

# Marmite de PAPIN

## Fonction

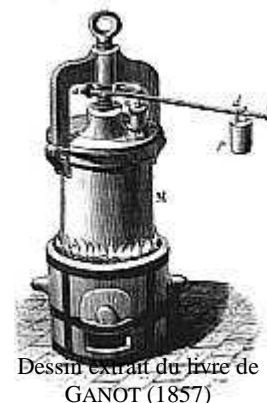
- **Didactique** et relative au changement d'état liquide-vapeur.

*PAPIN Denis (1647 – 1712) : médecin français connu surtout en tant que physicien et inventeur.*

## Description

➤ Cet appareil consiste en un **vase cylindrique** de bronze, très résistant, dont le **couvercle** est fortement maintenu par une vis de pression qui prend son écrou dans un arc métallique très fort fixé à la marmite par des clavettes. Des feuilles de plomb ou des bandes de carton mouillé peuvent être interposées entre les bords du couvercle et de la marmite pour que la fermeture soit la plus hermétique possible.

Sur le couvercle est adaptée une tubulure de bronze dans laquelle s'engage librement un boulon d'acier. Au-dessous de celui-ci, le couvercle est percé d'un petit trou fermé par une **soupape conique** sur laquelle s'appuie le boulon. Ce dernier est pressé sur la soupape par un **levier** chargé d'un poids que l'on peut déplacer le long du levier. La pression exercée sur le boulon est, bien sûr, d'autant plus grande que le poids est plus proche de l'extrémité. La charge de la soupape peut ainsi être réglée en faisant varier la position du poids.



## Quelques éléments de physique

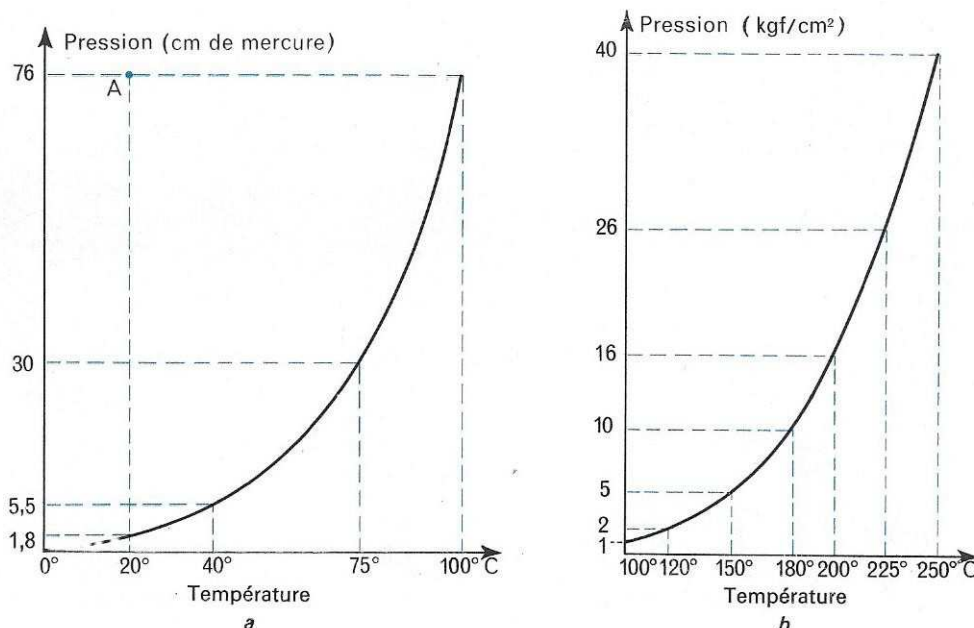
➤ Pour bien comprendre le déroulement de l'expérience, il est nécessaire au préalable, de rappeler quelques définitions et les lois fondamentales de **l'ébullition** des corps liquides.

Lorsque la vaporisation d'un liquide, c'est-à-dire le passage de l'état liquide à l'état gazeux, se fait au sein du liquide, on est en présence de l'ébullition. Si la vaporisation se fait uniquement par la surface de séparation du liquide et de l'air ambiant, on assiste à l'évaporation.

Lorsque, dans une enceinte fermée, le liquide est au contact de sa vapeur, cette vapeur est dite **saturante**. On montre expérimentalement que sa pression est la plus grande qu'elle puisse supporter : c'est la **pression maximale** de vapeur, caractéristique du corps pur et fixe pour une température déterminée. Si on essaie par exemple, à température constante, de diminuer le volume occupé par une certaine masse de vapeur saturante, la pression n'augmente pas parce que de la vapeur se liquéfie.

Par contre, la pression maximale augmente quand la température s'élève. Les courbes de la figure ci-dessous, appelées **courbes de vaporisation**, représentent les variations de la pression maximale  $P$  de la vapeur d'eau en fonction de la température  $t$ . Pour la courbe  $a$ , la

pression est exprimée en cm de mercure entre 0 et 100° C ; pour la courbe *b*, la pression est en kgf/cm<sup>2</sup> pour les températures allant de 100 à 250° C.



On vérifie qu'à la température de 100° C, la pression maximale est égale à 76 cm de mercure ou encore 1 kgf/cm<sup>2</sup> ≈ 1 atmosphère. On remarque également qu'elle augmente très rapidement au-delà de 100° C et qu'elle a pour valeur approchée, dans l'intervalle des températures (100° C, 250° C), l'expression de DUPERRAY :

$$P_{\text{kgf/cm}^2} \approx \left(\frac{t}{100}\right)^4$$
 C'est ainsi qu'elle est multipliée par 16 quand la température passe de 100 à 200° C.

➤ Il est facile de vérifier expérimentalement les lois fondamentales de l'ébullition :

**Première loi : sous une pression déterminée, l'ébullition d'un corps pur liquide commence et se poursuit à une température fixe.**

On sait que cette température d'ébullition (elle est alors dite *normale*) est égale à 100°C sous la pression atmosphérique **normale** c'est-à-dire égale à 76 cm de mercure (ou une atmosphère).

**Deuxième loi : un liquide pur bout à une température pour laquelle la pression maximale de la vapeur est égale à la pression que supporte le liquide.**

Il en résulte que les variations de la température d'ébullition d'un liquide pur, en fonction de la pression, sont représentées par la courbe de vaporisation que l'on appelle encore, pour cette raison, **courbe d'ébullition**. L'ébullition n'est donc bien qu'un aspect particulier de la vaporisation.

## Expérience

➤ On met de l'eau dans le vase que l'on chauffe. La pression supportée par l'eau liquide qui est aussi la pression de l'atmosphère intérieure  $P_i$  est égale à la pression de l'air emprisonné avec l'eau au moment de la fermeture du couvercle augmentée de la pression  $P$  de la vapeur d'eau qui se forme et s'accumule dans le récipient. Même si cette dernière augmente considérablement, elle reste toujours inférieure à la pression que supporte le liquide et l'ébullition est donc impossible : la température peut s'élever, sans que l'eau se mette à bouillir. À 120° C,  $P$  est voisine de 2 atmosphères, à 160° C elle dépasse 6 atmosphères.



➤ Lorsque la pression intérieure atteint une valeur suffisante pour que le levier soit soulevé, la soupape joue son rôle en laissant s'échapper, avec sifflement, du mélange gazeux air-vapeur d'eau. La soupape se comporte bien comme un organe de sécurité en empêchant une augmentation trop importante de la pression et en réduisant ainsi les risques d'explosion : cette **soupape de sureté**, adaptée à toutes les chaudières est certainement l'une des plus utiles inventions de Denis PAPIN.

Le mélange sortant est de plus en plus riche en vapeur à mesure que la fuite de gaz se prolonge et il arrive un moment où la presque totalité de l'air a été évacuée. L'eau entre alors en ébullition et si l'on continue de chauffer modérément, la masse d'eau qui se vaporise pendant un certain temps est égale à celle de la vapeur qui s'échappe pendant le même temps. Un équilibre dynamique s'établit et la température et la pression intérieures restent constantes : l'eau bout à la température définie par la pression de vapeur saturante, elle-même fonction de l'ouverture plus ou moins grande de la soupape.

Si l'on coupe le chauffage, la température diminue, bien sûr, jusqu'à la température ambiante, l'évolution de la pression intérieure dépendant de l'ouverture ou non de la soupape de sureté.

➤ Pour illustrer l'évolution des phénomènes à l'intérieur de la marmite, nous avons joint en **annexe**, un graphique communiqué par le Groupe SEB et qui représente des relevés de température réalisés lors d'une cuisson à l'intérieur d'une cocotte-minute qui n'est rien d'autre, comme nous allons le voir ci-dessous, qu'une marmite de Papin perfectionnée.

### Pour aller plus loin

➤ Les lecteurs intéressés pourront approfondir cette étude en consultant la thèse de Richard ROCCA-POLIMÉNI présentée en 2007, dans le cadre de l'AGROPARISTECH : « *Contribution à la compréhension de la cuisson domestique sous pression de vapeur* » et disponible à l'adresse :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/501027/filename/2007AGPT0045.pdf>

➤ Il pourra aussi trouver sur le site d'adresse :

<http://azprocede.pagesperso-orange.fr/aidehtml/introvapcocotte.html> un logiciel de

simulation dynamique des phénomènes à l'intérieur d'une cocotte-minute.

## Un peu d'histoire

### ➤ Le « digesteur » de PAPIN.

L'importance de la température de l'eau explique son grand pouvoir dissolvant : les os s'y ramollissent, la gélatine qu'ils contiennent est dissoute et l'on prépare ainsi du « bouillon de gélatine ». On a pu extraire de la gélatine d'os fossiles et l'on raconte même que vers le début du 19<sup>ème</sup> siècle, on a servi sur la table du préfet du Nord, de la gélatine extraite d'os de grands mammifères fossiles, c'est-à-dire d'animaux morts depuis plus de 6000 ans. On comprend pourquoi cet appareil est aussi dénommé **digesteur** de Papin.

Cet instrument, que Papin mit au point avec son confrère britannique Robert Boyle, a été décrit pour la première fois en Angleterre en 1681, sous le nom de *Nouveau digesteur*, dans un ouvrage qui fut traduit en français sous le titre : *Manière d'amollir les os, etc.* Papin le destinait particulièrement à la cuisson rapide des légumes et de la viande. Par la suite, il a été fait usage pendant quelque temps, dans les ménages, d'appareils analogues, que leur mode de fermeture a fait nommer *marmites autoclaves*. Malgré l'adjonction de la soupape de sûreté, ces ustensiles, entre des mains inexpérimentées, ont occasionné des accidents qui les ont fait abandonner.

### ➤ Le retour.



Il aura fallu attendre 1953 pour que la Société d'Emboutissage de Bourgogne (SEB) lance son autocuiseur en aluminium embouti, dénommé Super-Cocotte. Grâce à des ingénieurs astucieux, cette reprise du digesteur assorti d'innovations techniques connut très vite un grand succès, malgré les difficultés rencontrées par les « pionnières » de la cuisine à la cocotte-minute. Elles auront dû, en effet, oublier beaucoup de ce qu'elles avaient appris auprès de leur mère, acquérir de nouveaux réflexes et surtout ne pas oublier de diviser par deux ou trois les temps de cuisson. Après 50 ans d'existence et 50 millions d'unités vendues de par le monde, la super-cocotte et ses descendants constituent une belle réussite.

## Phénomènes physiques mis en jeu

➤ Température et pression d'un mélange liquide + vapeur chauffé à **volume constant** augmentent simultanément. La température de l'eau, en particulier, peut devenir bien supérieure à celle de l'ébullition "ordinaire", ce qui explique son grand pouvoir dissolvant.

➤ Le temps de cuisson, deux à trois fois plus faible que dans les conditions ordinaires, s'explique par l'augmentation avec la température de la vitesse des réactions chimiques, conséquence directe du comportement de certains électrons des composants conforme à l'« effet tunnel », phénomène typiquement quantique.

**Applications** : autocuiseur (ou cocotte-minute) comme on l'a vu ; autoclave utilisé pour stériliser les conserves, les instruments de chirurgie, etc...; chaudière des turbines à vapeur.

## BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

CESSAC J. et TRÉHERNE G., *Physique 2<sup>e</sup> C*, Nathan, Paris, 1966.

FAUCHER R., *Physique en seconde C & M*, Hatier, Paris, 1965.

GANOT A., *Traité élémentaire de Physique*, Hachette, Paris, 1857.

GANOT A., *Traité élémentaire de Physique*, Hachette, Paris, 1884.

TESTARD-VAILLANT P., « La Cocotte Minute a 50 ans ! », *Science & Vie*, 10/2003.

<https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/501027/filename/2007AGPT0045.pdf>

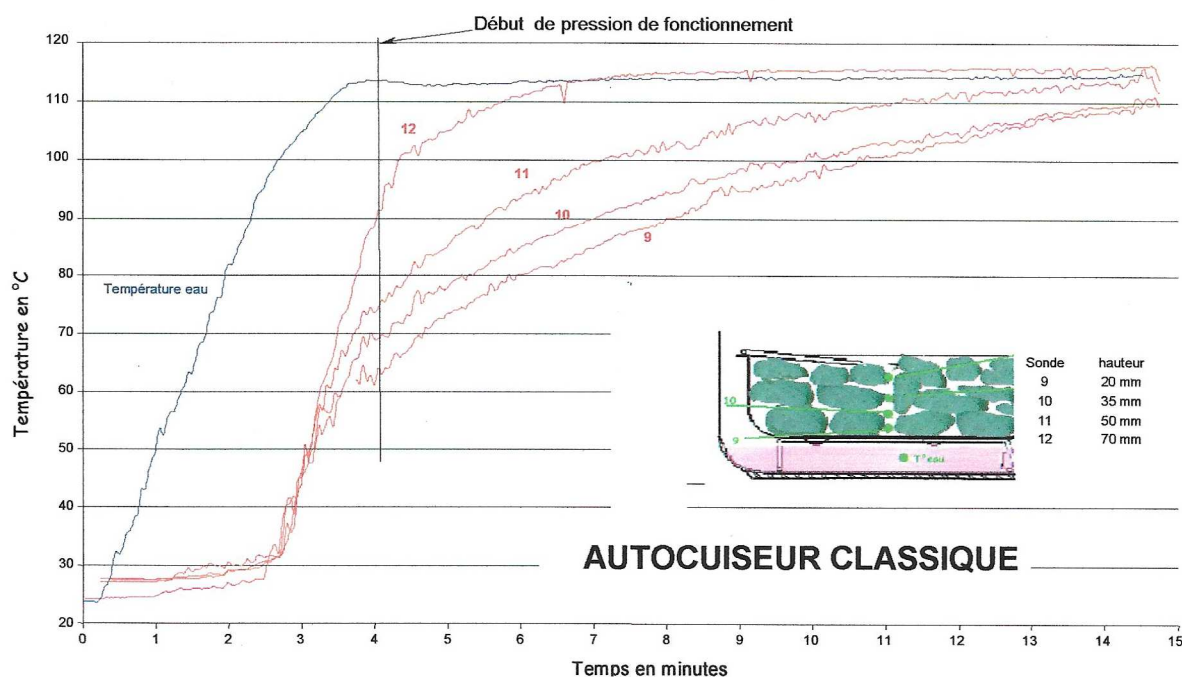
<http://azprocede.pagesperso-orange.fr/aidehtml/introvapcocotte.html>

## ANNEXE

### Relevés de température réalisés lors d'une cuisson avec un panier vapeur classique dans un autocuiseur classique (cocotte traditionnelle).

On observe que la température de fonctionnement relevée dans l'eau et dans la vapeur est de l'ordre de 112°C d'où l'on déduit, en utilisant la courbe d'ébullition ou la formule de DUPERRAY une valeur approchée de la pression de fonctionnement, soit 1,5 atmosphère.

Enfin, le dispositif « doigt d'aroma » correspond à une fonction de sécurité qui rend le produit étanche dès qu'il règne une légère surpression et bloque le moyen de commande de l'ouverture.



Autocuiseur classique disposant d'un panier et d'un doigt d'aroma.