... 78
5.2. Transformation de l'énergie électrique en chaleur ... 80
5.2.1. Effet Joule et loi de Joule ... 80
5.2.2. Loi d'Ohm ... 80
5.2.3. Résistance d'un conducteur ... 81
5.3. Résistances blindées ... 81
5.4. Organes de régulations des appareils électriques ... 81
5.4.1. Régulation thermostatique ... 81
5.4.2. Réglage de l'énergie thermique produite par effet Joule (allures) ... 82
5.4.3. Programmation ... 82
5.5. Dispositifs de sécurité ... 82

6. PRODUCTION DE CHALEUR PAR COMBUSTION ... 82
6.1. Combustions ... 82
6.2. Conditions d'une bonne combustion ... 83
6.3. Pouvoir calorifique ... 83
6.4. Gaz combustibles ... 84

7. LES BRÛLEURS À GAZ ... 85
7.1. Brûleur atmosphérique ... 85
7.2. Brûleur à air soufflé à prémélange ... 86
7.3. Brûleur séquentiel ... 86
7.4. Allumage automatique ... 87
7.5. Régulation ... 88
7.5.1. Régulation thermostatique ... 88
7.5.2. Réglage de l'énergie thermique produite (allures) ... 88
7.5.3. Programmation ... 88
7.6. Sécurité ... 89

8. FOYERS DE CUISSON ... 91
8.1. Foyers obscurs ou Plaques de cuisson ... 91
8.1.1. Principe ... 91
8.1.2. Systèmes de régulation ... 91
8.1.3. Entretien ... 95
8.1.4. Récipients culinaires ... 98
8.2. Tables vitrocéramiques ... 98

8.2.1. Principe ... 98
8.2.2. Foyers radiants ... 98
8.2.3. Foyers à halogène ... 98
8.2.4. Dimensions ... 98
8.2.5. Systèmes de régulation ... 989
8.2.6. Avantages des tables vitrocéramiques ... 989
8.2.7. Inconvénients ... 99
8.2.8. Sécurité ... 99
8.3. Foyers à induction ... 99
8.3.1. Quelques notions d'électromagnétisme ... 99
8.3.2. Courants de Foucault ... 100
8.3.3. Principe de fonctionnement de la plaque à induction ... 100
8.3.4. Caractéristiques ... 101
8.3.5. Avantages de la plaque à induction ... 102
8.3.6. Inconvénients de la plaque à induction ... 102

9. FOURS ... 102
9.1. Four à convection naturelle ... 102
9.1.1. Principe ... 102
9.1.2. Régulation ... 103
9.1.3. Programmation ... 103
9.1.4. Dispositifs de sécurité ... 103
9.1.5. Entretien ... 103
9.2. Four à convection forcée ... 103
9.2.1. Principe ... 103
9.2.2. Caractéristiques ... 105
9.2.3. Avantages du four à convection forcée sur le four classique ... 105
9.3. Enceintes à micro-ondes ... 105
9.3.1. Principe ... 105
9.3.2. Utilisation en mode décongélation ... 107
9.3.3. Utilisation en mode cuisson ou réchauffement ... 107
9.3.4. Description et fonctionnement ... 108
9.3.5. Sécurité ... 109
9.3.6. Caractéristiques ... 109
9.3.7. Régulation et programmation ... 109
9.3.8. Précautions d'utilisation ... 109
9.3.9. Avantages de l'enceinte à micro-ondes ... 110

10. CUISEUR - VAPEUR ... 114
10.1. Principe de fonctionnement ... 114
10.2. Définition ... 114
10.3. Types d'appareils ... 114
10.3.1. Cuiseur à vapeur humide (ou fluente) sans surpression ... 114
10.3.2. Cuiseur à vapeur sèche (ou surchauffée) sous pression ... 114
10.4. Caractéristiques ... 115
10.5. Régulation, programmation ... 115
10.6. Sécurité ... 115
10.7. Avantages du cuiseur-vapeur ... 115
10.8. Entretien ... 116
10.9. Polycuiseurs ... 116

11. FRITEUSES ... 116
11.1. Friteuses à zone froide ... 116
11.1.1. Définition ... 116
11.1.2. Caractéristiques ... 117
11.1.3. Régulation, programmation ... 117
11.1.4. Avantages de la friteuse à zone froide ... 117
11.1.5. Prévention, sécurité ... 118
11.1.6. Entretien ... 118
11.2. Friteuses sans bain d'huile ... 118
11.3. Friteuses à pression ... 118
11.4. Autres appareils de cuisson utilisés en restauration collective ... 118

11.4.1. Grils ou grilloirs ... 118
11.4.2. Salamandres ... 119
11.4.3. Rôtissoires ... 119
11.4.4. Sauteuses et marmites ... 119
11.4.5. Appareils multifonctions ... 120
11.4.6. Appareils de conservation chaude et de remise en température ... 120

ANNEXE 1 : AUTRES APPAREILS UTILISÉS EN RESTAURATION COLLECTIVE ... 125

1. APPAREILS DE LAVAGE DE LA VAISSELLE ... 125
1.1. Machines à paniers fixes à ouverture frontale, à capot mobile ou à tunnel ... 125
1.2. Machines à convoyeur ... 125
1.3. Schéma de fonctionnement d'une machine et différentes étapes du lavage ... 125
1.2.1. Prélavage ... 125
1.2.2. Lavage ... 125
1.2.3. Pré-rinçage ... 125
1.2.4. Rinçage ... 126
1.2.5. Séchage ... 126
1.4. Entretien de la machine ... 126

2. APPAREILS DE PRÉPARATION DES ALIMENTS ... 128
2.1. Eplucheuse Parmentière : ... 128
2.2. Cutter ... 128
2.3. Essoreuse à salade ... 128
2.4. Hachoir ... 128
2.5. Mélangeur ... 128
2.6. Tranche-pain ... 128
2.7. Trancheur ... 128

3. APPAREILS DE TRAITEMENT DES DÉCHETS ... 128
3.1. Compacteurs et Broyeurs de déchets ... 128
3.2. Evacuation des eaux usées ... 128

ANNEXE 2 : EXEMPLES D'ÉTUDES FONCTIONNELLES ... 130

1. MACHINE À LAVER LA VAISSELLE À USAGE COLLECTIF ... 130

2. CELLULES DE REFROIDISSEMENT RAPIDE ... 131

3. FRITEUSE À ZONE FROIDE. ... 132

ANNEXE 3 : MODES DE CUISSON, DES TECHNIQUES ÉVOLUTIVES (LA CUISINECOLLECTIVE MAI 2004) ... 133

ANNEXE 4 : LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS ... 141

TABLE DES MATIÈRES ... 142