

AFREM-Bretagne - Ingénierie et Matériel Agro-Alimentaire
14 Rue François-Robin
56100 LORIENT

Ecole Nationale d'Ingénieurs des Techniques des Industries Agricoles et Alimentaires
(ENITIAA)
Laboratoire de Génie des Procédés Alimentaires
Domaine de la Géraudière
44072 NANTES CEDEX 03

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER (IFREMER)
Laboratoire de Génie Alimentaire
Rue de l'Île d'Yeu
44037 NANTES CEDEX 01

CORNIER G., COLIN D., GUIHARD L., LE BAIL A., LEROY M., ORCIL Y.,
RANNOU M.H., VALLET J.L.

**ETUDE, CONCEPTION ET EXPERIMENTATION D'UN
PASTEURISATEUR INDUSTRIEL POUR LA PREPARATION
DE PLATS CUISINES EN CYCLE COURT**

ANNEXES

Avril 1994

Décision d'aide n° 89 G 0505

LISTE DES ANNEXES

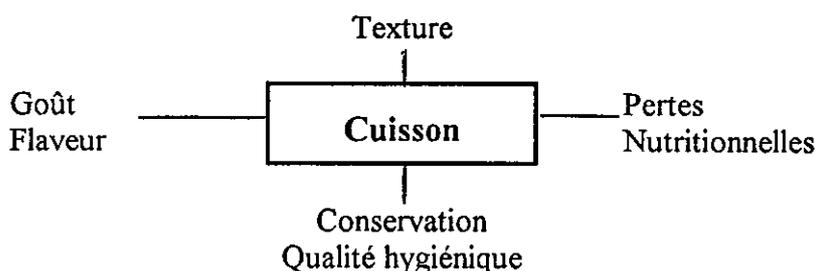
- Annexe n° 1 : La cuisson des produits alimentaires, Etude bibliographique, aspects théoriques.
- Annexe n° 2 : Les autres matériels de cuisson sous vide.
- Annexe n° 3 : Le matériel utilisé : système de mesure.
- Annexe n° 4 : Diagrammes d'étude de l'élévation de température à coeur des pains de tylose (chauffage électrique).
Diagrammes d'étude du refroidissement à coeur de pains de tylose.
- Annexe n° 5 : Fonctionnement du Tube Immergé Compact (TIC).
- Annexe n° 6 : Effet de la position des thermocouples sur la précision.
- Annexe n° 7 : Cahier des charges et automatisme du cuiseur-refroidisseur.
- Annexe n° 8 : Etude de cuissons sous vide en cycle court - cuisson du poisson.

ANNEXE n° 1

LA CUISSON DES PRODUITS ALIMENTAIRES, ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ASPECTS THEORIQUES

1.1) INTRODUCTION

La cuisson consiste à exposer un produit alimentaire à un flux thermique. Il en résulte une élévation de température, qui provoque des réactions d'ordre physico-chimique. En fonction des seuils thermiques atteints les transformations obtenues sont la plupart du temps irréversibles. (cf figure ci contre).



La connaissance et la maîtrise de ces seuils thermiques permettent de prévoir certaines modifications. Ainsi, on peut envisager d'orienter et de diriger les modifications organoleptiques des produits cuits, tout en essayant de diminuer les effets négatifs induits par une cuisson trop longue ou une température trop élevée (19). Il est en effet nécessaire de minimiser les effets négatifs dus à une surcuisson, d'autant que les critères technologiques (rendement...) et économiques (consommation d'énergie...) dépendent aussi des caractéristiques du traitement thermique (17).

Outre ces effets sur la qualité organoleptique des produits, le maintien à une température plus ou moins élevée se traduit par une destruction plus ou moins importante des micro-organismes.

TABLEAU DES EFFETS NEGATIFS :

QUALITE	MODIFICATION	EFFET NEGATIF
couleur	évolution et stabilisation	Dégradation de la lysine, qui participe aux réactions de Maillard.
tenue	→ coagulation des protéines et des liants → bonne émulsification → solubilisation du collagène	Rupture du film protéique assurant l'émulsification des graisses.
goût	activation des enzymes entre 30 et 50°C	→ destruction de ces enzymes, quasi totale à 70°C, totale à 80°C, → dégradation de certains acides aminés influençant le goût et l'odeur du produit.
valeur nutritionnelle		→ pertes en jus, minéraux et vitamines → dégradation des vitamines C et B1 → dégradation de certains acides aminés essentiels, que l'organisme ne peut pas synthétiser (tryptophane, lysine, méthionine, thréonine...)

1.2) LES EFFETS DE CUISSON SPECIFIQUES A CHAQUE CATEGORIE D'ALIMENT

Les effets de cuisson sont souvent différents d'un type d'aliment à l'autre (viande, poisson, légume, sauce). En effet, certaines interactions entre composés seront prépondérantes suivant la composition de l'aliment et le mode de cuisson appliqué (impact des habitudes culinaires).

Les attentes du consommateur sont également spécifiques. Ainsi, on recherchera la tendreté et la jutosité pour une viande, une texture ferme pour le poisson, une couleur éclatante pour les légumes...

1.2.1) LA CUISSON DE LA VIANDE :

Tout traitement thermique affecte plus ou moins les constituants de la viande et influe sur les caractéristiques organoleptiques: apparence, texture, flaveur et valeur nutritionnelle (19).

La composition complexe de la viande va engendrer une multitude de réactions physico-chimiques, dont les principales sont:

- la dénaturation des protéines par précipitation et gélification;
- la fusion des lipides et l'apparition de composés volatils;
- une inactivation des enzymes;
- la labilisation des vitamines et la perte de certains minéraux par diffusion dans le jus;
- une interaction entre les précurseurs de la flaveur (acides aminés et glucides) (19).

L'importance de ces transformations dépend de trois facteurs:

- le type de traitement thermique (voie humide ou voie sèche);
- l'intensité du traitement thermique;
- la composition moyenne de la viande (14) (22) :
 - *eau: 75%
 - *protéines : 20%, dont 25 à 30% de protéines sarcoplasmiques (myoglobine, enzymes glycolytiques), 50% de protéines myofibrillaires (actine, myosine), et 10 à 15% de protéines du tissu conjonctif (collagène, élastine);
 - *lipides: 3%;
 - *glucides: 1,2%;
 - *sels minéraux: 0,7%.

La qualité d'une viande cuite sera définie selon sa couleur, sa jutosité, son goût et sa tendreté.

* La couleur (14).

La couleur de la viande dépend non seulement de l'état de son pigment, la myoglobine, mais aussi de l'état physique et chimique des autres constituants.

La couleur rouge perçue à l'état cru dépend de l'état de surface, la myoglobine étant alors fixée au coeur de la fibre musculaire. Elle est modifiée à partir de 45°C, température à laquelle la myoglobine n'est pas dénaturée.

Par ailleurs, l'albumine, transparente à l'état cru, se trouble vers 62°C par coagulation, en enrobant les protéines myofibrillaires d'un écran blanc translucide, qui modifie la perception de la couleur, celle-ci apparaissant alors brun-gris.

C'est à partir de 66-68°C qu'a lieu la transformation irréversible de la couleur.

Au delà de 90°C, la caramélisation des sucres et les réactions de Maillard contribuent en plus à l'évolution propre du pigment, ce qui aboutit à l'apparition de la couleur brune de la viande cuite.

* La jutosité (14).

La jutosité d'une viande dépend de la capacité de rétention en eau (CRE) du muscle, donc du degré de dénaturation thermique des protéines myofibrillaires.

La CRE diminue lorsque la dénaturation augmente. Ainsi, lorsque le seuil thermique critique est atteint, l'exsudation est maximale, et la viande est alors perçue comme beaucoup moins juteuse par le consommateur.

* Le goût (14).

Cette caractéristique est modifiée, certes par la chaleur (réactions de Maillard), mais aussi par les agents de sapidité et les additifs aromatiques utilisés dans les préparations culinaires.

* La dureté-tendreté de la viande (3) (22).

La tendreté de la viande, tant recherchée par le consommateur, dépend du comportement thermique des protéines myofibrillaires et conjonctives.

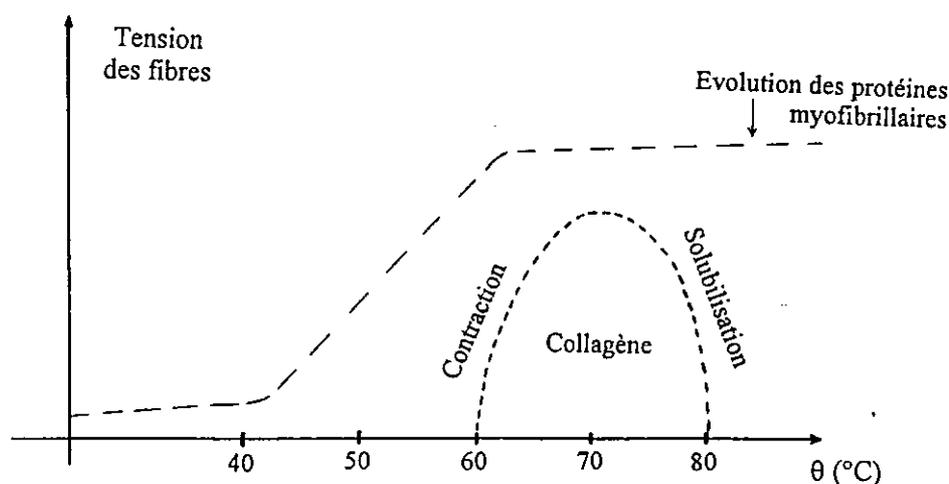
Le durcissement myofibrillaire s'opère en deux phases :

* **de 45 à 60°C**: on observe un durcissement progressif à partir de 45°C, suite à une perte de solubilité du complexe acto-myosine, qui correspond à une coagulation des protéines myofibrillaires.

* **de 60 à 75°C**: on note une deuxième phase de durcissement qui correspond à une contraction longitudinale des fibres musculaires et une contraction du collagène.

La structure conjonctive, ainsi irréversiblement dénaturée, forme un réseau élastique qui se solubilise lentement à des températures plus élevées (solubilisation sous forme de gélatine).

Les fibres conjonctives (collagène) se contractent à partir de 60°C, elles développent ainsi une tension maximale entre 65 et 80°C, la tension ultime, à 95°C, est proportionnelle à la teneur de collagène des échantillons.



En conclusion, le durcissement d'origine myofibrillaire, dû au chauffage, est quasi instantané en ce qui concerne la dénaturation des constituants, alors que l'attendrissement par gélification du collagène est tardif et lent dans une gamme élevée de températures.

Ainsi, on appliquera une cuisson à basse température (65-70°C) pour toute viande pauvre en tissu conjonctif (viande de première catégorie: filets, faux filets), alors qu'une viande riche en collagène sera traitée à des températures supérieures à 80°C (ce dernier type de cuisson permettant une certaine revalorisation des viandes de deuxième et troisième catégories) (22).

1.2.2) LA CUISSON DU POISSON :

De même que pour la viande, la nature complexe et la variabilité de la composition font que le poisson présente des réactions physico-chimiques relativement variables.

Composition moyenne du poisson :

eau: 81%;

protéines: 15-18%, dont 3 à 10% de collagène;

lipides: 0-3%.

La chair de poisson contient moins de collagène que la viande. De ce fait, elle est d'emblée plus tendre.

Par ailleurs, l'évolution thermique du collagène se fait à des températures plus basses, 30° à 50°C, contre 60 à 90°C pour la viande.

Le traitement d'un muscle de poisson à 45°C pendant 15 minutes améliore la tendreté de la même façon qu'un traitement de muscle de boeuf à 92°C pendant 60 minutes.

Sous l'action de la chaleur, la chair de poisson, initialement translucide, s'opacifie, suite à la précipitation des protéines sarcoplasmiques, pour former une structure gélifiée, élastique, relativement fragile à toute contrainte mécanique.

Les spécialistes des produits de la mer émettent deux opinions quant à la cuisson du poisson. D'après l'IFREMER, la texture du poisson est conservée en appliquant un traitement thermique brutal (haute température: 80-85°C, pendant un temps court) ; on inhibe ainsi l'activité enzymatique particulièrement performante, qui transformerait un muscle de poisson en "bouillie"; le filet de poisson n'aurait alors plus aucune tenue.

Par contre de nombreuses publications préconisent un traitement thermique doux (56°C) afin de stimuler cette activité enzymatique.

En ce qui concerne la cuisson du poisson, la priorité est axée vers l'obtention d'une texture satisfaisante de la chair. Or, dans la pratique, il est très difficile de mesurer l'évolution de la texture au cours de la cuisson avec les méthodes traditionnelles de mesure, (méthodes par compression et par cisaillement). En effet la variabilité de composition est telle, que ce soit au niveau des espèces de poisson, ou bien entre deux individus d'une même espèce, voire même au sein, d'un même muscle, qu'on ne peut affirmer que la variation observée est effectivement due à une modification résultant du traitement thermique, plutôt que de l'hétérogénéité initiale de la matière première. C'est pourquoi, dans la pratique, on a recours à l'analyse sensorielle (11).

1.2.3) LA CUISSON DES LEGUMES :

La saveur et la texture constituent les principaux facteurs qualitatifs des tissus végétaux.

Au cours de la cuisson, les végétaux perdent de 57 à 84% de leur fermeté initiale.

Les effets de cuisson dépendent essentiellement de la teneur en matière sèche et de la composition des fibres en cellulose, en pectines et de la teneur en amidon. C'est pourquoi les changements structuraux et chimiques ne peuvent être généralisés.

Les variations de texture sont appréciées par des tests de perforation et de compression (KRAMER SHEAR PRESS).

Par ailleurs, le degré de coloration du légume est fonction de la concentration en pigments (chlorophylle, caroténoïdes et anthocyanes) et de l'état de surface. Ces pigments, une fois libérés des structures cellulaires sous l'action de la chaleur, ravivent les couleurs des végétaux cuits, en absorbant davantage de lumière (20).

1.3) L'EFFET SUR LA FLORE MICROBIENNE: LA PASTEURISATION

1.3.1.) PRINCIPE DE LA PASTEURISATION :

Ce traitement thermique a pour objectif d'assurer une diminution suffisante de la population microbienne des produits, en particulier la flore pathogène qui menace la santé et la sécurité des consommateurs, et la flore d'altération qui écourte la durée de vie du produit (13). Dans le procédé de cuisson sous vide, il est effectué à basse température, en dessous de 100°C.

La chaleur a un effet destructeur sur les micro-organismes dont la thermorésistance est variable; on distingue deux grandes familles (19) (13):

- les bactéries thermosensibles qui peuvent être détruites par des températures inférieures à 100°C. Il s'agit de certaines bactéries banales non pathogènes, et de bactéries pathogènes telles que les *Salmonelles* et les *Staphylocoques*.

- les bactéries thermorésistantes qui ne sont détruites que lorsque la température dépasse 100°C. Ce sont en particulier les bactéries sporulées comme *Clostridium botulinum*.

La pasteurisation vise donc à une destruction sélective de la flore microbienne, tout en préservant les qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit. Ce faisant, elle donne un produit "frais", à **durée de conservation courte**, se conservant à basse température (0-3°C).

On notera que la stérilisation, qui elle se pratique à haute température, assure la destruction totale des micro-organismes et des formes sporulées, et donne ainsi un produit se conservant à température ambiante pendant des durées longues (13).

1.3.2) BASES MICROBIOLOGIQUES :

1.3.2.1) EFFET DE LA CHALEUR SUR LES MICRO-ORGANISMES

Quelque soit le micro-organisme (bactérie, champignon, virus) et le mode de destruction utilisé (chaleur, rayons UV, radiations ionisantes, agents désinfectants), la destruction microbienne obéit toujours aux mêmes lois (6).

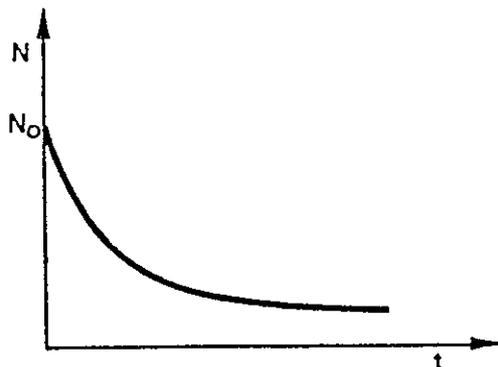
a) Effet sur une cellule:

Chaque micro-organisme présente trois seuils de température, minimal, optimal et maximal, de croissance. Au dessus de la température maximale de croissance, des effets nuisibles, mortels à la longue, commencent à se manifester (18).

L'application de la chaleur à une température donnée pendant un certain temps entraîne la mort de la cellule. En pratique le microbiologiste considère qu'il y a mort dès que se manifeste une incapacité à la reproduction ou à la multiplication dans des conditions favorables à la croissance (18).

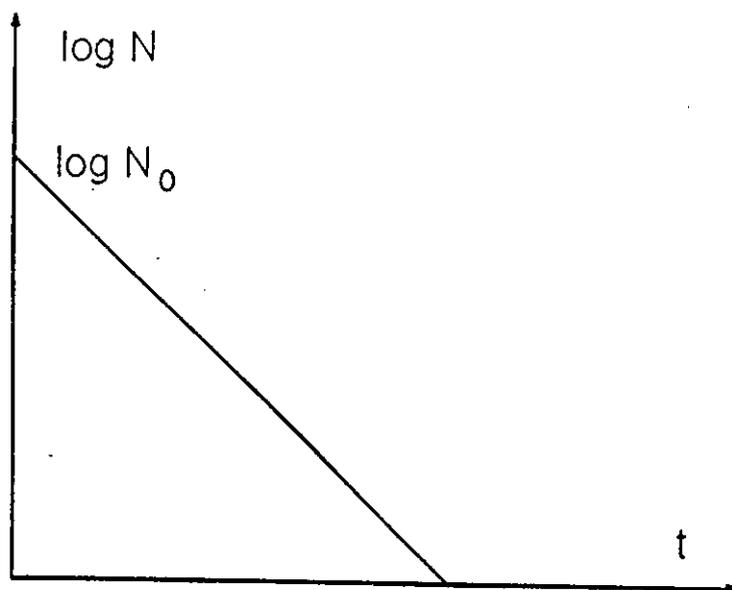
b) Cinétique de mort d'une population à une température donnée:

Si on s'intéresse au nombre de cellules survivantes à un traitement donné (une température) en fonction du temps, il est possible de tracer une courbe dont la décroissance exponentielle peut s'expliquer par le fait qu'au départ les individus les plus sensibles et les "normaux" sont tués, ensuite viennent les résistants dont la destruction est plus laborieuse:



(8)

Si maintenant nous portons en ordonnée le logarithme décimal du nombre de cellules survivantes on obtient une droite:



(15)

Cette droite est caractéristique d'une cinétique chimique du premier ordre (25), et prouve que la décroissance du nombre de survivants peut s'écrire:

$$\frac{dN}{dt} = -k.N \quad [1]$$

avec :

N = nombre de micro-organismes en vie au temps t ;
 k = vitesse relative de destruction thermique (en min^{-1}) ;
 $\frac{dN}{dt}$ = variation du nombre de cellules bactériennes (spores, formes
 végétatives) avec le temps.

(7) (18)

ce qui donne en intégrant:

$$N = N_0 \cdot e^{-kt} \quad [2]$$

que l'on peut écrire aussi:

$$\log \frac{N}{N_0} = - \frac{k}{2,303} \cdot t \quad [3]$$

$$(\ln a = 2,303 \log a)$$

Soit D , le temps de réduction décimale, temps au bout duquel la population est réduite au $1/10^e$ de sa valeur initiale (7):

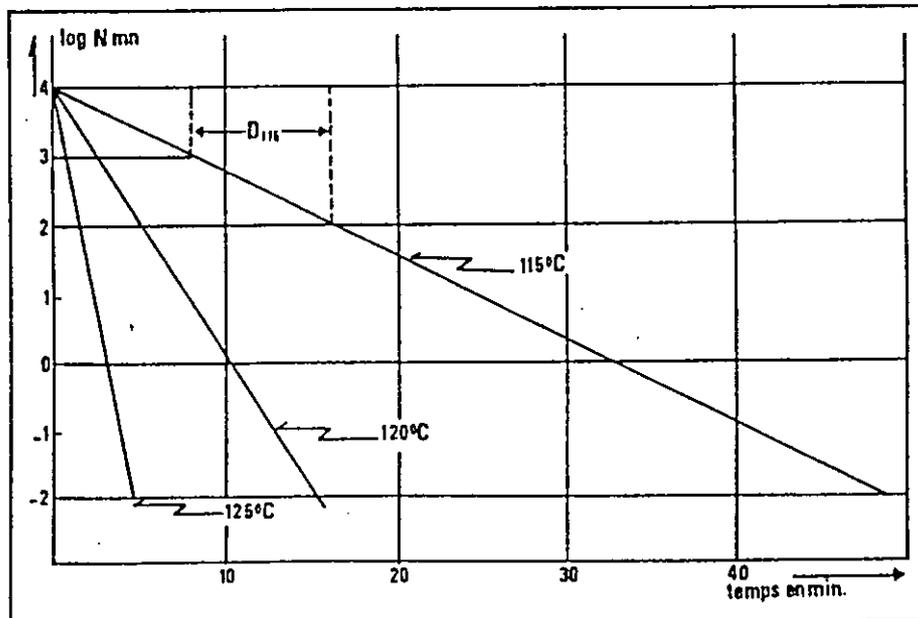
$$- \frac{1}{D} = - \frac{k}{2,303}$$

On peut donc écrire:

$$t = D \log \frac{N_0}{N} \quad [4]$$

D est spécifique du micro-organisme considéré et se révèle constant pour une température donnée (15).

Si maintenant on renouvelle l'expérience à des températures différentes on montre que D varie avec la température, et z est l'augmentation de température nécessaire pour réduire D au $1/10^e$ de sa valeur initiale (15):



(25)

On remarque donc que pour un micro-organisme donné, dans un milieu déterminé, la thermorésistance peut être caractérisée par D, connu à une certaine température, et z qui indique comment varie D avec la température.

1.3.2.2) LE TEMPS DE TRAITEMENT

Si on se réfère à la formule précédente [4], on peut écrire, pour une souche déterminée soumise à une température donnée (15):

$$\log \frac{N}{N_0} = - \frac{t}{D} = - n \quad \Rightarrow \quad \boxed{t = n \cdot D}$$

n est alors le nombre de réductions décimales souhaitées; c'est lui qui détermine la durée du traitement à appliquer (15).

Il dépend de (7):

- la contamination initiale N_0 du produit; celle-ci est conditionnée par "l'histoire" du produit, responsable de sa qualité initiale microbiologique.
- la charge microbienne N "acceptable" après traitement; elle conditionne la durée de vie du produit.

Remarque: la cinétique de mort des micro-organismes est telle qu'il est impossible d'atteindre la stérilité absolue, c'est-à-dire pour ce qui nous occupe, il est impossible de tuer toutes les formes végétatives présentes (7). C'est pourquoi on parle de charge microbienne acceptable après traitement; celle-ci doit être extrêmement faible pour les pathogènes: pas plus d'une cellule pour 10 grammes de produit.

1.3.2.3) DEFINITION DE LA VALEUR PASTEURISATRICE (V_p)

La valeur pasteurisatrice d'un traitement thermique est la durée nécessaire, en minutes, pour obtenir, à 70°C, la pasteurisation, fixée au préalable, nous y reviendrons, pour *Streptococcus faecalis*, à une réduction du nombre de germes de 10^{13} à 10 germes par gramme de produit (16).

Pour un traitement à une autre température, il est possible de calculer le temps nécessaire pour obtenir le même effet qu'à 70°C en utilisant la formule suivante (13):

$$Pz_{70}(T) = t_{(min)} \times 10^{\frac{T-70}{z}}$$

avec:

t = temps nécessaire pour obtenir le même effet qu'à 70°C à la température T en °C.

$Pz_{70}(T)$: valeur pasteurisatrice à 70°C que l'on cherche à atteindre en un temps t (à calculer) avec une température T (en °C).

1.3.2.4) FACTEURS INFLUENCANT LA THERMO-RESISTANCE DES BACTERIES

Parmi les facteurs importants, deux sont bien connus: le pH et l'activité de l'eau (A_w). Mais il en existe bien d'autres et il est très difficile de connaître exactement l'influence de chacun (17).

a) L'effet du pH:

Généralement les germes chauffés dans un milieu acide présentent un D faible. Par exemple, la thermorésistance des spores de *Clostridium botulinum* est maximale à pH = 6,8 et diminue quand le milieu est acidifié (17) (6).

De même pour les spores de *Bacillus stearothermophilus*, pour lesquelles on trouve des valeurs regroupées dans le tableau suivant (25) :

**Variation des paramètres $D_{121,1}$
et Z avec l'acidification
du milieu de chauffage**

pH du milieu de chauffage	$D_{121,1}$ en minutes	Z en °C
3,2	0,3	10,5
4,0	0,9	9,5
5,2	1,7	7,2
6,2	2,2	7,9
7,0	3,4	7,1
8,0	4,8	7,5

b) L'activité de l'eau:

La thermorésistance des micro-organismes varie selon qu'il s'agit d'un traitement thermique en milieu humide ou à l'air sec (6). La chaleur humide est plus efficace que la chaleur sèche : par exemple des spores de *Bacillus subtilis* sont tuées en 10 minutes avec la chaleur humide à 120°C, alors que dans le glycérol anhydre le même résultat n'est obtenu qu'au bout de 30 minutes à 170°C (18).

De même il est possible de stériliser un milieu dans un autoclave en 20 à 30 minutes à 120°C, alors qu'il faudrait 3 à 4 heures à 170°C dans une étuve (18).

Enfin (25) donne là encore des valeurs pour *Bacillus stearothermophilus* :

**Variation des paramètres $D_{121,1}$
et Z avec l'abaissement de A_w
du milieu de chauffage**

A_w du milieu de chauffage	$D_{121,1}$ en minutes	Z en °C
1	4,1	8,5
0,77	22,4	8,5
0,62	66,1	13,3
0,49	97,7	16,7
0,27	120,2	16,9
0,00	30,2	17,9

c) L'importance du milieu :

Celle-ci est encore mal connue.

(2) rappelle par exemple que pour *Clostridium botulinum* une disparition de Ca^{++} et Fe^{++} du milieu de sporulation augmente la thermosensibilité des spores produites dans de telles conditions, et que des spores de *Bacillus coagulans* sont plus résistantes à la chaleur dans un milieu contenant de fortes teneurs en phosphates (26).

Le rôle protecteur des graisses n'est plus à démontrer, sans que cela ait une grande importance puisque les micro-organismes ne se développent pas dans les graisses, et tendraient même à disparaître (25).

Plus récemment des expériences ont déterminé la thermorésistance de *Streptococcus faecalis* dans divers milieux, et notamment des mêlées charcutières, dans un domaine de température allant de 60° à 80°C, et en fonction de la présence de certains additifs (21):

	Tampon phosphaté	Mêlée de Pâte Fine		
		avec NaCl	avec sel nitrité	avec sel nitrité et NaCl phosphates
$D_{60^\circ\text{C}}$ (min)	34,2	32,9	28,0	27,3
$z_{(60^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})}$ (°C)	9,64	9,70	10,15	9,99
$D_{70^\circ\text{C}}$ (min)	3,1	3,1	2,9	2,7
$z_{(70^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C})}$ (°C)	10,67	10,22	9,95	9,89
$D_{80^\circ\text{C}}$ (min)	0,36	0,32	0,29	0,27

1.3.3) CHOIX DES BAREMES DE PASTEURISATION :

Compte-tenu du fait qu'il existe un nombre infini de couples (temps, température) pouvant être appliqués, que la vitesse de pénétration de la chaleur à coeur est variable et que la flore microbienne n'est jamais la même en quantité et nature, il est nécessaire de s'accorder sur un micro-organisme test pour évaluer l'efficacité d'un traitement thermique (19).

1.3.3.1) LE MICRO-ORGANISME DE REFERENCE

Dans le cas de la pasteurisation, qui rappelons-le s'effectue à des températures inférieures à 100°C, le germe choisi est *Streptococcus faecalis* qui est la bactérie pathogène thermosensible la plus thermorésistante (13).

Sa thermorésistance est caractérisée par (13):

-D = 2,95 minutes

ce qui signifie qu'à 70°C la population est réduite de 90% en 2,95 minutes.

- z = 10°C

D est divisé par 10 à chaque fois que la température s'élève de 10°C.

1.3.3.2) LES VALEURS PASTEURISATRICES

a) La valeur pasteurisatrice partielle:

C'est une notion importante car on n'atteint pas la température de traitement souhaitée de façon instantanée (13).

Elle découle de la méthode de calcul de l'efficacité du traitement qui consiste à décomposer le traitement thermique global à température variable auquel est soumis le point le plus froid du produit, en une succession de traitements d'une minute pendant laquelle la température est supposée constante (13) :

$$P(T) = 10^{\frac{T - T_{\text{réf}}}{z}}$$

$T_{\text{réf}}$ = température de référence, ici 70°C.

T = température atteinte au point le plus froid durant la minute considérée.

(avant 50°C les faibles valeurs obtenues sont généralement négligées).

b) La valeur pasteurisatrice totale:

Elle est la somme de toutes les valeurs partielles obtenues successivement lors du chauffage, du temps passé à la température souhaitée et du refroidissement du produit (13):

$$P^z \text{ totale} = \sum_{i=1}^p 10^{\frac{T_i - T_{\text{réf}}}{z}}$$

avec

T_i = température atteinte au point le plus froid durant une minute (cette température évolue toutes les minutes).

p = nombre de minutes en fin de traitement.

C'est cette valeur qui quantifie l'efficacité du traitement imposé à un produit.

Pour le micro-organisme de référence (*Streptococcus faecalis*) choisi, la valeur pasteurisatrice minimale est:

$$P = n D$$

$n = 13$ réductions décimales, est donné par la réglementation.

$P = 2,95 \times 13 = 40$ minutes, en arrondissant.

Cette référence permet de calculer le temps nécessaire pour un traitement équivalent à une température différente. Par exemple (17):

$$\text{- à } 60^\circ\text{C} \quad t = 40 \times 10^{\frac{70 - 60}{10}} = 400 \text{ minutes;}$$

$$\text{- à } 80^\circ\text{C} \quad t = 40 \times 10^{\frac{70 - 80}{10}} = 4 \text{ minutes.}$$

1.3.4) LA REGLEMENTATION :

1.3.4.1) LES TEXTES

De par leur composition les plats cuisinés, association de viandes et/ou de légumes et sauce, offrent un terrain favorable au développement des micro-organismes (23).

Ces plats cuisinés sont le plus souvent destinés à des collectivités, donc à un grand nombre de consommateurs, d'où les risques importants d'intoxication alimentaire qui peuvent être engendrés par la distribution de produits de mauvaise qualité hygiénique en raison notamment d'une pasteurisation insuffisante (23).

Le développement du marché de la restauration collective a conduit à réglementer les plats cuisinés (23). Les principaux textes en vigueur sont les suivants :

- **l'arrêté du 26 juin 1974** (JO du 16 juillet 1974) qui réglemente les conditions d'hygiène relatives à la préparation, la conservation, la distribution et la vente de plats cuisinés à l'avance (23). Il indique notamment que la durée de conservation des plats cuisinés réfrigérés ne doit pas dépasser 6 jours, sauf prolongation en vertu d'une dérogation accordée par décision ministérielle (8).

- **La circulaire DSV au 3 Mars 1975** qui précise les modalités d'attribution de la marque de salubrité.

- **l'arrêté du 26 septembre 1980** (JO du 15 octobre 1980) qui fixe les conditions d'hygiène applicables dans les établissements de restauration où sont préparés, servis ou distribués des aliments comportant des denrées animales ou d'origine animale (23).

- **l'arrêté du 3 mars 1981** (JO du 25 mars 1981) qui contient les normes sanitaires auxquelles doivent satisfaire les établissements de transformation de produits à base de viande, et détermine les conditions de l'inspection sanitaire dans ces établissements. Il constitue en fait la mise en conformité du droit français aux prescriptions de la directive européenne 77/99 du 21 décembre 1976 (VO . CEE du 31 janvier 1977) (8).

- **Note de Service DGAL/SVHA/N88/N°81 du 31 Mai 1988** qui porte sur la modification du protocole permettant d'obtenir les autorisations de prolongation de la durée de vie des plats cuisinés à l'avance.

1.3.4.2) CLASSIFICATION DES PRODUITS SUIVANT LA VALEUR PASTEURISATRICE

La valeur pasteurisatrice a une influence certaine sur la qualité microbiologique du plat cuisiné et donc sur sa durée de conservation. C'est pourquoi elle a été choisie, avec la température maximale atteinte à coeur, pour déterminer les catégories 1, 2 et 3 dans lesquelles sont classés les plats cuisinés (2) :

catégorie	1	2	3 "plats pasteurisés"
valeur pasteurisatrice		> 100	> 1000
température à coeur	$57^{\circ}\text{C} < \theta < 65^{\circ}\text{C}$	$\theta > 65^{\circ}\text{C}$	$\theta > 70^{\circ}\text{C}$
DLC maximum	14 jours	21 jours	42 jours

La valeur pasteurisatrice est relative, nous l'avons dit, à un germe de référence : *Streptococcus faecalis*.

Compte-tenu de la définition de la valeur pasteurisatrice minimale, il est logique de penser qu'une valeur de 40 minutes est suffisante pour détruire la quasi-totalité des formes végétatives. Mais les analyses réalisées par le LERPAC (2) ont montré que les valeurs de 40 obtenues par les industriels n'ont permis qu'exceptionnellement de donner des autorisations de prolongation du délai de consommation au delà de 14 jours. Pour obtenir **21 et 42 jours**, il est nécessaire que les valeurs pasteurisatrices calculées par les industriels atteignent, voire dépassent, respectivement **100 et 1000 minutes**.

Cette observation fondamentale qui sert de base à la réglementation, créatrice de trois catégories de plats cuisinés, peut s'expliquer par deux remarques (2):

- la mesure de la valeur pasteurisatrice n'est pas aisée et se heurte souvent à un écueil: une prise fiable de la température au point le plus froid du lot fabriqué;

- certains facteurs (composition, pH, additifs...) sont très mal connus en ce qui concerne leur influence sur la thermorésistance des germes et sur leur développement.

1.4) NOTION DE VALEUR CUISATRICE

1.4.1) DEFINITION GENERALE (16) :

La valeur cuisatrice est définie de façon analogue à la valeur pasteurisatrice ou stérilisatrice, elle permet de quantifier les effets du maintien d'un produit à une température pendant un temps donné sur les qualités organoleptiques d'un produit. Cette notion permet de s'affranchir de la diversité des effets constatés sur les catégories de produits (voir 1.2.).

La valeur cuisatrice correspond au temps, en minutes, de maintien de la température de référence nécessaire pour obtenir les mêmes modifications qualitatives que celles obtenues en une minute à la température T. Cette valeur est calculée par la formule suivante :

$$C_{T_{ref}}^z(T) = 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}}$$

T : température de cuisson considérée ;

T_{ref} : température de référence ;

z : augmentation ou diminution de température permettant de diviser par 10 le temps de destruction thermique D.

La valeur cuisatrice totale du traitement à température variable correspond à la somme des valeurs cuisatrices partielles déterminées en cours de traitement à des instants donnés.

On caractérise par cette notion de valeur cuisatrice des modifications qualitatives et quantitatives, survenant en fonction de la température et du temps.

On admet que les modifications qualitatives des produits suivent, au cours de la cuisson, comme pour la destruction des micro-organismes, une évolution logarithmique.

De la même façon que pour le calcul de la valeur pasteurisatrice, on définit deux paramètres: z et D.

1.4.2) SIGNIFICATION DES DIFFERENTS PARAMETRES (16) :

a) Le paramètre D:

Le paramètre D correspond au temps de destruction thermique; il est défini différemment suivant la nature des modifications prises en compte.

* Pour des modifications quantifiables (dégradation des vitamines ; dépôt de gelée pour le jambon), D correspond au temps nécessaire, à une température donnée, pour diviser par 10 la grandeur prise en compte ou pour la multiplier par 10 dans le cas où la modification est indésirable.

* Pour des modifications appréciées de manière subjective par un jury de dégustateur qui utilise une échelle de notation, D correspond au temps nécessaire, à une température donnée, pour passer de la note la plus élevée à la note la plus basse.

b) Le paramètre z:

z correspond à l'augmentation ou la diminution de température permettant de diviser ou de multiplier par 10 le paramètre D (15).

CRITERE	z (°C)
dégradation de la vitamine B1	26 à 32
dégradation de la vitamine C	23
formation de la couleur	23
qualités sensorielles	14 à 44
texture de la viande bovine	35
dépôt de gelée (jambon)	16

(16)

Il est à noter que le choix d'un critère pour la valeur de z, varie en fonction du produit, et de l'importance que l'on donne à une caractéristique plutôt qu'à une autre. Cependant, un critère donné ne pouvant caractériser à lui seul l'ensemble des modifications qualitatives survenant au cours de la cuisson, il est préférable de choisir une valeur de z qui puisse représenter le plus fidèlement possible les effets de la cuisson.

c) La température de référence:

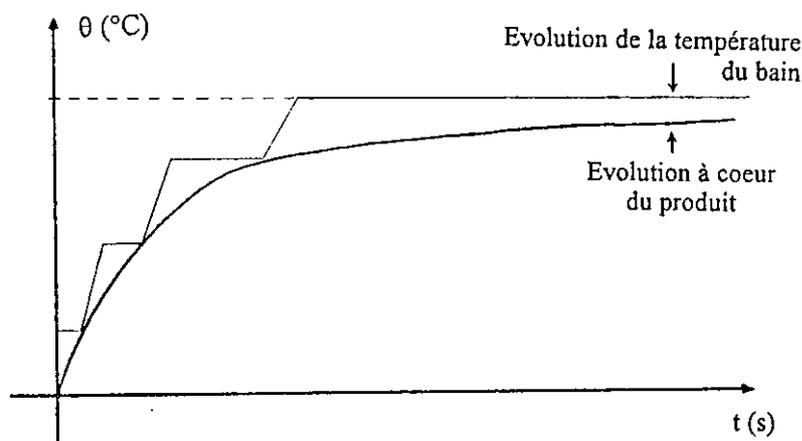
La température de référence doit correspondre à un maximum de types de cuisson possibles. Elle est en général relativement proche des températures de cuisson appliquées à un produit donné (17) :

- en général: 100°C;
- pour le jambon: 70°C;
- pour le poisson: 80°C.

Remarque: les effets de cuisson sont beaucoup plus marqués à la périphérie du produit qu'à coeur. Or une valeur cuisatrice trop élevée en surface peut être à l'origine d'effets indésirables, comme les réactions de Maillard.

Il est donc préférable, dans certains cas, de minimiser les écarts de valeur cuisatrice entre la surface et le centre du produit:

- soit en diminuant la température du bain chauffant et en augmentant le temps de cuisson;
- soit en augmentant la température du bain chauffant en fonction de l'évolution de température du produit (cas du jambon).



1.4.3) QUELS BAREMES DE CUISSON APPLIQUER ? (19)

Un barème de cuisson est un couple (temps, température), dont la combinaison donne des résultats plus ou moins satisfaisants en fonction des contraintes suivantes (17) :

- application d'une valeur pasteurisatrice minimale à l'endroit où le produit est le plus long à s'échauffer;
- application d'une valeur cuisatrice optimale;
- réduction de l'écart de valeur cuisatrice entre la surface et le cœur du produit;
- application de la température la plus élevée possible, en tenant compte des contraintes évoquées ci-dessus, afin de réduire le temps de cuisson, donc l'immobilisation des appareils.

Les facteurs à prendre en considération sont alors:

- la distance entre la surface et le cœur du produit
- la vitesse de pénétration de la chaleur, autant pour la cuisson que pour le refroidissement
- la nature du produit.

Quel que soit le barème de cuisson appliqué, il est plus facile de maîtriser les conditions de cuisson que la température à cœur du produit.

Il faut donc vérifier que l'appareil de cuisson assure un traitement homogène en tout point du lot. De plus, les produits doivent être judicieusement disposés afin de permettre une circulation correcte du fluide chauffant. Ces dernières remarques s'appliquent également dans le cadre du refroidissement.

1.4.4) CONCLUSION :

L'optimisation d'une cuisson consiste donc à trouver le juste compromis entre les impératifs visant d'une part à garantir une qualité hygiénique satisfaisante, et d'autre part à obtenir les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles définies et attendues par le consommateur.

Un barème de cuisson est spécifique à un aliment donné, et on essaie au mieux de gérer les hétérogénéités de matière première et la diversité des réactions engendrées. La valeur pasteurisatrice et la valeur cuisatrice sont deux nombres susceptibles de servir à quantifier les effets d'une cuisson.

1.5) LA CUISSON SOUS VIDE

1.5.1) DEFINITION :

Le procédé de cuisson sous vide consiste soit à réaliser la cuisson - pasteurisation de produits crus préalablement emballés sous vide, soit à effectuer une pasteurisation de produits précuits emballés sous vide (4).

1.5.2) LE CONDITIONNEMENT SOUS VIDE :

C'est un procédé d'emballage sous film imperméable aux gaz et aux liquides, sous pression réduite permet d'allonger la durée de conservation du produit, s'il est associé au respect d'une hygiène satisfaisante et à l'utilisation du froid (24).

Ce type de conditionnement agit de deux façons sur la microflore (24) :

- une action inhibitrice :

la pression partielle en oxygène est très faible et diminue avec le temps, pendant que la pression partielle en gaz carbonique augmente (respiration tissulaire surtout) (24).

Ceci provoque une inhibition de la flore totale, très marquée surtout pour les germes aérobies d'altération superficielle, *Pseudomonas* en particulier (27). Il faut signaler qu'en pratique alimentaire du sous vide la teneur en oxygène atteint rarement des valeurs pouvant contribuer à l'inhibition des germes putréfiants (valeurs inférieures à 1%). C'est donc bien plutôt le CO₂ qui exerce une action déterminante sur ces germes en agissant comme bactériostatique aux basses températures (24) (5).

- une action sélective :

on note une multiplication des bactéries anaérobies facultatives, bactéries lactiques et *Entérobactéries* (24).

Les *Staphylocoques* sont, eux, très ralentis et seraient inhibés par les germes lactiques (12).

La conservation sous vide ne semble pas favoriser les *Salmonelles* lors du stockage au froid (12): leur vitesse de multiplication est lente au froid et en anaérobiose, mais attention, elle peut être suffisante pour être responsable, après un stockage prolongé, d'altérations du type putréfaction.

Enfin *Clostridium botulinum*, germe anaérobie, peut se développer jusqu'à 3,3°C mais la production de toxine, thermolabile, est très ralentie au dessous de 10°C: elle ne commence qu'au bout de 14 jours à 10°C et l'altération organoleptique intervient avant que des quantités notables de toxine soient produites. En outre, en cas de rupture de la chaîne du froid, la dégradation des qualités organoleptiques est telle (aspect et odeur désagréables) que la mise en consommation des produits touchés, viande ou poisson, est impossible (10) (9).

1.5.3.) EFFETS DU VIDE SUR LA CUISSON :

La cuisson sous vide est une cuisson particulière, dans la mesure où le produit, conditionné dans un emballage étanche, ne peut avoir aucun échange autre que thermique avec l'extérieur. On la compare souvent à une cuisson en papillote (13).

Le produit étant protégé de son environnement, les pertes en composés volatils par évaporation sont évitées, ce qui entraîne un renforcement du goût et de la saveur des produits. Par ailleurs les rendements de cuisson sont considérablement augmentés; ils sont voisins de 100% dans ce cas pour une pièce de bœuf, contre 70-80% avec une cuisson au four.

L'intérieur de l'emballage étant rapidement saturé de vapeur d'eau, la migration de l'eau en dehors du produit est freinée, ce qui améliore nettement la jutosité d'un filet de poisson ou d'un morceau de viande.

L'avantage lié au vide réside en une amélioration du coefficient global de transfert d'énergie car l'air, mauvais vecteur de chaleur, est éliminé. Par contre l'eau maintenue dans le produit est un bon véhicule de la chaleur (13).

Par ailleurs la faible teneur en oxygène, dans le produit et à sa surface, limite considérablement les risques d'oxydation des matières grasses. Ceci est particulièrement intéressant pour le poisson qui renferme de nombreux acides gras insaturés très sensibles à ces réactions d'oxydation (13).

1.5.4) ASPECTS HYGIENE ET SANTE :

La cuisson sous vide se faisant à des températures où les réactions chimiques sont optimales, les produits présentent des qualités organoleptiques supérieures aux produits traditionnels.

Mais "le vide d'air par lui-même ne constitue pas un procédé de conservation. Il n'est qu'un adjuvant, efficace certes mais un adjuvant seulement, aux méthodes de conservation réelles qui existent: le (très) froid, le (très) chaud ou le (très) sec" (23, 24).

Une des caractéristiques principales des plats cuisinés sous vide réside dans le conditionnement étanche aux gaz et aux liquides, ce qui les rapproche des conserves (24).

Mais ce ne sont que des conserves mal stérilisées! En effet la stérilisation des produits cuits sous vide n'est pas envisageable dans la mesure où de tels barèmes annuleraient tout l'intérêt du procédé, qui est, avant tout d'optimiser la cuisson (1).

Ainsi les traitements thermiques se font à des températures inférieures à 100°C, souvent entre 65 et 95°C (1). A ces températures les formes végétatives sont en général détruites mais les formes sporulées résistent; il est alors important de fabriquer ces produits en respectant des règles d'hygiène rigoureuses (23).

Ces règles sont parfaitement connues et ont fait l'objet d'arrêtés successifs à partir de juillet 1974.

Liste bibliographique

- (1) Anonyme, 1986. - Cuisson sous-vide : compte-rendu. *Revue Française de Diététique*, n°117-2, 16-18.
- (2) BEAUFORT A. et ROSSET R., 1989. - Durée de vie des plats cuisinés sous vide réfrigérés : adaptation de la réglementation française. *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 6, 475-477.
- (3) BOUTON P.E. et HARRIS P.V., 1972. - The effects of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat. *Journal of Food Science*, 37(1), 140-144.
- (4) BOUVIER C., 1987. - Observations en réponse à l'article de MM. P. ESTOUP et J.J. BARBIERI sur le régime juridique de la cuisson sous vide. *Option Qualité*, n°37, 19-20.
- (5) BUREAU G., PASCAT B. et TISSOT L., 1987. - Conditionnement et qualité : conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée et qualité bactériologique. *Viandes et Produits Carnés*, 8(5), 166-167.
- (6) CERF O., DOUSSET X. et BROSSARD J., 1988. - Pasteurisation et stérilisation thermique. In : *Microbiologie Alimentaire : aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité alimentaire*. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, vol. 1, 308-328.
- (7) ESTOUP P. et BARBIERI J.J., 1987. - Le régime juridique de la cuisson sous vide. *Option Qualité*, n°37, 12-18.
- (8) GOLA S. et ROSSI M., 1985. - Vacuum-packaging of fresh fish : effect of oxygen permeability of packaging material on the development of botulinal toxin. In : *Aptitude à la conservation des poissons et produits de la mer réfrigérés et congelés*. Institut International du Froid, Paris, 211-215.
- (9) HAUSCHILD A., POSTE L. et HILSHEIMER R., 1985. - Toxin production by *Clostridium botulinum* and organoleptic changes in vacuum-packaged raw beef. *Journal of Food Protection*, 48(8), 712-716.
- (10) KARL H. et SCHREIBER W., 1985. - Texture analysis of canned fish. *Journal of Texture Studies*, 16, 271-280.
- (11) KENNEDY J.E., OBLINGER J.L. et WEST R.L., 1980. - Fate of *Salmonella infantis*, *Staphylococcus aureus*, and *Hafnia alvei* in vacuum packaged beef plate pieces during refrigerated storage. *Journal of Food Science*, 45, 1273-1277 et 1300.
- (12) KNOCKAERT C., 1989. - Une innovation dans l'art culinaire : la cuisson sous vide. Applications aux produits de la mer. *Equinoxe*, n°28, 12-19.
- (13) LAROCHE M., 1981. - *Libération et migration du jus pendant le chauffage de la viande*. Thèse de docteur-ingénieur, Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, 116 p.

- (14) MAFART P., 1991. - Les traitements thermiques : 1- Optimisation des traitements thermiques. In : *Génie Industriel Alimentaire : les procédés physiques de conservation*. Technique et Documentation (Lavoisier), APRIA, vol. 1, 86-104.
- (15) MARTIN J.L., 1984. - Conduite des cuissons à l'aide des valeurs pasteurisatrice et cuisatrice. *Viandes et Produits Carnés*, 5(2), 62-63, 5(3), 107-108, 5(4), 146-148, 5(5), 204-207.
- (16) MESCLE J.F. et ZUCCA J., 1988. - Le comportement des microorganismes en milieu alimentaire. In : *Microbiologie Alimentaire : aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité alimentaire*. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, vol. 1, 7-48.
- (17) OTENG-GYANG K., 1984. - La chaleur en microbiologie alimentaire. In : *Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds*. Lavoisier, Paris, 104-122.
- (18) PINEL M., 1987. - L'optimisation des cuissons : un impératif qualitatif et économique. *La Bretagne Agro-Alimentaire*, n° 6, 4-8.
- (19) PRIESTLEY R.J., 1979. - *Effects of heating on foodstuffs*. Applied Science Publishers, London, 417 p.
- (20) REICHERT J.E., THUMEL H. et LUCTEFELS G., 1989. - La pasteurisation des produits carnés. *Viandes et Produits Carnés*, 10(2), 69-73
- (21) ROSSET R., LAMELOISE P. et ROUSSEL-CIQUARD N., 1984. - *La tendreté de la viande*. Recueil CDIUPA n°33, Edition APRIA, Paris, 234 p.
- (22) ROSSET R. et LAMELOISE P., 1988. - Risques microbiologiques liés à la fabrication et à la conservation de plats cuisinés. *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 4, 241-243.
- (23) ROSSET R. et LAMELOISE P., 1989. - *Conditionnement sous vide (viande, poisson, plats cuisinés)*. Recueil CDIUPA n° 41, Edition APRIA, Paris, 77 p.
- (24) ROZIER J., 1987. - Les effets du chauffage sur les bactéries. *Revue Technique de la Viande et des Abattoirs*, n° 225, 22 et 27-31.
- (25) STUMBO C.R., 1973. - Thermal resistance of bacteria. In : *Thermobacteriology in food processing*. Academic Press, New York, London, 112-115.
- (26) VALIN C. et LACOURT A., 1980. - Etude comparée de différents modes de conditionnement des viandes bovines hachées et réfrigérées. *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 3, 123-129.

ANNEXE n° 2

LES AUTRES MATERIELS DE CUISSON SOUS VIDE

1) INTRODUCTION

Les matériels les plus utilisés dans l'industrie, sont le plus souvent des appareils mixtes qui assurent à la fois la cuisson et le refroidissement.

A partir des documentations des fabricants, des articles d'utilisation paru dans la presse spécialisée, nous avons essayé de montrer les particularités pour chacun d'eux, ainsi que les avantages et inconvénients rencontrés.

D'une manière générale, la matériel utilisé pour la cuisson des produits ensachés provient d'une adaptation de matériels déjà existants utilisés pour des cuissons plus traditionnelles : pasteurisation, stérilisation et cuisson à la vapeur des produits en vrac (1, 5).

Cette adaptation a consisté à améliorer certains organes de l'appareil :

- le dispositif de régulation.
- l'automatisation des cycles.
- l'utilisation de micro-ordinateurs pour la programmation des cycles.
- système de centrale d'enregistrement des paramètres.

Il est à noter que récemment certains fabricants ont mis au point des types de matériel bien spécifiques à la cuisson des produits sous vide.

Dans un premier temps seront traités les fours vapeur, puis nous exposerons les différents matériels mixtes.

2) LES FOURS VAPEUR (TYPE THIRODE)

Ces appareils étaient, à l'origine, prévus pour les cuissons de produits hors emballage. Puis ce type de matériel a été adapté aux cuissons de produits en emballage souple, notamment en industrie charcutière (cuisson des jambons).

Le principe des fours repose sur l'injection directe d'un gaz caloporteur dans l'enceinte de cuisson.

En cuisson de produits sous vide, seuls les fours à vapeur (ou mixtes, c'est-à-dire air et vapeur) sont utilisés.

L'homogénéité en température des enceintes de chauffe est assurée au moyen d'un ventilateur, ou par aspiration-soufflage : cela permet ainsi au fluide chauffant de circuler.

Suivant les appareils, il est possible de disposer d'une pression d'enceinte :

1 atm ---> température maximum de 100°C

1 à 2 atm ---> température maximum > 100°C

Ces appareils se rapprochent du concept d'autoclave.

Ce système peut être employé pour de petites unités de fabrications car il ne permet pas de réaliser de grandes séries (< 500 repas par jour/four).

D'autre part, l'homogénéité de la température dans l'enceinte est assez difficile à obtenir et on enregistre parfois des différences de température de 2°C entre 2 points de l'enceinte.

De plus, les fours vapeur nécessitent l'utilisation d'un matériel supplémentaire : le refroidisseur, dont le milieu froid de contact peut être de 3 sortes :

- gaz froid, ou de l'air à basse température, ou un fluide cryogéniques.
- un liquide à basse température.
- un solide à basse température qui transmet les frigories par contact.

Les prix des fours-vapeur s'échelonnent de 25 000 (petite capacité) à 150 000 F.

3) LES MATERIELS MIXTES

On distingue deux grands types de matériels :

- les matériels dérivant des autoclaves vapeur ou à aspersion.
- les bains-marie.

3.1) LE MATERIEL LAGARDE : "LE STEAMY GOURMET" (3)

Le matériel LAGARDE de cuisson à basse température est dérivé de la famille des autoclaves horizontaux.

Le principe de fonctionnement repose sur le principe du chauffage par injection de vapeur. Cependant, en cuisson basse température, on utilise un mélange air-vapeur qui diminue la capacité calorifique du mélange.

Le refroidissement se fait en deux étapes : un prérefroidissement à l'eau du réseau, puis un refroidissement par fluide cryogénique : le CO₂ liquide. Il permet d'utiliser le même principe de fonctionnement dans les deux phases.

3.1.1) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- * **Chargement** : Les aliments sont placés sur les clayettes d'un panier de manutention, puis introduits dans le cuiseur-refroidisseur (jusqu'à 4 paniers).
- * **Chauffage** : se fait par injection du mélange air-vapeur dans l'enceinte et brassage du mélange avec une turbine.
L'homogénéité est assurée par la puissance de brassage et la vapeur est alimentée au rythme de sa consommation.
Quand le palier est atteint, la vapeur est utilisée pour compenser les pertes (faibles) et pour fournir l'énergie nécessaire au produit.

- * **Refroidissement** : - Le prérefroidissement se fait par aspersion pour abaisser la température du produit à environ 50°C.
 - Suit le refroidissement proprement dit, avec une injection directe de CO₂. Auparavant, l'enceinte doit être mise hors condensation et la tuyauterie asséchée par envoi d'air comprimé sec.
 Le CO₂ est distribué de la même manière que la vapeur, ce qui implique un refroidissement rapide.
 Ce système permet éventuellement d'obtenir des produits à température négative.
- * **Pression** : Pendant toute la durée du traitement, il est possible de maintenir une contre-pression pour compenser l'effet de la dilatation des produits.

3.1.2) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Nombre de modules	1	2	3	4
VAPEUR débit instantané (kg/h)	185	250	315	400
EAU FROIDE Réseau Eau glacée (m ³ /h)	12	17	23	29
AIR débit instantané (m ³ /h)	10	14	18	21
ELECTRICITE puissance installée P : RW	5,5	5,5	7,5	7,5

Prix H.T. franco du "Steamy Gourmet" 4 modules : 515 000 F.F. (au 03/05/89)

3.1.3) AVANTAGES ET INCONVENIENTS

- * **Les avantages** :
- une extrême polyvalence parfaitement adaptée aux PME et aux cuisines centrales. Le système permet en effet de traiter également des produits non emballés.
 - c'est un système compact en ce qui concerne les dimensions.
 - montée en température rapide.
 - pilotage automatique avec système de contrôle incorporé au matériel de base (aucune intervention).
 - pertes faibles par rapport au principe du bain-marie.
- * **Les inconvénients** :
- nécessité d'une installation d'eau glycolée ou de CO₂ liquide pour le refroidissement.
 - ce matériel utilise uniquement de la vapeur, ce qui suppose une source de production de vapeur, ce qui peut parfois poser problème.
 - l'utilisation de CO₂ est certes peu coûteuse à l'achat, mais le devient en coût d'utilisation.

3.2) LE MATERIEL BARRIQUAND : LE "STERIFLOW" (4)

C'est un matériel dérivé de la famille des autoclaves horizontaux.

La cuisson à basse température se fait suivant le principe d'aspersion d'eau.

Ce système permet d'utiliser le même principe pour les phases de chauffage et de refroidissement.

3.2.1) LE FONCTIONNEMENT

- * **Chargement** : Les aliments ensachés sont placés sur les étagères de manutention. Les paniers (de 1 à 6) sont alors introduits dans le cuiseur-refroidisseur.
- * **La circulation d'eau** : La quantité juste nécessaire au fonctionnement est stockée dans la partie inférieure de la cuve.
Une pompe centrifuge à fort débit assure la circulation de l'eau qui, sur son parcours, traverse un échangeur à plaques pour la mise en température et un répartiteur-distributeur.
Dès que le régime hydraulique est stabilisé, les différentes phases du cycle sont enclenchées.
- * **Le chauffage** : La vapeur provenant d'une chaudière est introduite dans l'échangeur à plaques. En se condensant, elle cède de la chaleur que l'eau absorbe jusqu'à l'obtention de la température de consigne du programmeur.
Les condensats sont évacués par un purgeur et retournent à la chaudière.
- * **La cuisson** : Lorsque la température programmée est atteinte, la vanne de vapeur règle le débit nécessaire au maintien.
Outre la méthode classique qui consiste à déterminer un temps de cuisson en fonction des recettes, il existe un dispositif qui tient compte des relevés de température à coeur pour déterminer les valeurs pasteurisatrices ou cuisatrices, par comparaison avec une valeur de consigne.
- * **Le refroidissement** : - un prérefroidissement à l'eau de ville est effectué en fin de cuisson, par l'intermédiaire de l'échangeur.
- la 2^{ème} étape est réalisée avec une circulation d'eau glacée qui refroidit l'eau interne.
- * **Remarques** : * Une pression peut être maintenue pendant toute la durée du traitement. Elle a pour rôle de compenser une évolution de pression dans les emballages, d'éviter leur déformation (pour les semi-rigides) et de favoriser l'échange thermique en maintenant le sac contre le produit.

* Le fonctionnement de ce cuiseur-refroidisseur est entièrement automatisé.
Un système de préenregistrement des barèmes est prévu.

3.2.2) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Nbre de paniers	1	2	3	4	5	6
Capacité : portions individuels multiportions	65 kg 150 kg	130 kg 300 kg	195 kg 450 kg	260 kg 600 kg	325 kg 750 kg	390 kg 900 kg
Pression vapeur : Consommation/cycle débit inst. maxi.	6 bars 50 à 60 kg 250 kg/h	6 bars 80/105 400 kg/h	6 bars 115/150 600 kg/h	6 bars 150/200 800 kg/h	6 bars 200/250 1000 kg/h	6 bars 250/300 1200 kg/h
Eau froide : pression consommation/cycle débit inst. maxi.	1 bar 0,8 m ³ 5m ³ /h	1 bar 1,6 m ³ 10m ³ /h	1 bar 2,5 m ³ 15m ³ /h	1 bar 3 m ³ 20m ³ /h	1 bar 4 m ³ 25m ³ /h	1 bar 5 m ³ 30m ³ /h
Eau glacée (+ 1°C): frigories/cycle débit inst. maxi.	15 à 20 000 6m ³ /h	25 à 35 000 12m ³ /h	35 à 50 000 18m ³ /h	45 à 70 000 24m ³ /h	60 à 90 000 30m ³ /h	75 à 110 000 36m ³ /h
Air comprimé : pression consommation/cycle débit inst. maxi.	6 bar 1,5 m ³ 5m ³ /h	6 bar 3 m ³ 10m ³ /h	6 bar 4,5 m ³ 15m ³ /h	6 bar 6 m ³ 20m ³ /h	6 bar 7,5 m ³ 25m ³ /h	6 bar 9 m ³ 30m ³ /h
Pompe moteur : débit maxi. Réserve d'eau	1,1 kw 40m ³ /h 100 l.	4 kw 80m ³ /h 200 l.	4 kw 120m ³ /h 300 l.	4 kw 160m ³ /h 375 l.	4 kw 190m ³ /h 470 l.	7,5 kw 220m ³ /h 600 l.

Coût d'achat en mai 1989 : 389 000 F.F. pour 4 paniers.

3.2.3) AVANTAGES ET INCONVENIENTS

- * **Les avantages :**
- étant donné la faible quantité d'eau circulant (100 l.), le transfert thermique est optimisé.
 - pas de chocs thermiques sur les produits en raison du système de l'échangeur, qui chauffe et refroidit progressivement l'eau.
 - grâce à l'échangeur, les produits ensachés ne sont pas au contact des fluides annexes (vapeur, eau froide, eau glacée), ce qui empêche toute pollution éventuelle, notamment par microfuites.
- * **Les inconvénients :** Ce système semble peu adapté aux cuissons rapides, par le fait même que l'eau est chauffée progressivement.

3.3) LE "THERMIX" D'ARMOR INOX (2)

Ce matériel fait partie de la famille des marmites à chauffage indirect. Pour la cuisson et le refroidissement, la technologie retenue est celle de l'immersion totale. Le refroidissement s'effectue dans la même enceinte que la cuisson.

3.3.1) LE MATERIEL ET LE FONCTIONNEMENT

Il est constitué d'un ensemble de cuves de cuisson (de 2 à 8) de capacité unitaire de 450 l. pour un chargement de 50 à 150 kg de produits par cuve.

Le dispositif de chargement se fait par le haut de la cuve et est assuré par un palan, les produits étant disposés sur des clayettes.

il faut noter que chaque cuve peut suivre un cycle propre.

- * **Le chauffage** : L'eau chaude est stockée dans une cuve de 4 000 l., à 95°C ; sa mise en température s'effectue au moyen d'un tube immergé compact. Cette réserve permet d'obtenir un stockage de volume pour assurer la mise en eau de toutes les cuves, ainsi qu'un stockage d'une partie de l'énergie nécessaire (en limitant par là même, la puissance installée). L'eau chaude est introduite à un débit de 20 m³/h, soit un remplissage en 60 à 75 s. suivant les charges. La montée en température est immédiate, suivant le principe de l'immersion. La circulation permanente de l'eau permet d'assurer l'homogénéisation de la température de chauffage en tout point de la charge.

* En fin de période de chauffage débute un prérefroidissement de l'eau du réseau (eau perdue) de façon à redescendre le produit à une température d'environ 50°C.

* Le refroidissement proprement dit est effectué avec de l'eau glacée.

Le stockage de froid est assuré par une cuve de 4000 l., ayant une puissance de 4,063 kW frigorifique.

La circulation de l'eau glacée se fait suivant le même principe que celle de l'eau chaude.

La durée de refroidissement est commandée soit par un temps, soit par une température à coeur.

3.3.2 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS

- * **Les avantages** :
- très faible puissance installée (100 kW pour 4m³)
 - importante économie d'énergie thermique (gaz naturel)
 - facilité de conduite
- * **Les inconvénients** :
- encombrement certain.
 - très cher à l'achat (1 400 000 F.F.).
 - constitue une grosse installation, ce qui suppose que l'entreprise ait une production suffisante.
 - nécessite une manutention assez compliquée (système de palans).
 - chocs thermiques importants sur les parois des cuves lors de l'introduction d'eau glacée, ce qui entraîne des déformations des parois (d'où génération de problèmes d'introduction des paniers).

3.4) LE PROCEDE "CAPKOLD" DE LA SOCIETE GROEN.

Ce type de matériel se développe principalement dans les "cuisines centrales".

Il concerne deux lignes en parallèle :

- d'une part, cuisson et conditionnement à chaud pour les produits pompables, et cuisson pour les viandes.
- d'autre part, le refroidissement.

Le procédé Capkold englobe deux types de matériel :

* **Le cuiseur-refroidisseur à bain d'eau (immersion).** Le chauffage est alors assuré au moyen d'un double fond pour lequel le fluide chauffant prévu est la vapeur.

Le brassage est assuré par une circulation forcée (pompe) qui prend l'eau à l'une des extrémités de la cuve. Le temps de cuisson est déterminé automatiquement par une sonde qui enregistre les températures.

La cuisson terminée, l'eau est évacuée et la cuve alimentée d'eau froide. Cette eau est rafraîchie par passage sur un échangeur tubulaire extérieur.

La circulation est assurée par la même pompe.

* **Marmite de cuisson.**

Elles ont en général une capacité variable de 375 à 750 l.

Ce cuiseur est prévu pour cuire les produits en sauce ou pompables.

Les cuves sont à double fond à chauffage vapeur (6 bars) avec retour des condensats.

Un mélangeur assure l'homogénéisation des produits.

A la sortie de la marmite est effectué un dosage à chaud des produits, qui sont ensuite mis directement soit dans des poches plastiques, soit dans des conditionnements rigides ou semi-rigides.

Dans le cas des sachets, la fermeture est assurée par une agraffe métallique (clippage).

Ce remplissage à chaud permet d'obtenir un certain vide par rétraction du produit lors de son refroidissement. Le refroidissement se fait par immersion dans une enceinte rotative.

Par conséquent, le procédé Capkold n'utilise pas de matériel réellement spécifique ; il s'agit plutôt d'une conception un peu différente de la cuisson sous vide (clippage à chaud).

4) CONCLUSION

Tous ces matériels de cuisson-refroidissement sous vide ont chacun leur spécificité, de par leur système de chauffage (eau chaude, échangeur), le type de fluide utilisé (vapeur, eau, gaz), ainsi que la technologie même de cuisson-refroidissement (immersion complète, aspersion...).

Néanmoins, ils possèdent tous au moins deux points communs : les produits restent immobiles pendant toute la durée du traitement (montée et descente en température) ; par ailleurs, les sachets ou barquettes sont placés horizontalement dans les cuves.

Ces deux particularités confèrent au cuiseur-refroidisseur AFREM une spécificité énorme : les produits sont en effet placés verticalement dans la cuve ; et ce sont eux qui vont d'une part du cadre support à la cuve de cuisson, d'autre part de la cuve de cuisson à la cuve de refroidissement, puis enfin de la cuve de refroidissement à un autre cadre support.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (périodiques)

- 1) * Anonyme, 1987. - Cuiseurs à vapeur, au degré près. *Néo-Restoration*, n° 171, 47-50.
- 2) * DREANO M., 1988. - Cuisson de plats cuisinés sous-vide : procédé de cuisson-refroidissement "Thermix". *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 4, 277-279.
- 3) * PEYREMORTE J.P., 1988. - De la stérilisation traditionnelle à la cuisson de plats cuisinés sous vide, Lagarde met à la disposition des professionnels de l'industrie alimentaire et de la restauration un nouvel "outil" polyvalent. *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 4, 301-302.
- 4) * PINOT J.P., 1988. - Cuisson sous vide par le système Barriquand. *Industries Alimentaires et Agricoles*, n° 4, 305-307.
- 5) * SICOT D., 1986. - Cuisson sous vide, de l'artisanat à la phase industrielle. *Néo-Restoration*, n° 159, 52-61.

ANNEXE n° 3

LE MATERIEL UTILISE : SYSTEME DE MESURE

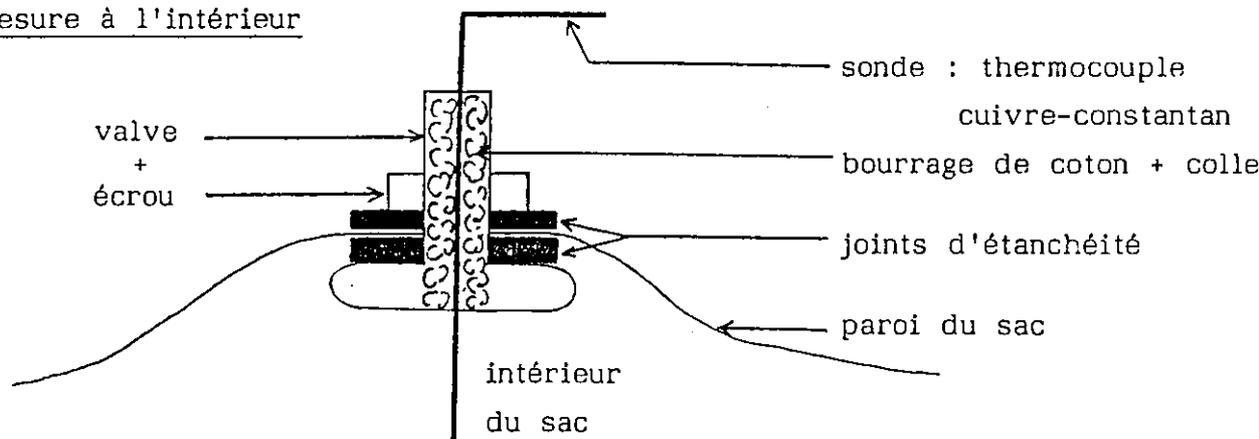
La cuisson a été effectuée dans un bain-marie à circulation permanente d'eau. Le chauffage est réalisé par des résistances sur lesquelles l'eau est mise en circulation à l'aide d'une pompe.

Le refroidissement s'est fait dans un bain, alimenté sans arrêt par de l'eau de ville, ceci pour obtenir un refroidissement le plus efficace et homogène possible.

L'évolution de la température à coeur doit être suivie à coeur des produits, à l'aide de sondes thermométriques, sans pour autant casser le vide à l'intérieur du sac.

Le système retenu pour la prise de mesure a été le suivant :

Prise de mesure à l'intérieur
du sac



Ceci a nécessité:

- une perforation circulaire du sac;
- l'utilisation d'une valve qui assure la relation extérieur-intérieur du sac;
- des joints en caoutchouc réalisant l'étanchéité;
- un bourrage en coton + colle assurant d'une part l'étanchéité, et d'autre part un bon maintien de la sonde.

Ce système simple, fabriqué au laboratoire, confère à l'ensemble de mesure une très bonne étanchéité, et se révèle très fiable dans le temps.

Les différentes étapes de préparation des relevés de température sont les suivantes :

- fabrication des thermocouples Cuivre-Constantan;
- adaptation des thermocouples en vue de l'utilisation de boîtes relais (ce qui implique une facilité de manipulation et un encombrement moindre);
- branchement de ces boîtes-relais aux cartes de la centrale de mesure;
- utilisation directe de la centrale de mesure, couplée avec le logiciel MENUSAM.

Ceci permet un relevé et un enregistrement direct des températures;

- transformation du fichier de données en un fichier compatible avec le tableur LOTUS 123;
- traitement des données par le logiciel WORKS (compatible avec LOTUS 123).

ANNEXE n° 4

- Diagrammes d'étude de l'élévation de température à coeur des pains de tylose (chauffage électrique) - diagrammes 5.8 à 5.14.

- Diagrammes d'étude du refroidissement à coeur de pains de tylose
diagramme 5.18 à 5.20.

Diagramme 5.8

TEMPERATURE DES PAINS DE TYLOSE
104 kg - 4R/7 - CONSIGNE 70°C

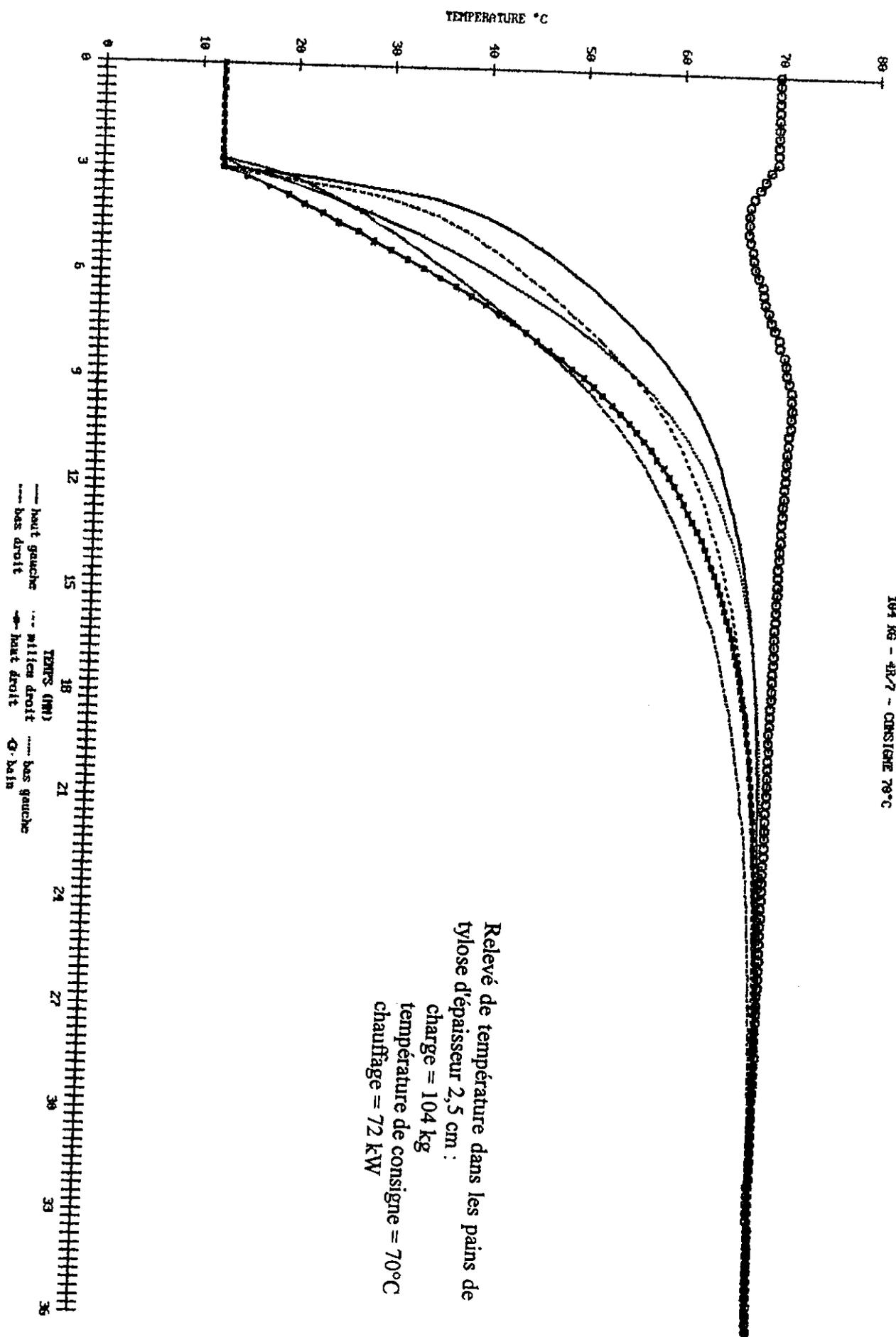
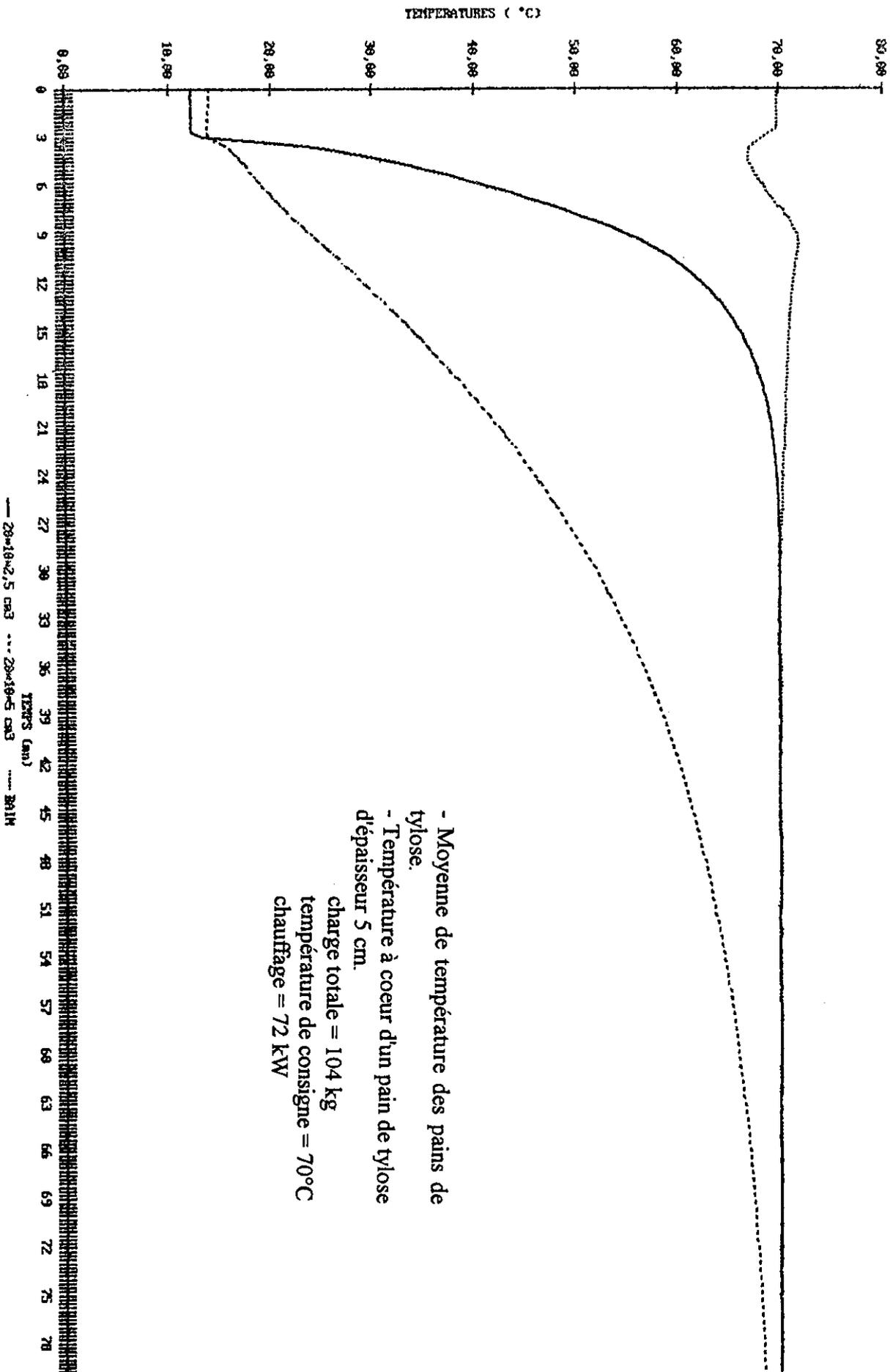


Diagramme 5.9

PAINS DE TYLOSE DE TAILLES DIFFERENTES
104KG - 4R/7 - CONSIGNE 70°C



- Moyenne de température des pains de tylose.
- Température à coeur d'un pain de tylose dépaisseur 5 cm.
- charge totale = 104 kg
- température de consigne = 70°C
- chauffage = 72 kW

— 20x10x2,5 cm3 - - - 20x10x5 cm3 20x10x5 cm3

TEMPS (min)

TEMPERATURES (°C)

0,00

0

3

6

9

12

15

18

21

24

27

30

33

36

39

42

45

48

51

54

57

60

63

66

69

72

75

78

10,00

20,00

30,00

40,00

50,00

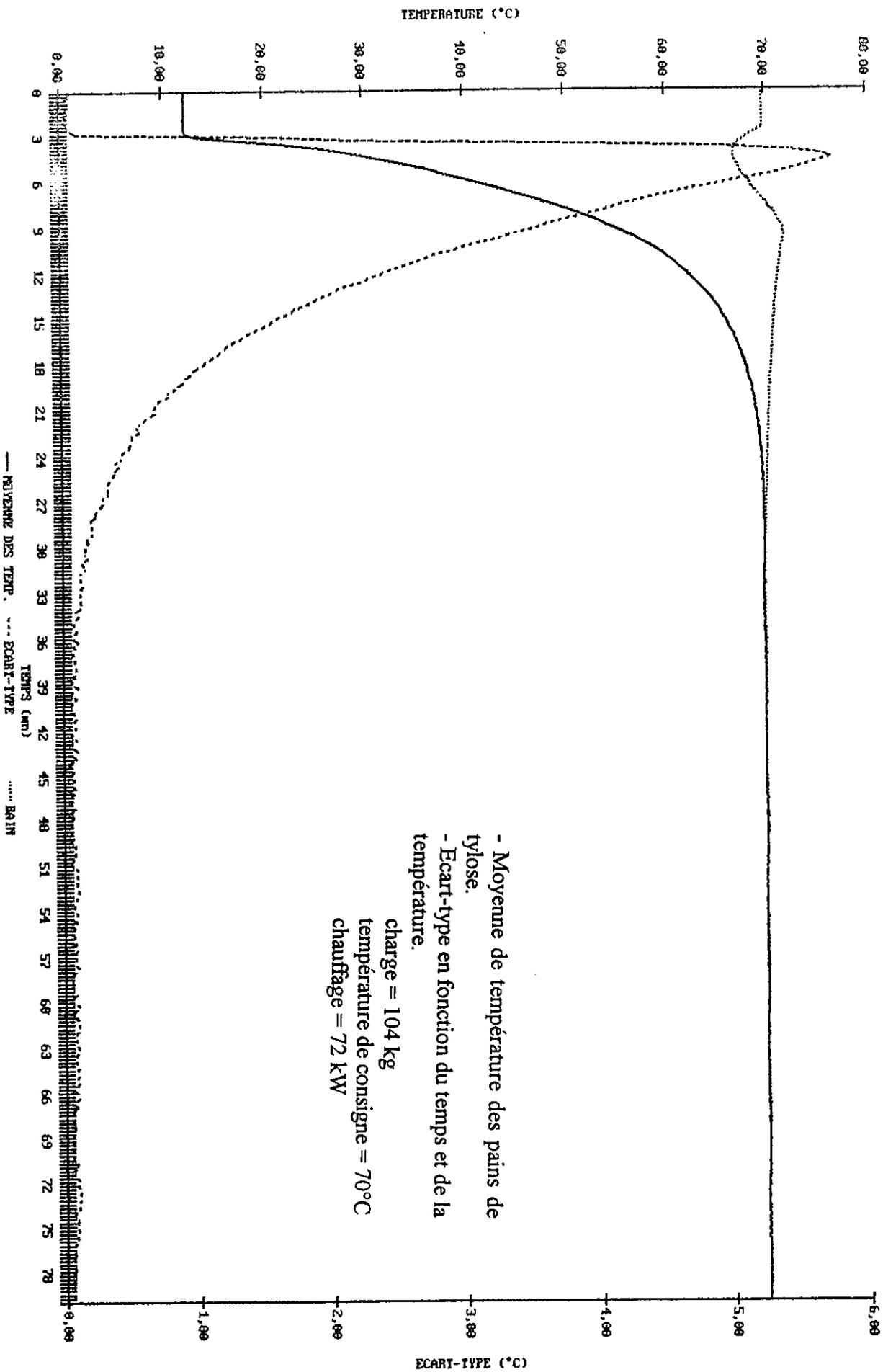
60,00

70,00

80,00

Diagramme 5.10

MOYENNE - ECART-TYPE
104 kg - 4R/7 - CONSIGNE 70°C



- Moyenne de température des pains de tylose.
 - Ecart-type en fonction du temps et de la température.
 charge = 104 kg
 température de consigne = 70°C
 chauffage = 72 kW

Diagramme 5.11

TEMPERATURE DE PAINS DE TYLOSE
176 kg - R7 - CIRCULAIRE 70°C

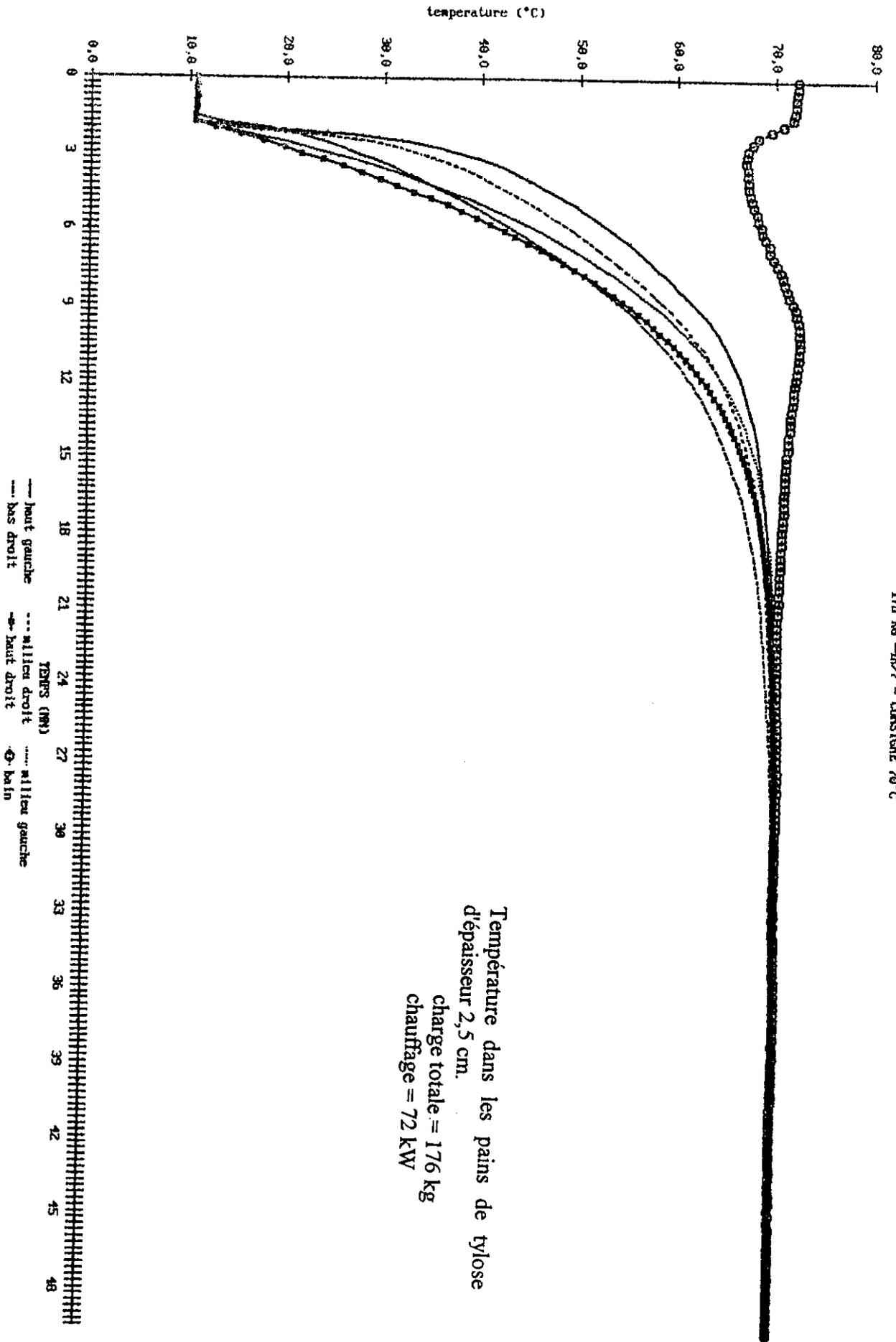
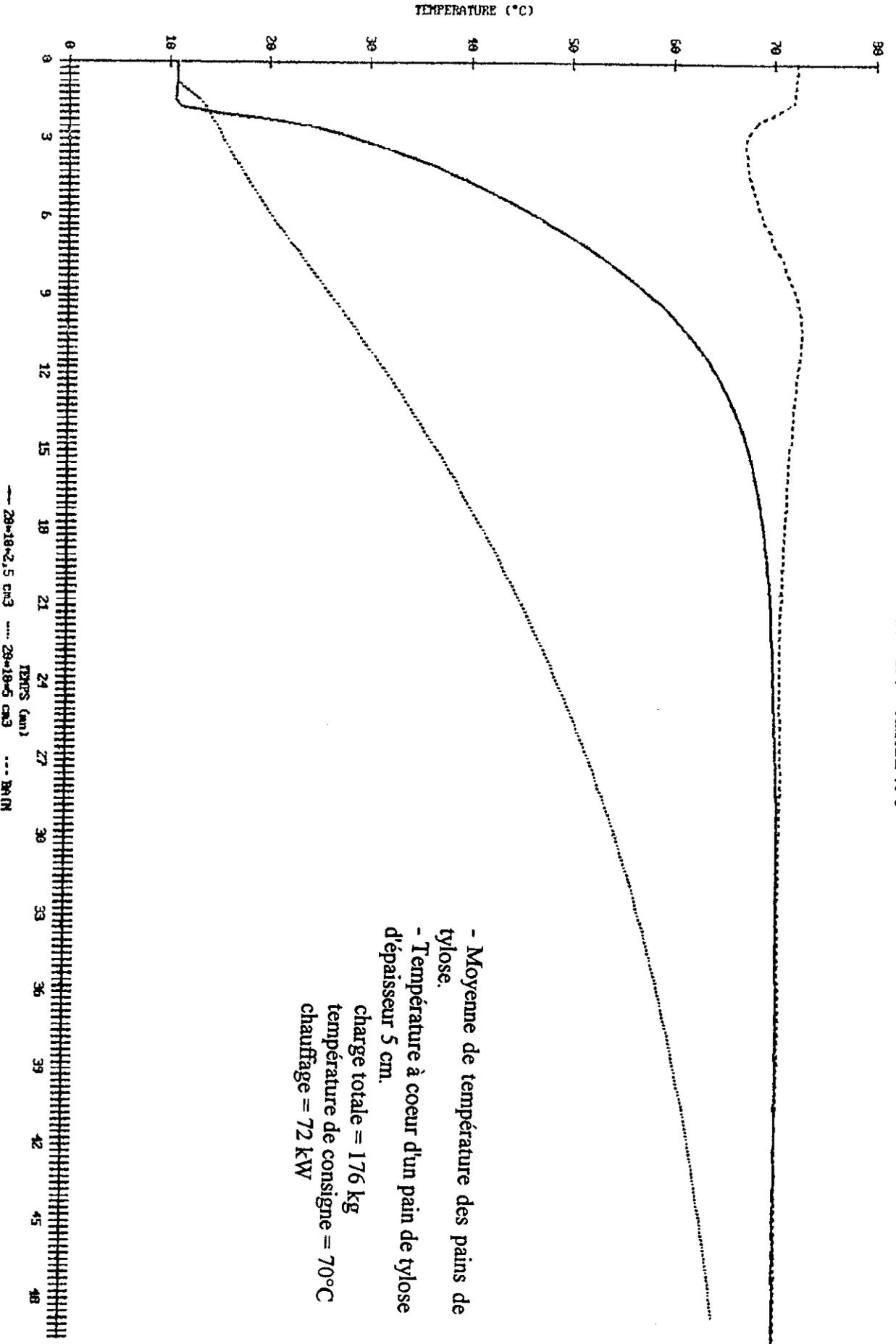


Diagramme 5.12

PAINS DE TYLOSE DE TAILLES DIFFERENTES
176 kg - 48/7 - CONSIGNE 70°C



- Moyenne de température des pains de tylose.
- Température à coeur d'un pain de tylose d'épaisseur 5 cm.
- charge totale = 176 kg
- température de consigne = 70°C
- chauffage = 72 kW

Diagramme 5.13

NOYENNE - ECART-TYPE
176 KG - 48/7 - CONSIGNE 70 °C

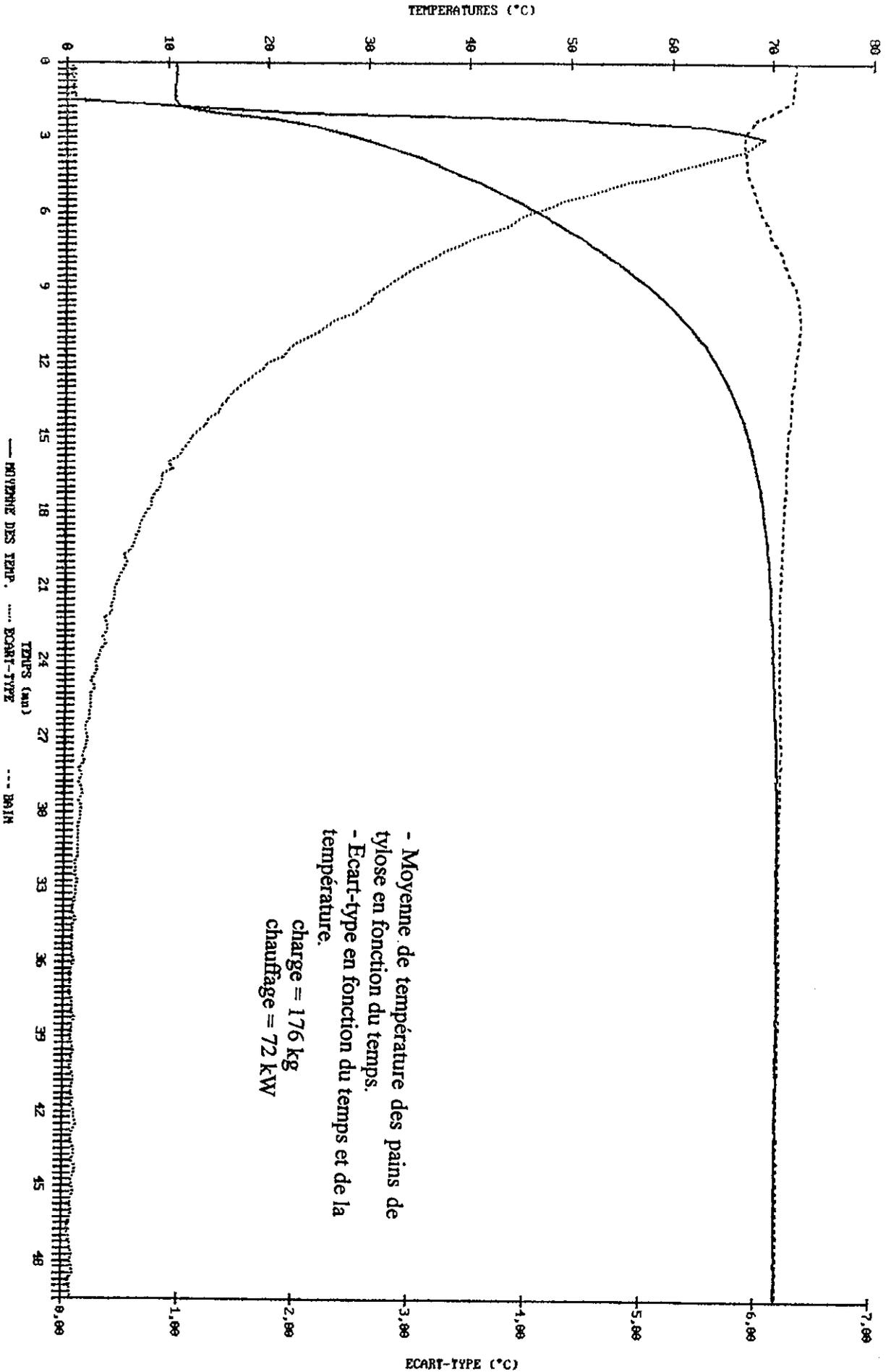


Diagramme 5.14

EVOLUTION TEMPERATURES
DIFFERENTES CHARGES

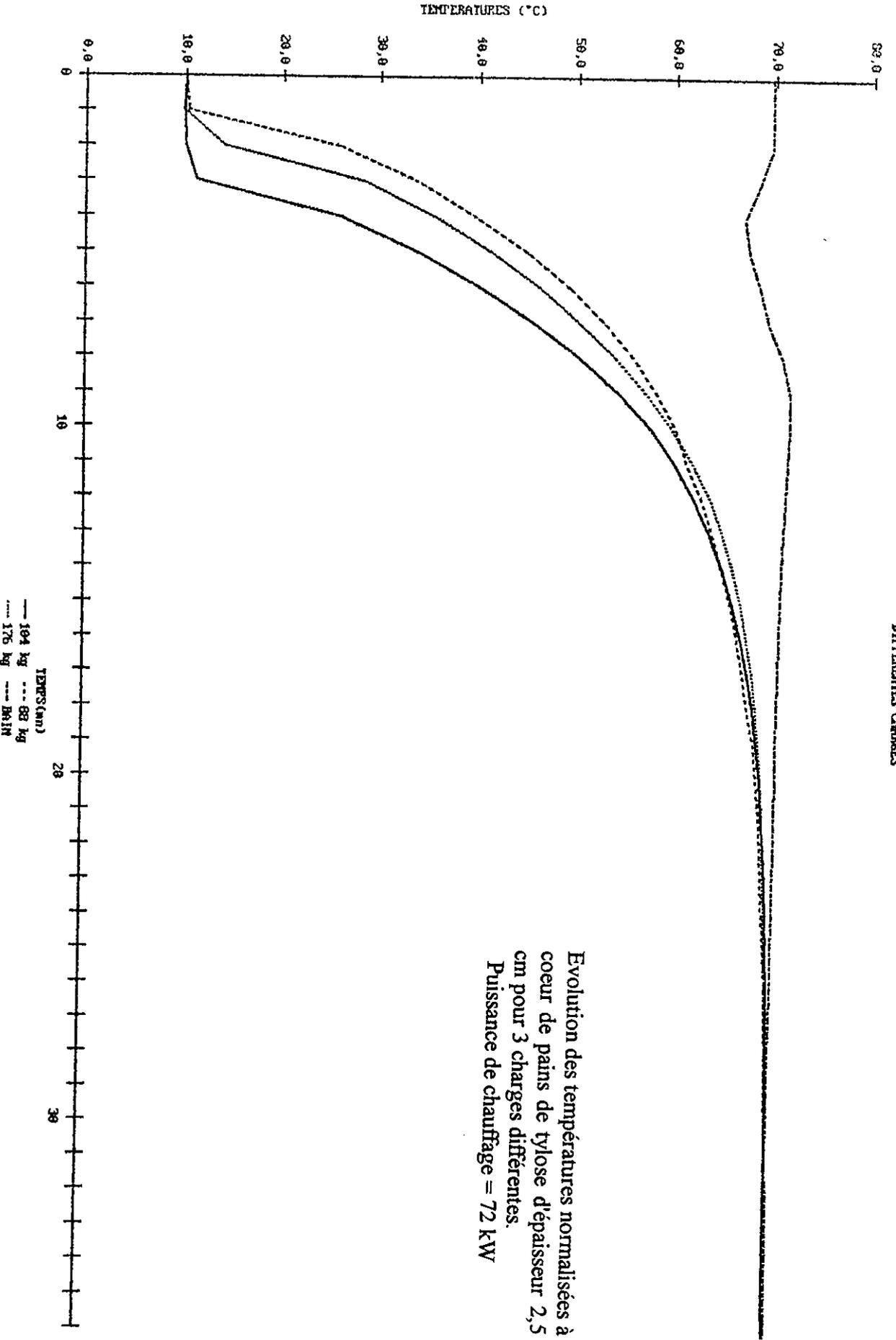


Diagramme 5.18

TEMPERATURE EN FCT DU TEMPS (EAU REF)
COMP. MOY, BAIN ET PRODUIT 6

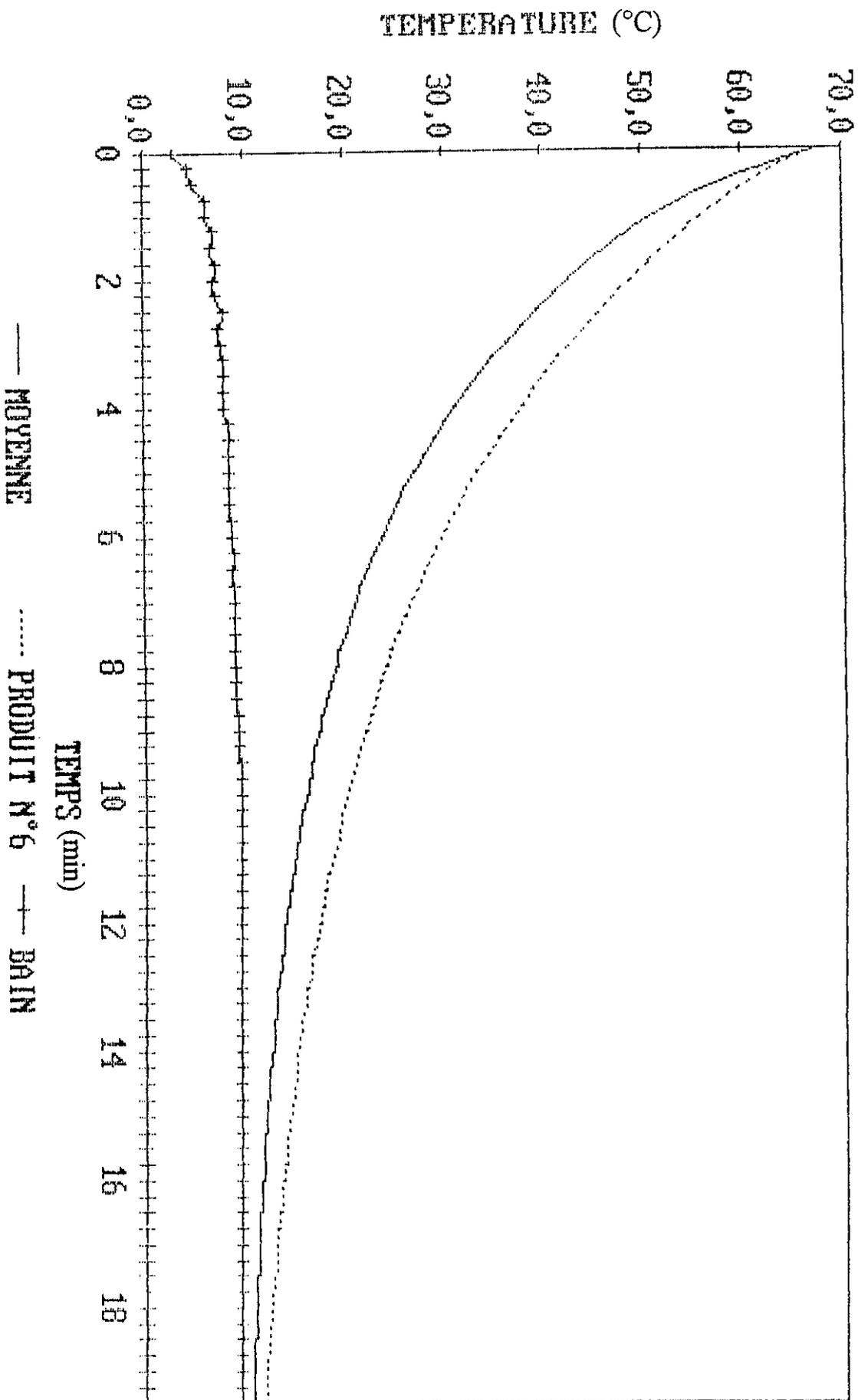


Diagramme 5.19

COMPARAISON M6 EAU DE
VILLE POUR 176 kg ET 104 kg

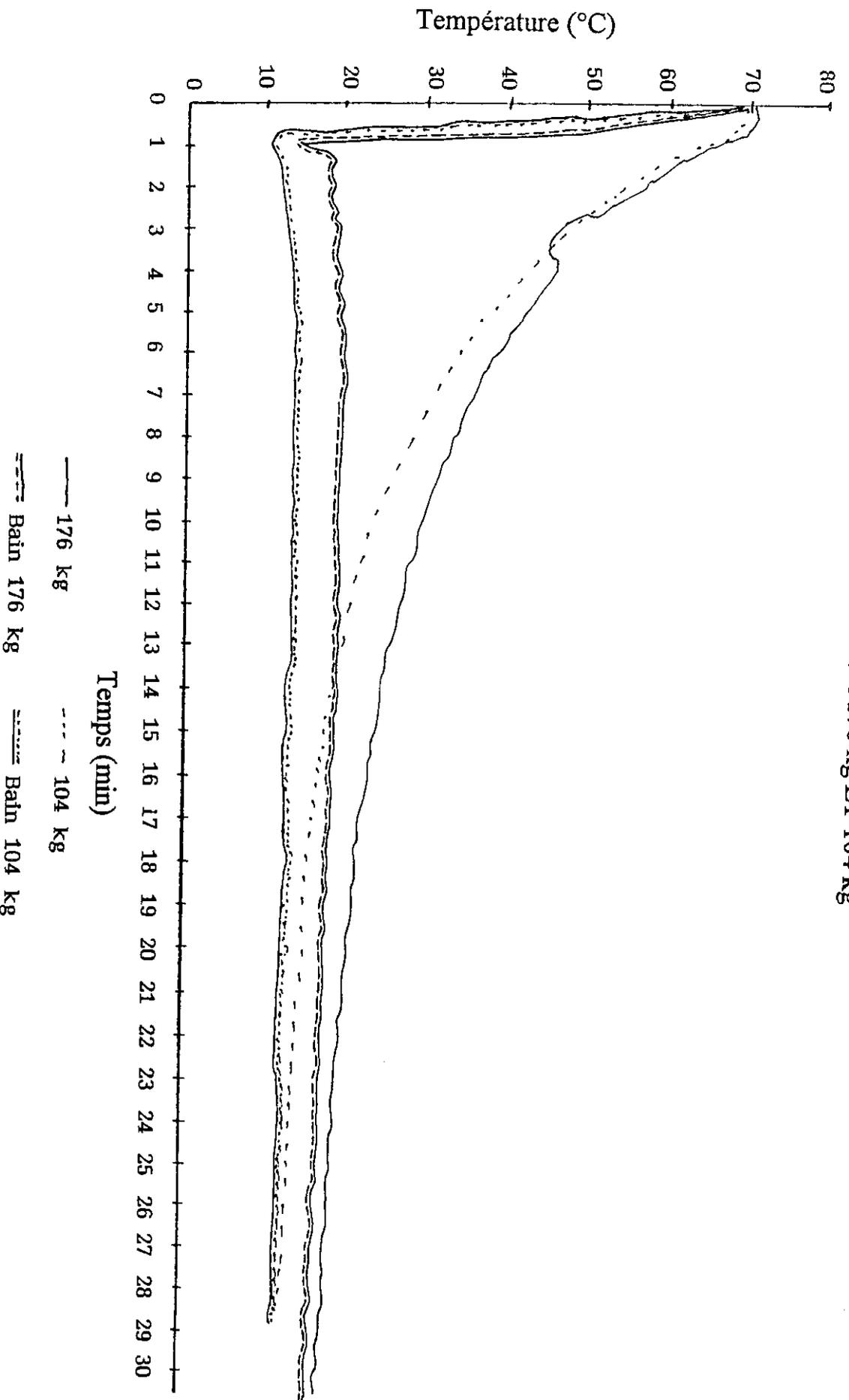
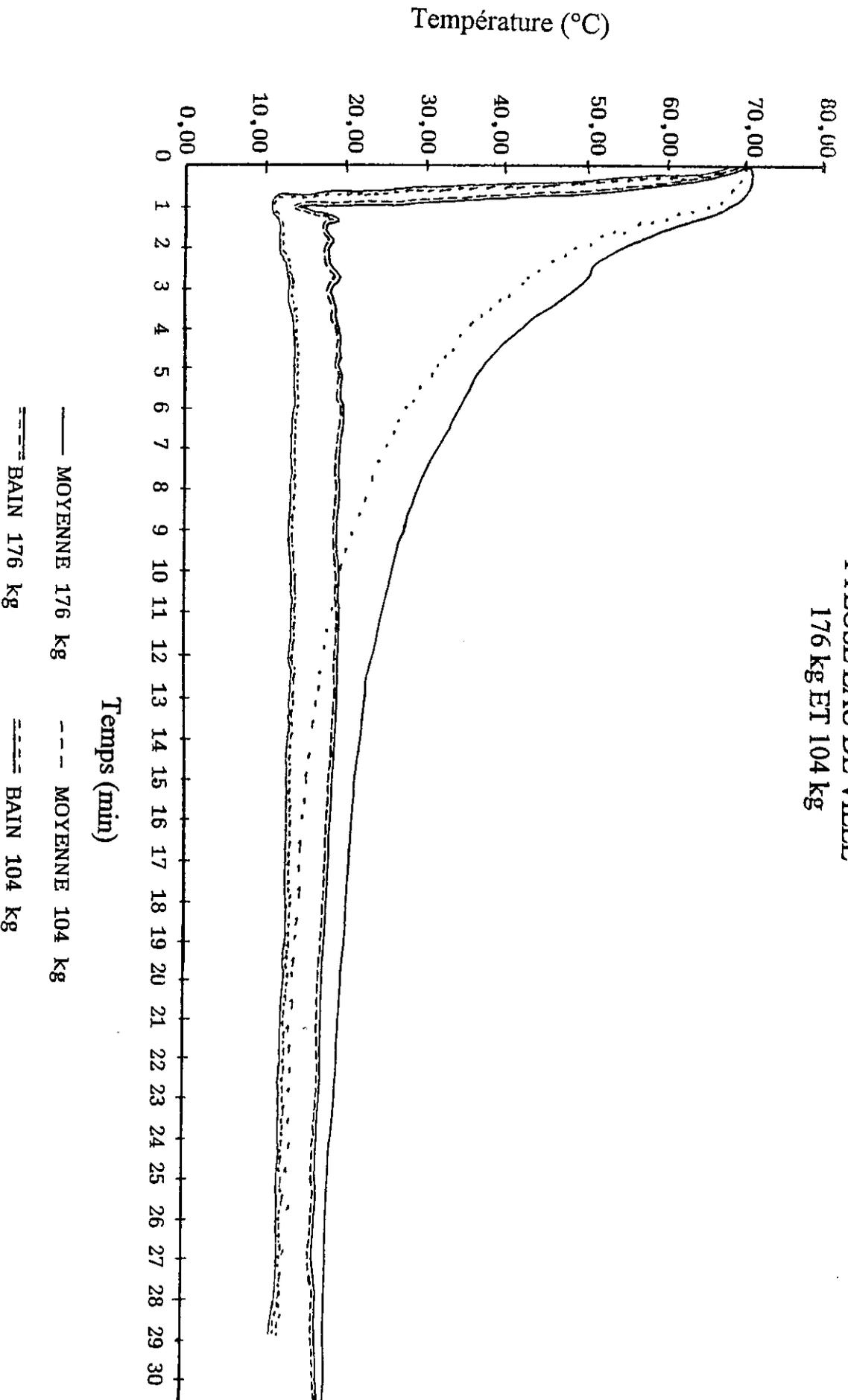


Diagramme 5.20

COMPAR. DES MOYENNES
TYLOSE EAU DE VILLE
176 kg ET 104 kg



ANNEXE n° 5

FONCTIONNEMENT DU TIC

1) ETUDE DE LA COMBUSTION DU TIC dont la description figure en page 6 et 7

Un appareil analyseur de combustion commercialisé par la société Testoterm (Testo 340) a permis de déterminer les proportions des gaz présents dans les fumées, ainsi que différents paramètres de combustion comme l'excès d'air et la température des fumées.

1.1) RESULTATS

Les résultats figurant ci-dessous sont extraits d'une série de mesures du même type qui conduisent tous à des résultats sensiblement identiques.

t (min)	=	durée en minute de fonctionnement du brûleur
T _a (°C)	=	température de l'air en °C
T _f (°C)	=	température des fumées en sortie de tube
O ₂ %	=	Pourcentage d'oxygène dans les fumées
CO (ppm)	=	Partie pour mille de CO dans les fumées
CO ₂	=	Pourcentage de CO ₂ dans les fumées
Ex. d'air	=	Excès d'air dans les fumées
Rdt % PCS	=	Rendement par rapport au PCS

t (mn)	T _a (°C)	T _f (°C)	O ₂ (%)	CO (ppm)	puCO (ppm)	CO ₂ (%)	ex. d'air	Rdt (% PCS)
0	20,7	243,2	13,1	641	1910	6,6	1,81	75
5	21,7	246,5	8,8	655	1125	6,09	1,73	75
10	21,0	254,3	8,9	520	943	6,09	1,76	75
15	21,0	258,1	9	498	872	6,8	1,76	77,3
20	20,8	262,6	8,9	477	830	6,9	1,73	77,2
25	21,5	266,1	8,9	471	845	6,9	1,76	76,5
30	21,9	268,8	9,1	447	812	6,7	1,78	76
35	21,6	270,3	9,2	446	796	6,7	1,78	76
39	22	167,6	16,9	598	3067	2,3	5,18	60
41	22,1	163,3	17	599	3113	2,3	5,18	61
45	22,3	159,6	17,1	632	3430	2,2	5,41	62

Commentaires : A t = 0, début de chauffage en régime maximum
 A t = 36, le régime maximum baisse, car la température de consigne a été atteinte ; dans les minutes suivantes, le régime du brûleur est à son allure minimum.

Conditions d'expérimentation : Pression atmosphérique : 763,7 mm Hg
 Pression du gaz : 250 mbar
 Température ambiante : 16,3 °C

2) DETERMINATION DU RENDEMENT DE LA COMBUSTION

Le rendement est déterminé à partir de l'excès d'air et du diagramme ci-joint (Extrait BT10H.GDF) par rapport au PCS.

Calcul théorique de l'excès d'air :

$$\text{excès d'air} = n - 1 = \frac{V}{V_a}$$

Avec V = volume en excès

V_a = volume d'air en m^3 (n) nécessaire à la combustion d'un m^3 (n) de gaz

Soit V_{fo} le volume des fumées sèches

$\%CO_2max$ = la proportion de CO_2 dans les fumées quand la réaction se réalise dans des conditions stœchiométriques.

$\% CO_2$ = la proportion de CO_2 dans les conditions de l'expérience

V_{CO_2} volume absolu de CO_2 .

$$\begin{aligned} & \% CO_2max = V_{CO_2} / V_{fo} \\ \text{d'où} & V_{CO_2} = \% CO_2max \times V_{fo} \\ \text{or} & \% CO_2 = V_{CO_2} / (V_{fo} + V) \\ & V_{fo} + V = V_{CO_2} / \% CO_2 \\ & V_{fo} + V = (\% CO_2max \times V_{fo}) / \% CO_2 \\ & V = V_{fo} \times (\% CO_2max - \% CO_2) / \% CO_2 \end{aligned}$$

$$\text{d'où excès d'air} = (V_{fo} / V_a) * ((CO_2max - CO_2) / CO_2)$$

1.2) ANALYSE DES RESULTATS ET DES COURBES (DIAGRAMMES p. 4)

A plein régime, le brûleur gaz fonctionne normalement, la combustion se fait en excès d'air. Celui-ci tend à augmenter avec le temps, il est à remarquer qu'il en est de même pour la température de combustion, le taux d'oxygène (O_2) et le taux de dioxyde de carbone (CO_2). Ces augmentations n'ont rien d'anormales et ne révèlent pas un dysfonctionnement. En revanche, le taux de monoxyde de carbone (CO) tend à diminuer. La combustion s'améliore donc avec le temps. Le résultat est renforcé au regard de l'évolution du rendement sur PCS qui, en effet, augmente avec le temps.

On peut conclure que, à plein régime, le brûleur a un fonctionnement normal.

Quand la température de consigne est atteinte, le brûleur doit se mettre à réguler. Pratiquement, il faut que la température de consigne soit dépassée de $5^\circ C$ pour que le brûleur commence à réguler.

Ceci est dû au régulateur PID qui n'est pas au point et non au brûleur. D'autres essais confirmeront le comportement erratique du régulateur.

A bas régime, la température de combustion (T_f) baisse et le taux de O_2 augmente fortement, de 9,2 % à 17 %, le taux de CO augmente fâcheusement, et le taux de CO_2 baisse anormalement. Cependant les résultats sont cohérents, il est logique que le taux de CO_2 chute si le taux de CO s'élève. Il n'est pas non plus anormal que le taux de O_2 augmente car la pompe à air n'est pas réglable, donc la quantité d'air arrivant pour la combustion est la même, alors que la quantité de gaz disponible est moindre. Cette disproportion entre l'air entrant et le gaz disponible engendre logiquement une combustion avec excès d'air. On remarque effectivement un excès d'air augmentant de 1,78 à plein régime à 8,18 à bas régime. Le fort taux de CO indique une combustion incomplète. Les deux phénomènes peuvent s'expliquer : il semblerait que l'excessif débit d'air entrant souffle la flamme du brûleur engendrant ainsi une combustion incomplète. Ceci est confirmé par l'examen du rendement sur PCS qui n'est plus que de 60 %. Le fort taux de CO impose la mise en place d'une cheminée d'échappement débouchant sur l'extérieur car le CO est extrêmement toxique.

La combustion à bas régime est donc mauvaise. Nous pouvons conclure que ce type de brûleur ne convient pas au type de machine. L'utilisation prévue de la machine est la suivante, montée en température le matin, d'où brûleur à plein régime, puis maintien en température avec brûleur à bas régime. Le brûleur sera donc utilisé la quasi totalité du temps en dysfonctionnement.

Ces résultats ont été confirmés en utilisant une autre méthode de mesure en collaboration avec le service de mesure de GDF. Ces résultats figurent dans le rapport de mesure ci-joint p. 5 et 6. On en retient les valeurs suivantes :

Rendement sur PCI à plein régime : 85 %

Rendement sur PCI à bas régime : 76 %.

2) DETERMINATION DE LA PUISSANCE DELIVREE PAR LE BRULEUR

Nous étudierons deux cas, le fonctionnement à plein régime et le fonctionnement à bas régime. Les conditions de l'expérience sont les mêmes qu'auparavant.

On détermine d'abord le débit volumique de gaz utilisé.

Le principe est simple, on relève deux mesures de consommation de gaz au compteur dans un intervalle de temps déterminé. Pour avoir une consommation significative, il faut un intervalle relativement important. Il a été choisi arbitrairement 3 minutes soit 180 secondes.

Posons V_1 la consommation de gaz à l'instant t_1 et V_2 la consommation à l'instant t_2 .

Le débit volumique V_j est exprimé en m^3/s .

$$V_j = (V_2 - V_1) / (t_2 - t_1)$$

V_j a été calculé dans les conditions de l'expérience, il faut alors le convertir dans des conditions normales de pression et de température. Soit V_n cette valeur.

P_n = pression normale (1013 mbar)

T_n = température normale (273,15 °K)

P_e = pression de l'expérience ($P_a + P_c$ mbar)

P_c = pression du gaz au compteur (250 mbar)

P_a = pression atmosphérique (1018 mbar)

T_a = température ambiante (289,15 °K)

D'après la loi des gaz parfaits, on peut écrire :

$$\frac{P_n \times V_n}{T_n} = \frac{P_e \times V_j}{P_n \times T_a}$$

2.1) CALCUL DE LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE

Pour calculer le débit calorifique D_n , il faut multiplier le débit volumique V_n par le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI). Ce PCI est exprimé dans la littérature (GDF).

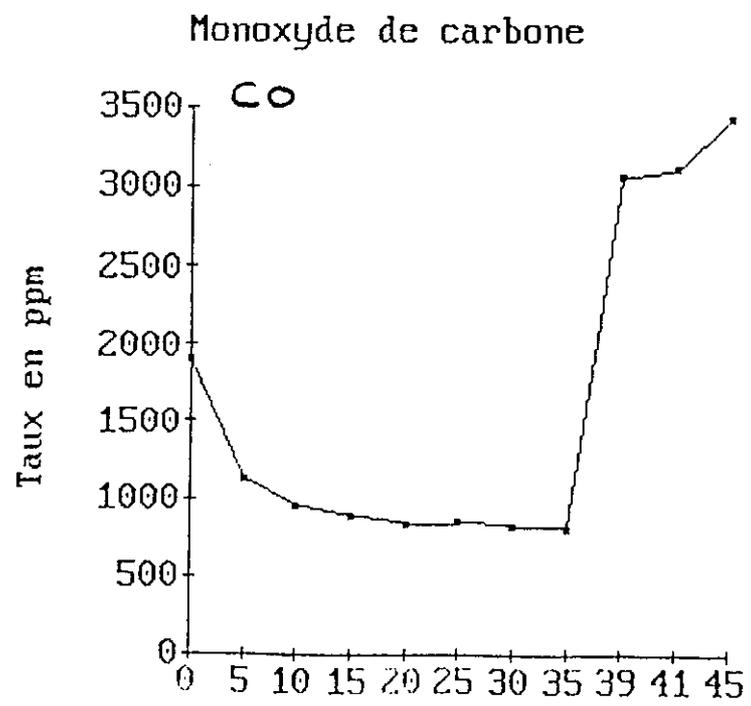
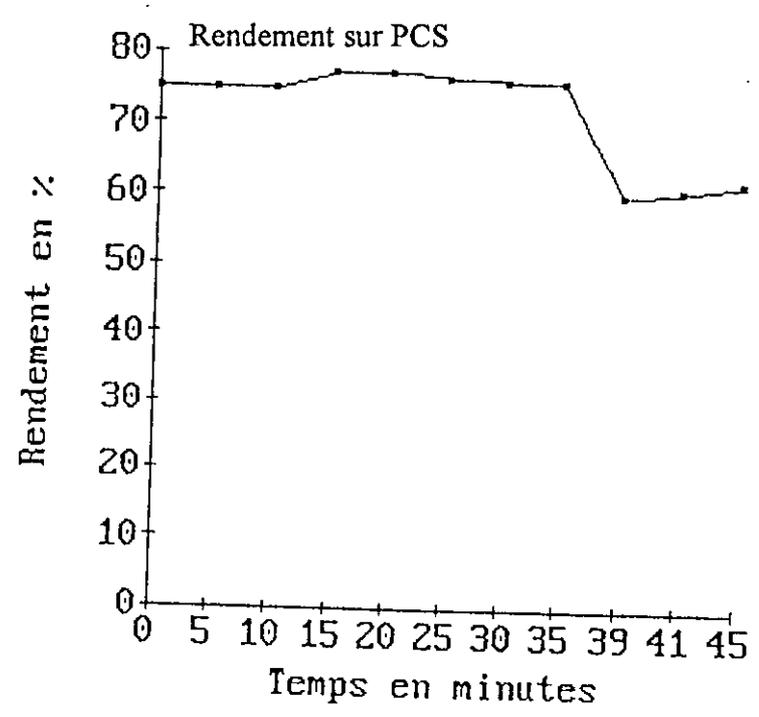
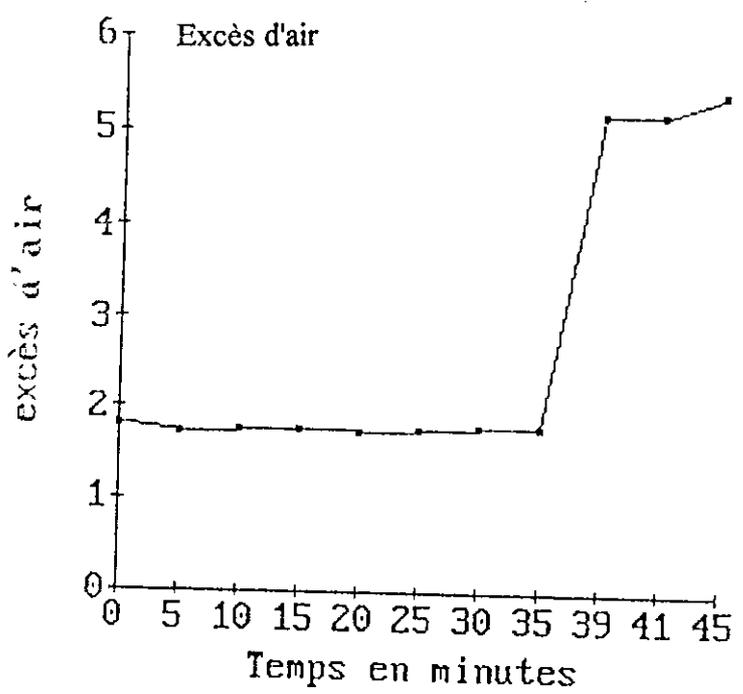
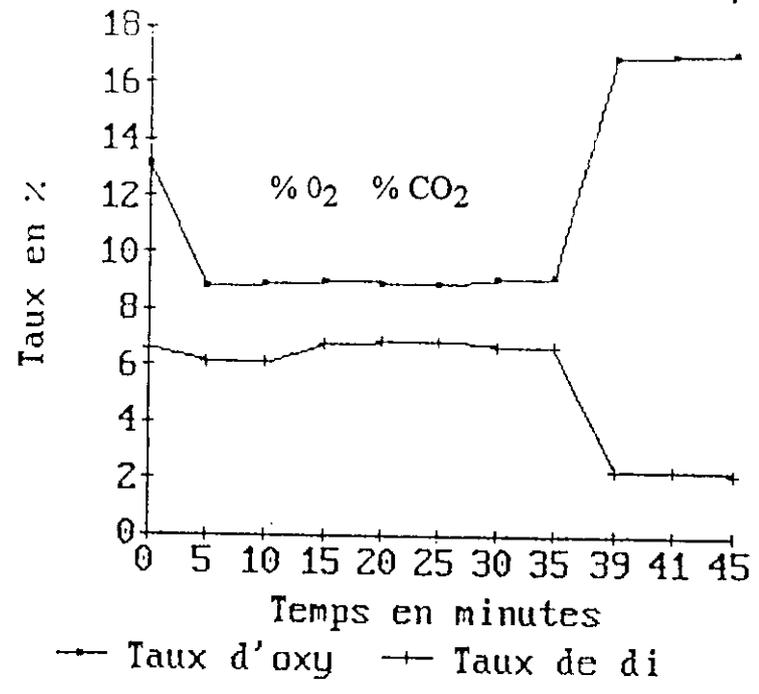
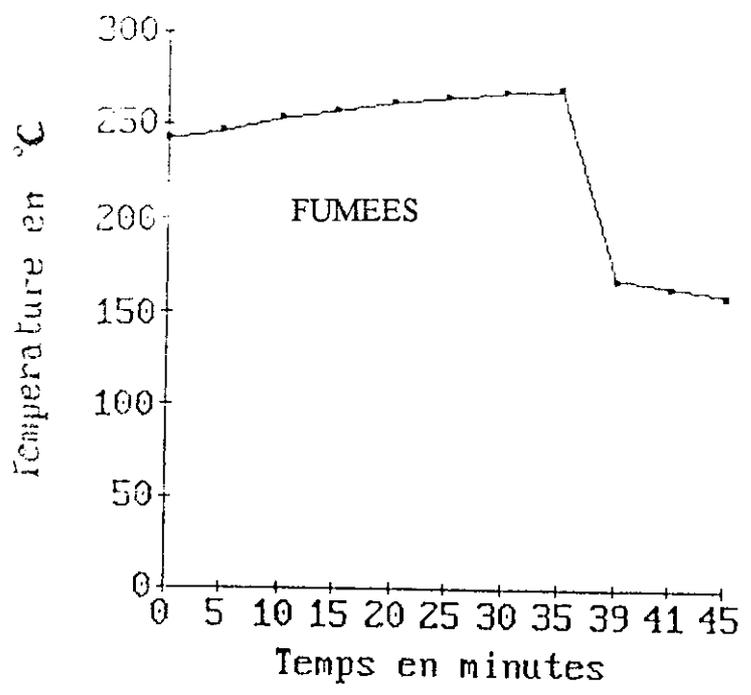
2.2) ANALYSE DES RESULTATS - CONCLUSION

Le constructeur annonçait une puissance du brûleur de 50 kW, d'après les calculs, le brûleur développe une puissance maximum de 56,7 kW. Les résultats semblent donc logiques et confirment le fonctionnement normal du brûleur à plein régime.

Il semble également cohérent que la puissance à bas régime soit plus faible. En revanche, cette puissance est plus forte que les pertes dues à l'évaporation et aux parois, ce qui explique que la température continue d'augmenter même quand la température de consigne est atteinte. Elle est très supérieure à la puissance minimale annoncée par le fournisseur puisqu'elle représente 36 % de la puissance maximale. Ce résultat rend impossible le maintien de la température à un niveau déterminé.

On serait en droit d'attendre un rendement meilleur pour un TIC. Il semblerait que le fait qu'il n'y ait pas de prémélange air-gaz avant la combustion soit un facteur limitant du rendement. Ce phénomène peut être accentué par les faibles dimensions de la chambre de combustion.

La combustion est mauvaise à bas régime. L'important taux de CO est dangereux pour les utilisateurs. Dans une machine industrielle, l'installation d'un brûleur de puissance moindre, et mieux réglable et pouvant descendre à des puissances de l'ordre de 5 kW est une condition impérative.



ENITIA A
Rue de la Géraudière
NANTES

RAPPORT DE MESURES

de combustion sur un tube immergé compact d'une cuve de cuisson de produits agro-alimentaires.

Matériel utilisé :

- Analyseurs Fyrite CO² et O²
- Thermomètre à mercure (température fumées et température ambiante)
- Sonde thermo-couple pour température d'eau du bassin
- Compteur gaz G4 pression 300 mbar.

<i>T° Fumées</i>	<i>T° ambiante</i>	<i>CO²</i>	<i>O²</i>	<i>T° Eau bassin</i>	<i>Débit de gaz Nat.</i>	<i>Heure</i>
170°	17,9	5 %	10 %	18,4	70l/mn	9h55
190°	18,8	5,5 %	10 %	31	70l/mn	10h03
195	18,8	6 %	10 %	37,7	70l/mn	10h11
ARRET DU BULLAGE 10h14						
222	18,8	6 %	10 %	48	70l/mn	10h21
230	19,5	6 %	10 %	62,6	70l/mn	10h38
				80 °		10h57
MODULATION et REMISE EN ROUTE DU BULLAGE						
158	20,4	2 %	17 %	80°	25l/mn	11h

Remarques : En modulation le débit de gaz n'est jamais descendu au-dessous de 25 litres/mn.

Lors de la modulation du débit de gaz, il serait souhaitable de moduler également le débit d'air.

Détermination des rendements de génération :

1) Brûleur à plein débit 70 l/mn à 10h38

- Abaque page 39 de la BT 104 :

$$\boxed{R_g = 85 \% \text{ PCI}}$$

- Par le calcul (méthode BT 104 - chapitre 4)

$$R_g \% \text{ PCI} = 100 - \frac{(35 n + 6) (t_s - t_a)}{1000}$$

n = facteur d'air

t_s = température sèche des produits de combustion

t_a = température sèche de l'air ambiant

soit : pour n = 1,8 (CO₂ 6% - O₂ 10%)

$$t_s = 230$$

$$t_a = 19,5$$

$$R_g = 100 - \frac{(35 \times 1,8 + 6) (230 - 19,5)}{1000}$$

$$\boxed{R_g = 85,48 \% \text{ PCI}}$$

2) Brûleur débit réduit 25 l/mn à 11 h

Par le calcul : n = 4,8 (CO₂ 2% - O₂ 17%)

$$t_s = 158^\circ$$

$$t_a = 20,4$$

$$R_g = 100 - \frac{(35 \times 4,8 + 6) (158 - 20,4)}{1000}$$

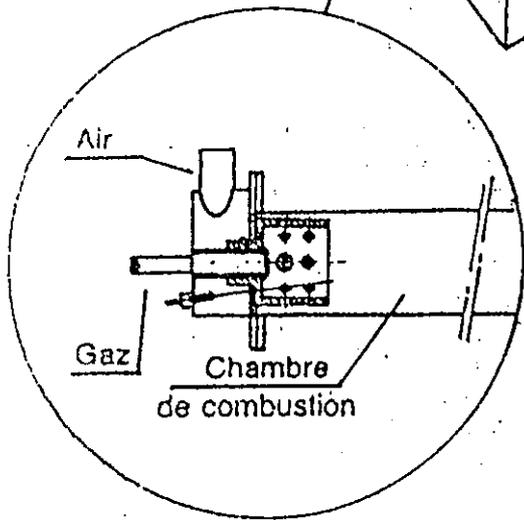
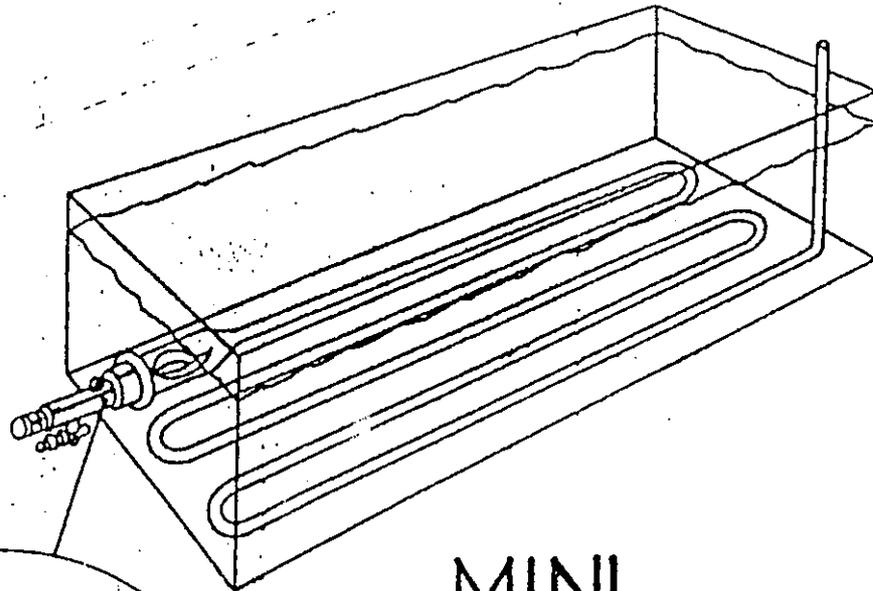
$$\boxed{R_g = 76 \% \text{ PCI}}$$

GIS

Agent Régional
sermat industria

51, Bd Victor Hugo
44200 NANTES
Tél. : 40.35.57.09

NOTICE ⁷
F ■ 150



MINI

T.C.I.

de 10Kw a 50Kw

CHAUFFAGE DES LIQUIDES PAR TUBE IMMERGÉ

GAZ INDUSTRIE SYSTEME
15/17 RUE DE LA SOURCE
93470 COUBRON
043887711 * FAX 43887722

Le chauffage des liquides par échangeur a sa technique de pointe le **TUBE IMMERGE COMPACT** (rendement élevé entre 92 et 95% sur PCI), faible encombrement, adaptable à pratiquement toutes les solutions.

Le "**MINI T C I**" fait partie de cette génération.

DESCRIPTIF

A./BRULEUR

Brûleur à mélange au nez, grande sécurité, aucun retour de flamme possible.
Construit en acier inoxydable.
Allumage et détection par électrode.

B./ CHAMBRE DE COMBUSTION

La chambre de combustion en acier réfractaire à double enveloppe permet le développement complet de la flamme et par sa double enveloppe évite l'effet "trempe" de la flamme favorisant ainsi une combustion parfaite.

C./ SERPENTIN

Le serpentin d'échange en tube de petit diamètre réalisé soit en forme de faisceau adapté à la forme du bac le recevant, soit sous forme circulaire dit thermo-plongeur. La nature de l'acier du serpentin ainsi que l'extérieur de la chambre de combustion étant fonction de la nature du liquide à chauffer.

GAMME DE PUISSANCE

Le "**MINI T C I**" a une gamme de puissance allant de 10 à 50 kW.

FOURNITURE

Le "**MINI T C I**" est fourni avec son ensemble d'alimentation gaz aux normes en vigueur, le ventilateur d'air de combustion ainsi que le coffret de commande et le thermostat de température.

Cet ensemble est livré entièrement assemblé.

*

* *

GIS reste à votre disposition pour étudier l'ensemble de vos problèmes de chauffage et met son équipe technique à votre disposition pour le montage, les raccordements, la mise en service de ses équipements.

Le brûleur dispose d'un système de contrôle et de sécurité de fonctionnement qui comprend :

- 1 régulateur électronique à microprocesseur.
GEFRAN 3000 fourni par ROGO
BP 2077 68 059 MULHOUSE CEDEX

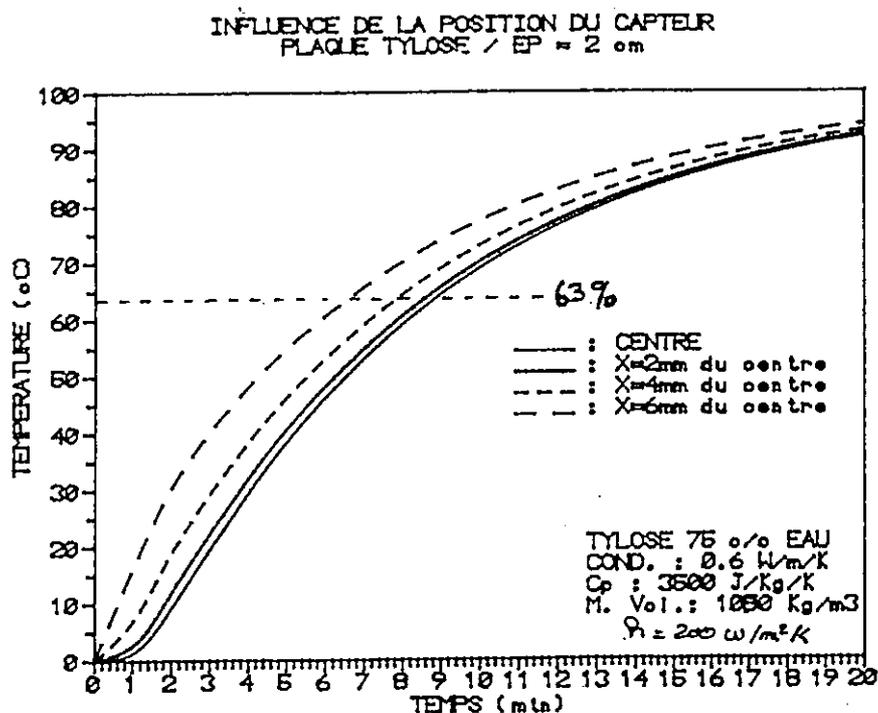
- 1 coffret de sécurité pour brûleurs à gaz à air soufflé :
LFL1 de LANDIS et GYR.

ANNEXE n° 6

EFFET DE LA POSITION DES THERMOCOUPLES SUR LA PRECISION

Le temps de réponse est obtenu par l'exploitation des fichiers de mesure de température : il s'agit donc du temps (en secondes) au bout duquel la température normalisée (notée T^*) atteint la valeur de 0,63. On obtient pour chaque essai trois valeurs (trois pains de tylose sont instrumentés). On examine au préalable l'allure des trois courbes obtenues pour chaque expérience (température à coeur des produits) afin d'éliminer, si besoin, les données incorrectes. En effet, au cours de certaines expériences des sachets se sont percés. L'eau introduite dans le sachet a fortement ralenti le chauffage du produit (ajout d'une résistance thermique correspondant à la couche d'eau). Les mesures correspondantes ont été écartées pour le calcul du temps de réponse moyen (cf. tableau p. 69 - réponse n° 2 des essais 1, 2, 3 et 4). Pour d'autres essais, les thermocouples n'ont pas été placés à coeur du produit. On obtient alors un thermogramme sans point d'inflexion initial. (cf. tableau p. 69 - réponse n° 3 des essais n° 6, 9, 10 et 11).

Afin de mettre en évidence l'influence de la position du thermocouple sur l'allure du thermogramme, une modélisation de la mise en température d'un pain de tylose a été faite. On se place dans le cas d'une plaque infinie d'épaisseur 2cm (épaisseur des pains de tylose utilisés). Le modèle utilisé est un modèle analytique classique (CARSLAW et JAEGER, 1959). Le cas de calcul traité simule la mise en température d'une plaque avec échange thermique par convection naturelle (un calcul en géométrie plaque plane verticale donne un coefficient d'échange d'environ $200 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (GIBLIN, 1974)). Les propriétés thermophysiques utilisées sont celles de la Tylose (propriétés voisines de celles de la viande). On obtient les résultats suivants :



INFLUENCE DE LA POSITION DU CAPTEUR SUR LA REPONSE
(valeurs calculées par simulation numérique)

position	temps de réponse à 63%	Erreur (*)
centre	528 s	/
2 mm du centre	505 s	4,4 %
4 mm du centre	462 s	12,5 %
6 mm du centre	384 s	27,3 %

$$(*) \text{ Erreur} = \frac{\text{réponse au centre} - \text{réponse à } x \text{ mm du centre}}{\text{réponse au centre}}$$

On constate que la position du thermocouple dans le produit influence de manière non négligeable le temps de réponse à 63%. Globalement, les écarts observés entre les réponses proviennent:

- * de l'imprécision due au positionnement du thermocouple
- * de l'influence de la position du produit dans le bain
- * de l'imprécision sur l'origine des temps (durée d'immersion des produits)

Nous ne sommes pas en mesure de chiffrer chacune de ces erreurs. Cela a été fait de manière globale grâce à l'exploitation par le traitement statistique des réponses fournies par les points centraux. Compte tenu des écarts observés, le logiciel de traitement détermine l'erreur expérimentale globale et en tient compte lors du calcul des résultats.

Nous avons supposé dans le calcul que le coefficient d'échange est identique sur chaque face du pain de tylose. Cette hypothèse est exacte en position verticale mais est inexacte en position horizontale. En effet, dans cette position les coefficients d'échange ne sont pas les mêmes sur la face supérieure et sur la face inférieure, en particulier lorsque le bullage agit sur cette dernière (augmentation du coefficient de transfert). Les valeurs proposées dans le tableau ci-dessus constituent des ordres de grandeur prévisibles des erreurs.

**CAHIER DES CHARGES ET AUTOMATISME
DU CUISEUR-REFROIDISSEUR**

suivant Brevet AFREM n° 89 08 232

SOMMAIRE

1) CAHIER DES CHARGES

1.1) Dispositions générales

1.2) Structure d'ensemble

1.3) Cuves

1.3.1. Matériau

1.3.2. Particularités de forme

1.3.3. Isolation

1.3.4. Couvercle

1.3.5. Dimensions

1.3.6. Remplissage en eau des cuves chaudes

1.3.7. Remplissage en eau des cuves froides

1.4) Dispositif de chargement

1.4.1. Chargement vertical

1.4.2. Chargement horizontal

1.4.3. Charge admissible

1.5) Dispositif de chauffage

1.5.1. Chauffage électrique

1.5.2. Chauffage gaz par tube immergé compact

1.5.3. Chauffage mixte TIC + résistance électrique

1.6) Bullage

1.7) Transbordeur

1.8) Modes de fonctionnement

1.8.1. Fonctionnement manuel

1.8.2. Fonctionnement automatique

1.8.3. Dispositif de contrôle des cycles de cuisson-refroidissement

Schéma 1 : Schéma d'ensemble de la machine AFREM (chargement horizontal)

Schéma 1' : Schéma d'ensemble de la machine AFREM (chargement vertical)

Schéma 2 : Plateaux

Schémas 3 à 6 : Chargement vertical : possibilités A'1, A'2, B'1, B'2

Schémas 7 à 10 : Chargement horizontal : possibilités A1, A2, B1, B2

2) AUTOMATISME

2.1) Commandes accessibles à l'opérateur

- 2.1.1) Préparation à la marche
- 2.1.2) Mise sous tension générale
- 2.1.3) Marche manuelle
- 2.1.4) Marche automatique
- 2.1.5) Système de bullage
- 2.1.6) Système de chauffage

2.2) Fonctionnement de l'automatisme

- 2.2.1) Fonctionnement synoptique de l'automatisme
- 2.2.2) Préparation au cycle automatique
- 2.2.3) Fonctionnement cycle par cycle
- 2.2.4) Fonctionnement en cycle continu
- 2.2.5) Temps de cycle

2.3) Améliorations de l'automatisme et de son environnement

2.4) GRAFCET de fonctionnement

1) CAHIER DES CHARGES

1.1) DISPOSITIONS GENERALES CONCERNANT LA MACHINE

La machine (voir schémas n° 1 et 1') comporte une cuve chaude et une cuve froide et, de part et d'autre de celles-ci, les dispositifs de chargement et de déchargement.

Au-dessus des cuves, un système transbordeur, commandé par un automate, assure le transfert des charges du poste de chargement au poste de déchargement, en passant par les cuves.

Le chargement des produits est envisagé de deux façons :

- en position verticale (schéma 1')
- en position horizontale (pour des raisons de praticité) (schéma 1)

Dans ce cas, le chargement est suivi d'un basculement à 90° qui permet d'amener les produits en position verticale dans les cuves.

L'agitation dans les deux cuves est obtenue par un bullage d'air.

Le chauffage de la cuve chaude est envisageable sous trois formes :

- par résistance électrique
- par tube immergé compact (chauffage gaz)
- par un système mixte, chauffage principal (par tube immergé compact ou tout autre système) et chauffage complémentaire par résistance électrique.

Le refroidissement de la cuve froide est assuré par circulation d'eau du réseau de distribution ou par circulation d'eau glacée.

1.2) STRUCTURE D'ENSEMBLE

La machine est appelée à fonctionner dans des ateliers ou cuisines centrales de cuisson. Pour des raisons sanitaires et d'homogénéité de matériel, il est recommandé de réaliser l'ensemble de la machine en acier inoxydable.

Les cuves qui constituent la partie la plus exposée aux corrosions devront être réalisées en acier inoxydable du type le plus résistant à la corrosion.

Pour les autres parties, on devra utiliser des aciers inoxydables comportant dans l'alliage au minimum 11% de chrome.

En face avant, la machine comporte un marchepied qui permet au personnel d'avoir accès à l'intérieur des cuves pour les opérations de maintenance. Cet accessoire est assemblé par vissage au reste de la machine. Il doit pouvoir être enlevé aisément.

L'ensemble des cuves et du dispositif de transbordement est assemblé sur un bâti en acier inoxydable muni de pieds dont la hauteur et la disposition permettent un levage (en vue de déplacement) par les moyens classiquement utilisés en usine (transpalette, chariot élévateur).

1.3) CUVES

1.3.1) MATERIAU

Ces cuves doivent pouvoir supporter, sans phénomène de corrosion, les cycles de nettoyage couramment utilisés (1 nettoyage acide, 1 rinçage à l'eau, 1 nettoyage basique, 1 rinçage à l'eau).

La cuve chaude pourra être utilisée jusqu'à 100°C. L'acier qui la constitue peut être en contact par accident avec des chlorures (sels de produits alimentaires).

La cuve froide sera utilisée à une température située la plupart du temps entre +15°C et - 5°C ; il n'est pas exclu que certaines machines utilisent des saumures de refroidissement (eau + chlorure de sodium).

On recommande donc d'utiliser un acier inoxydable alimentaire dit qualité marine (en principe 18% de chrome dans l'alliage).

1.3.2) PARTICULARITES DE FORME

Les cuves seront indépendantes l'une de l'autre, toute liaison métallique directe entre les cuves constitue un pont thermique engendrant des pertes de chaleur et de froid et des contraintes mécaniques préjudiciables à la tenue dans le temps.

La construction des cuves comporte certaines particularités : coins et arêtes de forme arrondie, soudures plates et polies. (Afin qu'aucun déchet ne puisse s'accrocher et s'accumuler et pour permettre un nettoyage au jet).

Fond de cuve aménagée pour permettre une vidange intégrale, rapide. Les dispositions suivantes peuvent être envisagées :

- . Fond de cuve en forme de pyramide renversée, orifice de canalisation d'évacuation au sommet de la pyramide, débouchant dans une canalisation d'évacuation de même diamètre que l'orifice qui aboutit derrière ou sur le côté de la machine. La canalisation est fermée par une vanne 1/4 de tour.
- . Fond de cuve plane avec pente uniforme de 5% entre 2 coins opposés, évacuation dans le coin le plus bas situé en arrière de cuve.

1.3.3) ISOLATION

Sur toutes les faces latérales et notamment entre les deux cuves, nécessité d'utiliser un isolant qui résiste à 100°C, et de placer une protection contre les chocs et les projections d'eau en provenance de l'extérieur.

On peut proposer (mousse de polyuréthane, laine de roche immobilisée épaisseur 3 cm).

1.3.4) COUVERCLE

L'ouverture et la fermeture sont assurées automatiquement par un vérin pneumatique, une étanchéité minimum est assurée par un joint élastique entre le bord supérieur des cuves et le couvercle.

1.3.5) DIMENSIONS

Les dimensions internes des cuves doivent permettre de loger :

- les plateaux support de produit,
- le cadre support des plateaux. Ce cadre reposera dans la cuve sur 4 taquets soudés en coin de cuve à une hauteur suffisante pour laisser un espace de 3cm entre la résistance ou le tube chauffant et les plateaux support de produit,
- les résistances électriques ou le tube de chauffage,
- le râteau de distribution du bullage.

Etant donné la nécessité de respecter les dimensions gastronormes, les dimensions des cuves résultent des différentes possibilités de formats et de positions des plateaux (voir schéma 2) : les possibilités figurent dans les schémas 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 .

La distance minimale recommandée entre les résistances ou le tube immergé et le fond de cuve est de 4cm. Avec des résistances de diamètres 80mm, l'espace nécessaire a une hauteur de 153 mm (dimension portée sur les schémas). Avec un tube immergé compact dont le diamètre de chambre de combustion est de 140 mn, l'espace nécessaire a une hauteur de 180 mm.

1.3.6) REMPLISSAGE EN EAU DES CUVES CHAUDES

Un détecteur de présence d'eau est nécessaire. L'indication de ce capteur sera prise en compte dans l'automatisme de contrôle du chauffage (L'absence d'eau interdit la mise en chauffe). Ce capteur est placé en face arrière de cuve à une hauteur qui assure la couverture des éléments chauffants, l'indication de présence d'eau fait l'objet d'un affichage au tableau de commande.

- Un détecteur de niveau optimum d'eau dans la cuve du même type que le détecteur précédent contrôle le niveau de remplissage en eau. Il est placé à une hauteur telle que le niveau d'eau couvre la charge des produits (affleurement avec le cadre support).

Si on appelle d la distance entre le cadre support et le capteur, sa valeur en mètre peut être calculée par la relation :

$$d = \frac{M.}{0,9 \cdot S \cdot 1000}$$

M = masse de produit en kg.

S = surface de base en m^2 de la cuve

0,9 = densité moyenne des produits alimentaires

Ce capteur situé sur la face arrière de la cuve ne devra pas gêner les entrées et sorties de charge. L'indication du capteur de niveau d'eau est prise en compte par l'automatisme de contrôle de l'installation, la détection d'absence d'eau déclenche l'ouverture de la vanne d'alimentation en eau de la cuve.

Dans une version simplifiée de la machine, on peut confondre le détecteur de présence d'eau en fond de cuve avec le détecteur de niveau optimum.

La cuve chaude comporte une évacuation de trop-plein située au-dessus du niveau du cadre support et au-dessus du capteur précédent. Elle permet l'évacuation en arrière de cuve pour éviter tout débordement intempestif. Sa position empêche le niveau de l'eau dans la cuve d'atteindre les vérins de saisie du cadre support par le système transbordeur.

1.3.7) REMPLISSAGE EN EAU DES CUVES FROIDES

L'alimentation en eau des cuves froides peut être faite, soit à partir de l'eau du réseau, soit à partir d'une cuve d'eau glacée.

L'arrivée se fera de préférence en position basse sans toutefois être située en fond de cuve. L'évacuation se fera par une canalisation dont le départ est situé au niveau maximum, au-dessus du cadre support.

Le réglage de débit d'eau est assuré par une vanne thermostatique différentielle qui ajuste le débit entre l'arrivée et le départ en fonction de la différence de température souhaitée. Une vanne de sécurité automatique est montée sur cette même canalisation en amont de la précédente ; sa fermeture est déclenchée par un détecteur de présence d'eau au-dessus du niveau de rejet.

L'eau glacée pourra être produite :

- soit en production instantanée ; ce cas correspond à une implantation dans une usine possédant une centrale frigorifique.
- soit en production avec stockage de froid sous forme de glace, dans un atelier ne disposant pas de production frigorifique centralisée. Cette solution permettrait d'ajuster au mieux la puissance installée.

1.4) DISPOSITIF DE CHARGEMENT

Ce dispositif est constitué d'un chariot de transport horizontal qui assure 2 fonctions :

- Il permet la constitution d'une charge de produits.
Sur ce chariot de transport repose un cadre support, équipé d'anneaux de saisie, qui permet au transborreur de transférer la charge entre les différentes cuves.
- Il indique la présence ou l'absence de produits au poste soit de chargement, soit de déchargement par l'intermédiaire d'un capteur de présence, dont l'indication est prise en compte par l'automate de commande.

Deux modes de chargement sont à envisager, soit en position verticale, soit en position horizontale. Quel que soit le mode utilisé, la position finale du produit en cuve est verticale.

Le chargement doit ménager un espace suffisant entre les produits (permettre l'efficacité du bullage) : dans le cas de produits plats une distance intercalaire de 2 cm est nécessaire.

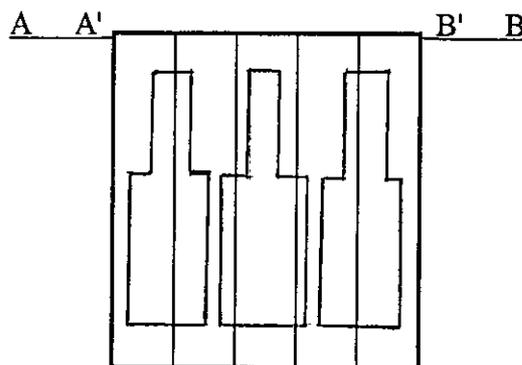
Cette distance pourra éventuellement être réduite dans le cas de produits non plats dont les formes génèrent naturellement de larges espaces intercalaires, toutefois en aucun cas les produits ne doivent se toucher.

Les plateaux qui servent à maintenir les produits devront avoir les dimensions standardisées gastronomiques ; leurs dimensions figurent sur le schéma n°2.

1.4.1) CHARGEMENT VERTICAL

voir schémas des possibilités A'1, A'2, B'1, B'2

Des produits de grandes dimensions et des produits dont la forme peut être conservée sans précaution particulière (Ex : rotis de diamètre 10 cm, jambon, bouteilles ou boîtes de sauce..., ces produits correspondent à des produits à traitement thermique long), peuvent être attachés sur des grilles support. Chaque grille repose sur le cadre transborreur par les deux extrémités supérieures. Chaque système d'attache sera à concevoir en fonction de la forme du produit. (voir schéma de principe ci-dessous).



Dimensions $AA' = BB' = 1,5 \text{ cm}$

Pour respecter les dimensions standard gastronomique, on aura les dimensions suivantes possibles qui correspondent aux possibilités A1', A2', B1', B2'.

	Cadre dimensions internes	Grille support	
A1'	530 x 930 mm	AB = 530 mm , BF = 650 mm	
A2'	650 x 930	AB' = 650 mm, BF = 530 mm	
B1'	cadre divisé en 2 par 1 barre centrale permettant le chargement de 2 grilles sur la largeur 650 x 930	AB' = 530 mm BB' = 530 mm AE = 650 mm BF = 650 mm	
B2'	cadre divisé en 2 par une barre centrale permettant le chargement de 2 grilles sur la largeur 650 x 930	AB' = 325 mm AE = 1060 mm	B'B = 325 mm AE = 1060 mm

1.4.2) CHARGEMENT HORIZONTAL

Voir schémas des possibilités A1, A2, B1, B2

Pour respecter les dimensions standard gastronomique, on aura les dimensions suivantes possibles :

	Dimension interne de cadre	Grille support
A1	530 x 930	DH = 650 mm DC = 530 mm
A2	650 x 930	DH = 530 mm DC = 650 mm
B1	(530 + 530) x 930 séparation en deux par une barre centrale	DH = 650 mm DD' = 530 mm
B2	(325 + 325) 530 séparation en deux par une barre centrale.	DH = 1060 mm DC = 650 mm possibilité d'utiliser des grilles de demi-largeur DD' = 325 mm D'C = 325 mm

1.4.3) CHARGE ADMISSIBLE

A titre indicatif, on peut effectuer un chiffrage rapide en considérant qu'on charge la machine avec des plats cuisinés en barquette standard de (15 cm x 13 cm x 3 cm) de masse 300 g.

Un plateau de 650 x 530 peut recevoir 12 barquettes soit 3,6 kg.

Possibilité A1 ou A2 : 18 plateaux espacés de 2 cm représentent la hauteur 93 cm et une charge de 64,8 kg . Le taux de remplissage ($\frac{\text{volume du produit}}{\text{volume de cuve}}$) est alors 14,5 %.

Possibilité B1 : 1 plateau peut recevoir le double de produits espacés de la même manière ; la charge est alors 129,6 kg. Le taux de remplissage est alors de 15,6 %.

Pour des produits divers de dimensions différentes, il conviendra de refaire un calcul en maintenant un espace intercalaire entre les produits de 2 cm.

$$\left(\text{taux de remplissage} = \frac{\text{volume du produit}}{\text{volume de cuve}} \right)$$

1.5) DISPOSITIF DE CHAUFFAGE

La mise sous tension de l'ensemble de la machine ne déclenche pas la mise en route du système de chauffage quel qu'il soit.

La mise en route du chauffage nécessite une intervention manuelle de l'opérateur ; elle est de plus soumise au contrôle de sécurité de présence d'eau.

1.5.1) CHAUFFAGE ELECTRIQUE

- . Utilisation de résistances de type blindé
- . Revêtement extérieur acier inoxydable de qualité alimentaire
- . Bague d'étanchéité vissée sur la face latérale de la cuve avec joint d'étanchéité, vérifier la compatibilité du matériau de la bague et de l'acier inoxydable. (bague en bronze avec acier inoxydable)

Puissance de chauffage : pour les dispositions A ou les dispositions B, bien que la charge soit différente, on pourra utiliser une puissance dont la valeur minimale sera voisine de 60 kW (Une puissance supérieure n'améliore pas la rapidité de la mise en température des produits).

Par contre, la puissance de chauffe intervient pour la durée de la mise en température d'une cuve. Le temps de mise en température d'une cuve de 600 l avec une puissance de chauffe de 60 kW, sans bullage, est de l'ordre de 1 h. Le temps sera doublé pour une cuve de 1200 l. La durée de mise en température t est donnée par la relation

$$t = \frac{V \cdot \rho \cdot 4,18 (\theta_f - \theta_i)}{P}$$

- t = temps en secondes
- V = volume d'eau dans la cuve en litre
- ρ = masse volumique de l'eau 1 kg par litre
- 4,18 = chaleur spécifique de l'eau en kJ/kg. °C
- θ_f = température finale en °C
- θ_i = température initiale en °C
- P = puissance de chauffage en kW

La régulation de chauffage permet de moduler la puissance appelée de 0 à 100 %.

1.5.2) CHAUFFAGE GAZ PAR TUBE IMMERGE COMPACT

Une puissance de 60 kW est suffisante et donnera les mêmes résultats que le chauffage électrique. A noter que la régulation de ce type de chauffage est moins facile qu'avec l'électricité, on peut avoir une modulation de puissance de 30 à 100 %. On devra s'assurer que la puissance minimum du brûleur est inférieure aux pertes. Si cette condition n'est pas remplie, on ne peut pas utiliser cette solution valablement.

1.5.3) CHAUFFAGE MIXTE TUBE IMMERGE COMPACT + RESISTANCE ELECTRIQUE

Le tube immergé compact (TIC) servira à mettre en température la cuve de cuisson. Sa puissance sera déterminée en fonction :

- . des dimensions de la cuve choisie (longueur maximum de tube logeable).
- . de la rapidité de mise en température que l'on veut obtenir.

La résistance électrique servira à apporter la chaleur nécessaire à la montée de température du produit et à compenser les pertes par le bullage ; elle permettra une régulation fine de la température du bain. On peut adopter une puissance maximum de 10 kW réglable de 0 à 100 %.

La résistance électrique et le TIC devront être disposés de façon régulière en fond de cuve de façon à rendre efficace le système d'agitation par bullage pour l'un des systèmes de chauffage comme pour l'autre. Dans ce cas, on doit prévoir un espace complémentaire suffisant pour loger les deux éléments de chauffage.

N.B. : Prévoir un plus grand encombrement en fond de cuve dû à la présence supplémentaire de résistances électriques.

1.6) BULLAGE

Chaque cuve est équipée d'un ensemble de bullage qui lui est propre. Dans le cas où il y aurait plusieurs cuves chaudes et plusieurs cuves froides, il n'est pas recommandé d'avoir un surpresseur pour l'ensemble des cuves froides et un autre pour l'ensemble des cuves chaudes, l'équilibrage des bullages serait très difficile à obtenir.

Le bullage est obtenu par un râteau de distribution en acier inoxydable placé en fond de cuve en laissant un espace suffisant (1 cm) entre le fond de cuve et le tube.

Les tubes de distribution ont un diamètre interne entre 10 et 15 mm et sont percés en partie supérieure d'orifices circulaires de diamètre 1 mm, situés de façon régulière à 30 mm les uns des autres.

Le calcul du débit optimal de bullage peut se faire proportionnellement à la surface de base d'une cuve, en prenant 4,3 m³/h pour 1m² de surface, on obtient dans chaque disposition envisagée :

A1	0,616 m ²	2,65 m ³ /h	A'1	0,4453	----	1,9 m ³ /h
A2	0,7373 m ²	3,2 m ³ /h	A'2	0,4453	----	1,9 m ³ /h
B1	1,151 m ²	4,95 m ³ /h	B'1	0,8322	----	3,6 m ³ /h
B2	0,7373 m ²	3,2 m ³ /h	B'2	0,8322	----	3,6 m ³ /h

Il existe 2 possibilités de montage du surpresseur :

- soit celui-ci aspire l'air ambiant et injecte l'air en bas de cuve, l'air n'est pas récupéré et s'échappe naturellement par les ouvertures de trop plein.

- soit le surpresseur aspire l'air par un orifice pratiqué en sommet de cuve, de cette façon notamment pour la cuve chaude on limite les pertes thermiques. Ce dernier dispositif suppose qu'on a vérifié que le surpresseur peut fonctionner correctement avec de l'air saturé contenant des gouttelettes d'eau jusqu'à des températures de 100°C.

Dans le cas où cette dernière solution serait impossible, on peut envisager de récupérer de la chaleur contenue dans l'air du bullage ; un échangeur de chaleur entre l'air chaud et humide évacué et l'air ambiant aspiré par le surpresseur peut jouer ce rôle.

La mise en route du bullage est faite par l'opérateur à partir du tableau de commande, un indicateur de fonctionnement figure sur ce tableau.

1.7) TRANSBORDEUR

Le dispositif électromécanique de saisie et de transport des charges de produit à cuire entre les postes de rangement, de cuisson, de refroidissement et de déchargement, il comporte :

- un système destiné à effectuer les mouvements horizontaux, et à assurer le guidage des transferts entre les différentes positions.

à titre d'exemple : on peut utiliser un ensemble moteur, pignon, chaîne le long d'une poutre ou un ensemble moteur, pignon, crémaillère fixée à la poutre.

- un système destiné à effectuer les mouvements verticaux.

à titre d'exemple :

- . palan à chaîne ou à câble qui assure les montées et descentes du dispositif de saisie du cadre transbordeur. Ce dispositif de saisie coulisse sur un guide de mouvement vertical. On devra limiter les frottements entre le dispositif de saisie et le guide (installation de roulements).

- . ou, moteur solidaire du système de saisie coulissant le long d'une crémaillère fixée sur le guide vertical.

- un ensemble de capteurs assurant la détection des différentes positions du cadre transbordeur.

On peut proposer :

une première solution, un ensemble de capteurs de position (mouvement horizontal, mouvement vertical, saisie du cadre),

une deuxième solution : utilisation d'un moteur pas à pas couplé avec un codeur incrémental (pour le mouvement horizontal) auxquels viennent s'ajouter des capteurs pour le mouvement vertical et la saisie du cadre.

1.8) MODES DE FONCTIONNEMENT

1.8.1) FONCTIONNEMENT MANUEL

La marche manuelle permet la commande de chacun des mouvements du chariot transbordeur (translation, montée, descente) et la saisie du cadre transbordeur.

Cette marche manuelle doit être utilisable pour pallier tout défaut de fonctionnement. Dans ce mode de fonctionnement, on devra néanmoins veiller à la prise en compte de sécurités de fonctionnement.

- impossibilité de lâcher le cadre transbordeur en position haute.
- impossibilité de faire les mouvements de translation tant que le cadre transbordeur n'est pas en position haute.
- impossibilité de rabattre les couvercles alors que le chariot est en transfert.
- impossibilité de recharger une cuve déjà pleine...

1.8.2) FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

L'automatisme prend en compte la gestion des transferts de charges et les temps de séjour dans les cuves de cuisson et de refroidissement (conduite de la machine) et il assure la sécurité de fonctionnement de l'ensemble. (à titre d'exemple : prise en compte des niveaux d'eau, des températures de bains, gestion d'un arrêt d'urgence de l'opérateur).

1.3.3) DISPOSITIFS DE CONTROLE DES CYCLES DE CUISSON-REFROIDISSEMENT

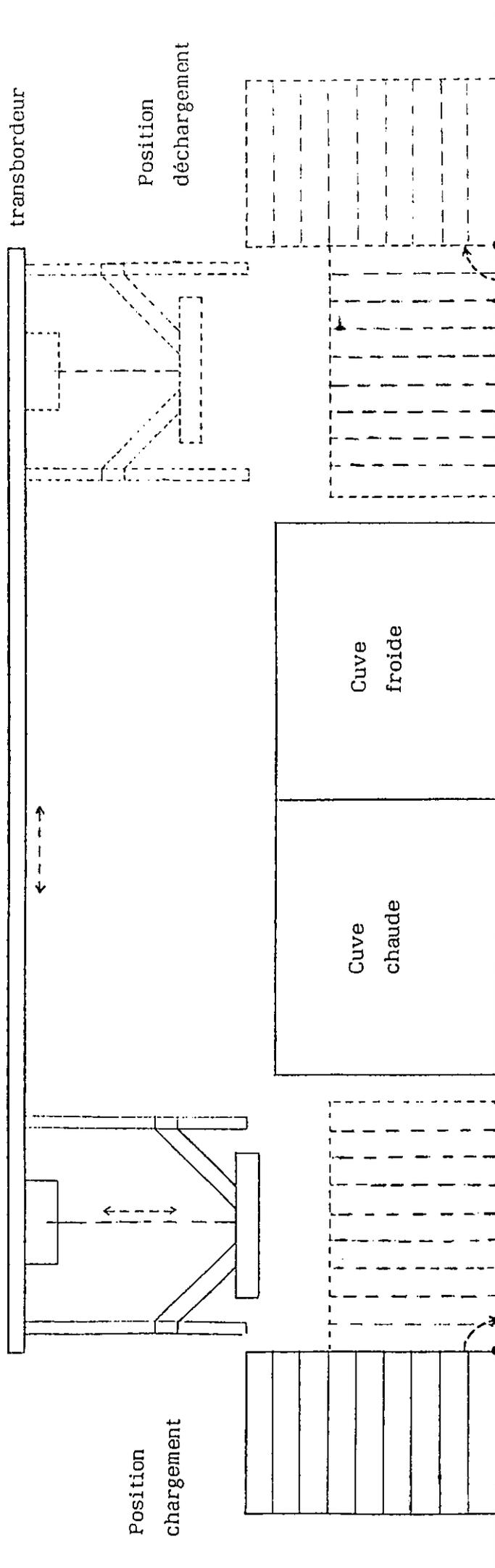
Un suivi de la température des cuves chaudes et froides sera effectué par l'enregistrement en continu des indications d'un capteur de température dans chacune des cuves (utilisation d'enregistreur papier, ou support informatique). Le passage de chacune des charges est indiqué sur le support d'enregistrement.

Ce suivi de température des cuves peut être complété par un suivi d'évolution de la température à coeur des produits, réalisé par un enregistreur indépendant, mobile, muni d'une sonde qui peut être placée à coeur d'un produit dans chacune des charges.

Schéma I

Schéma d'ensemble de la machine AFREM

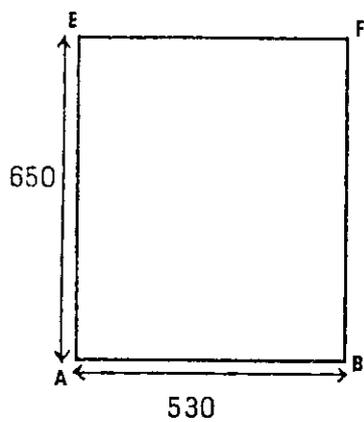
Chargement horizontal



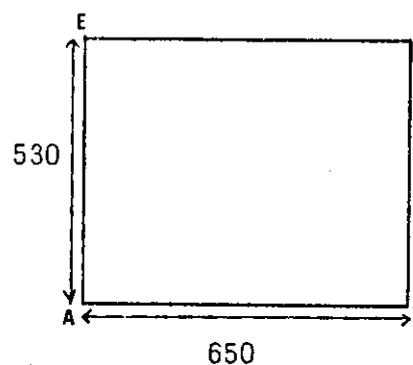
Plateaux

Formats et position des plateaux suivant les différentes possibilités :

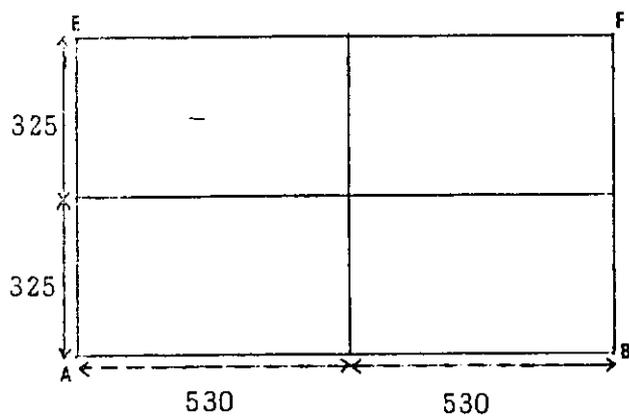
Possibilité A₁ :



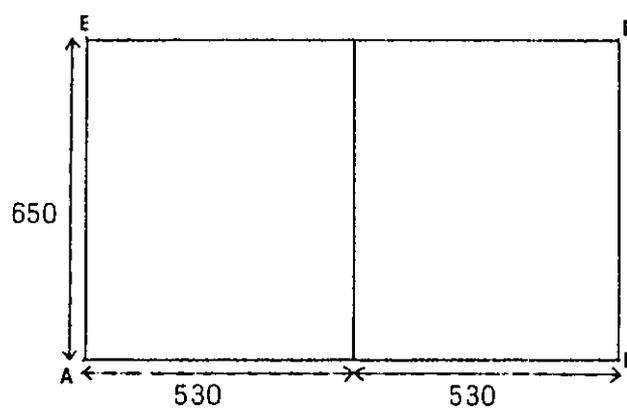
Possibilité A₂ :



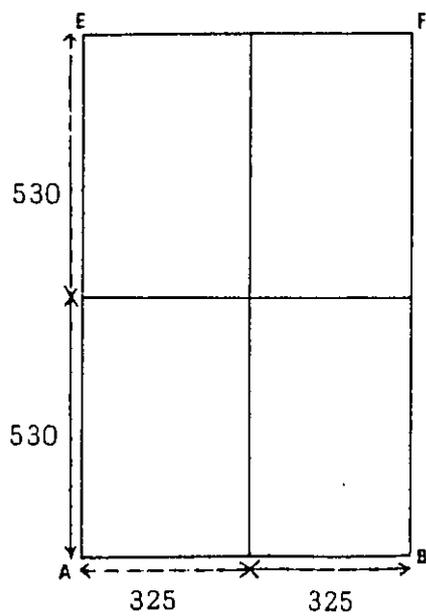
Possibilité B₁₁ :



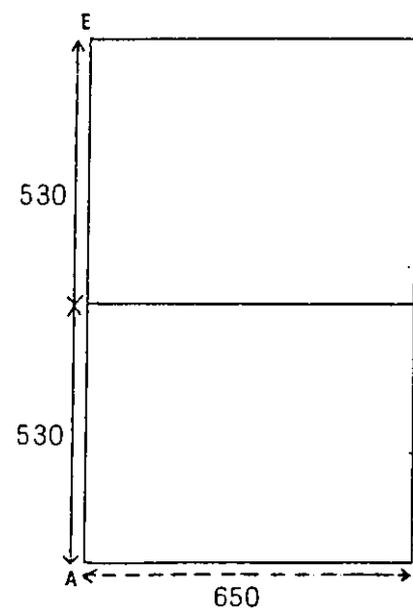
Possibilité B₁₂ :



Possibilité B₂₁ :



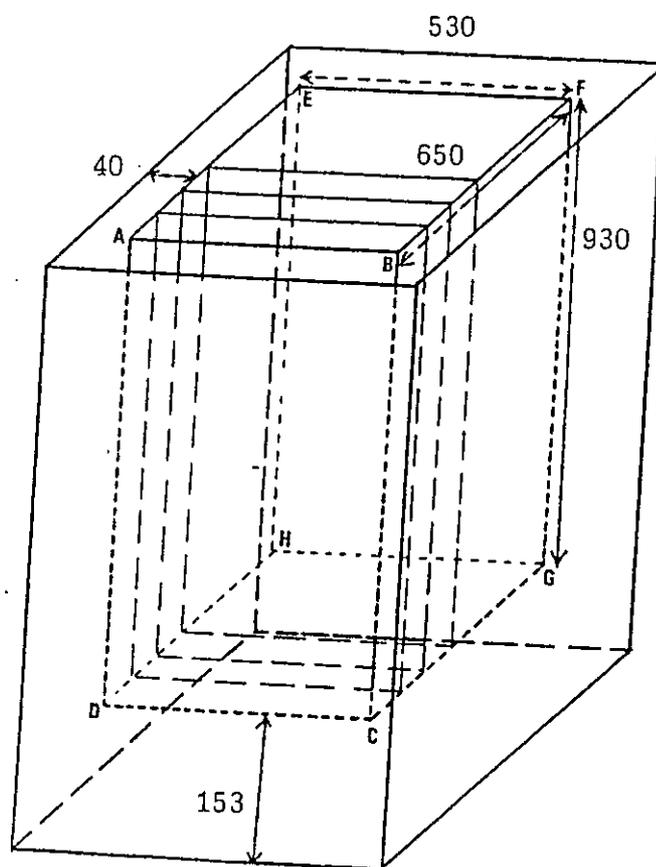
Possibilité B₂₂ :



Chargement vertical

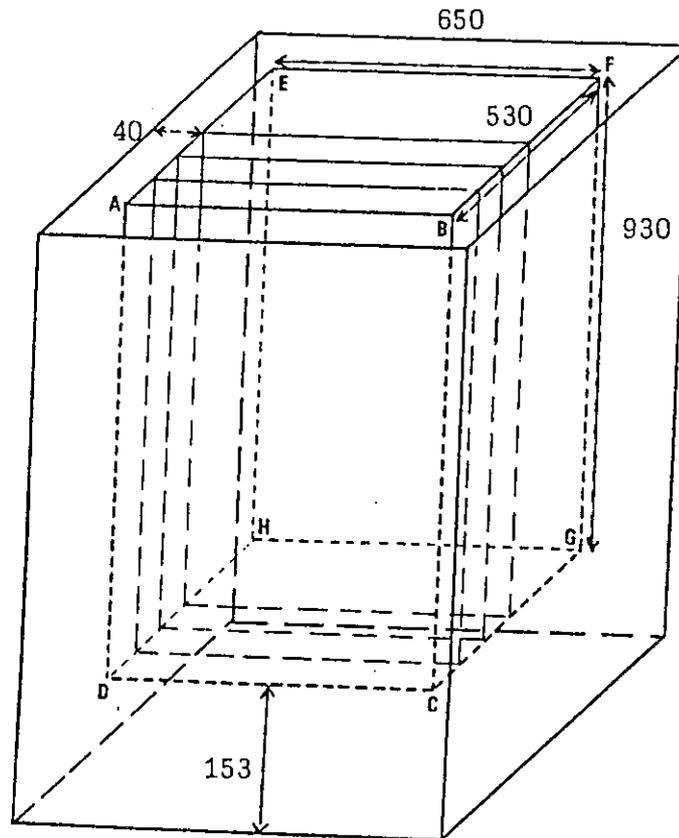
Possibilité A'1

cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité A'1



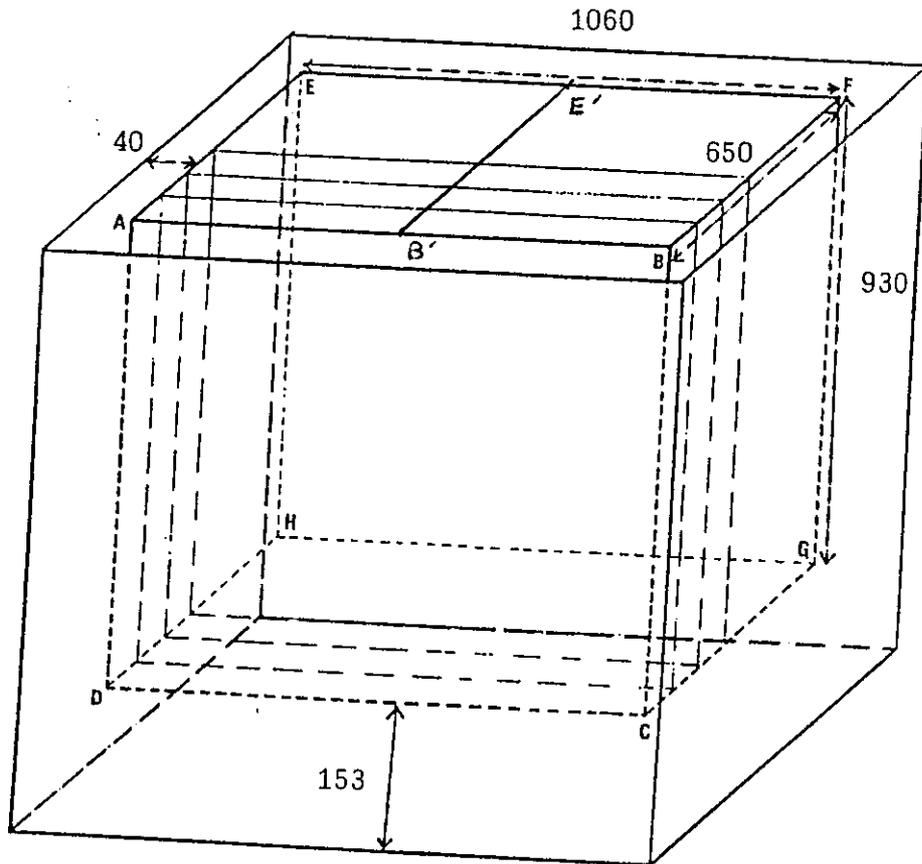
Possibilité A'2

cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité A'2



Possibilité B'1

cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité B'1



Possibilité B'2

cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité B'2

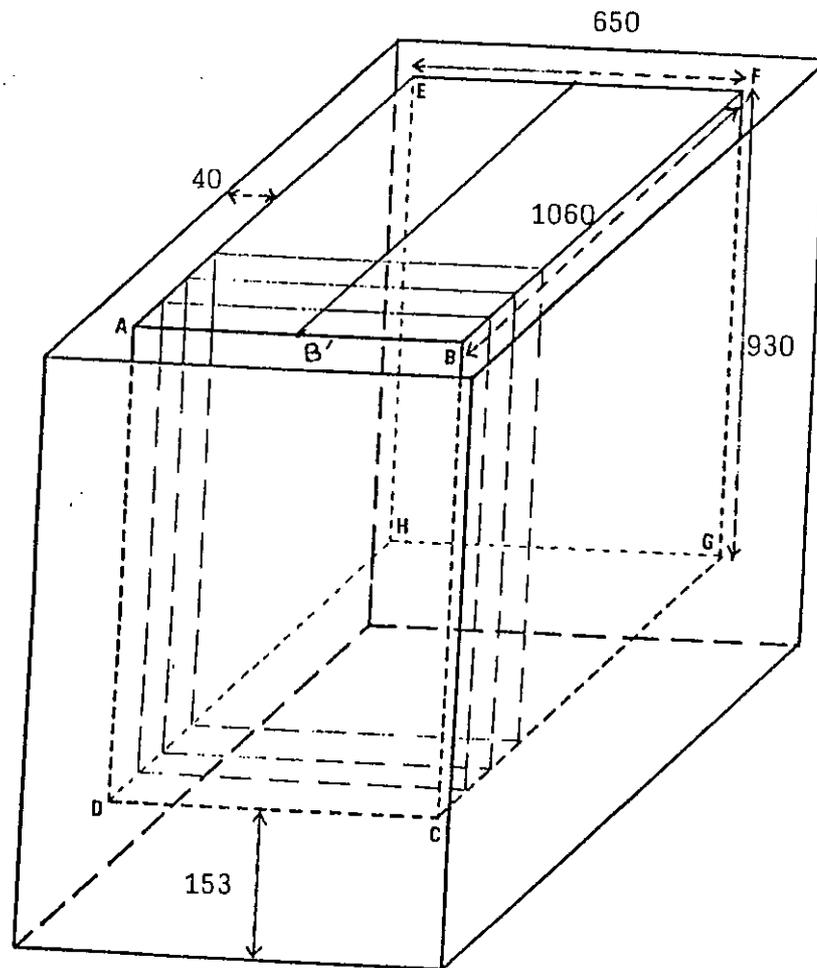


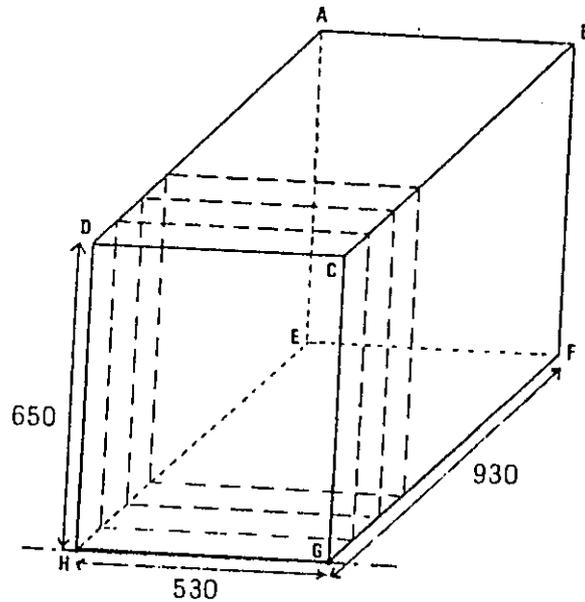
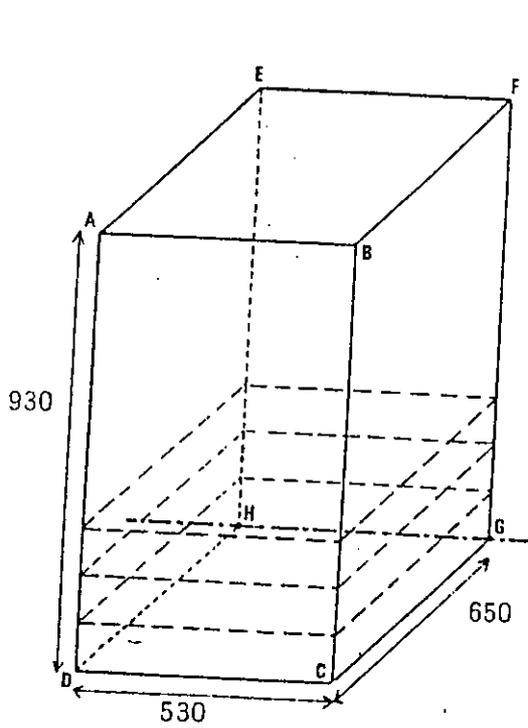
Schéma 7

chargement horizontal

Possibilité A1

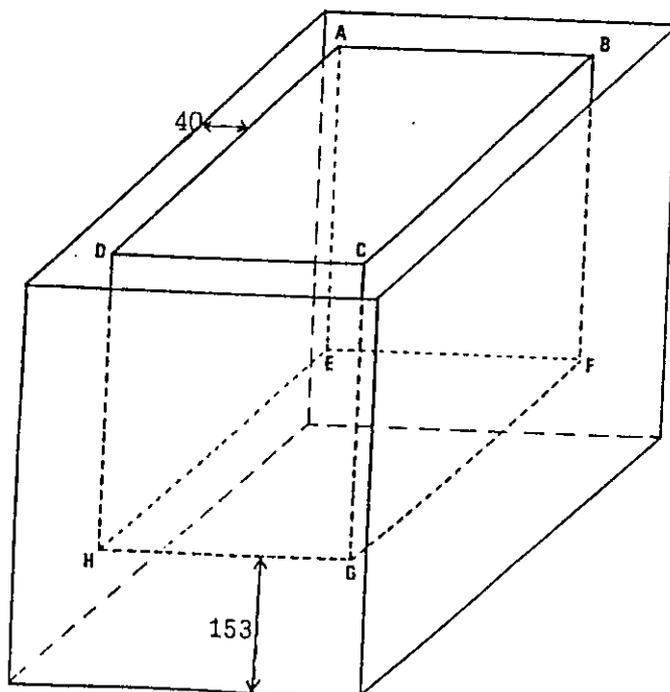
Chargement :
Position horizontale des plateaux.

Cuisson - refroidissement :
Position verticale des plateaux.



Chargement par face ABCD.

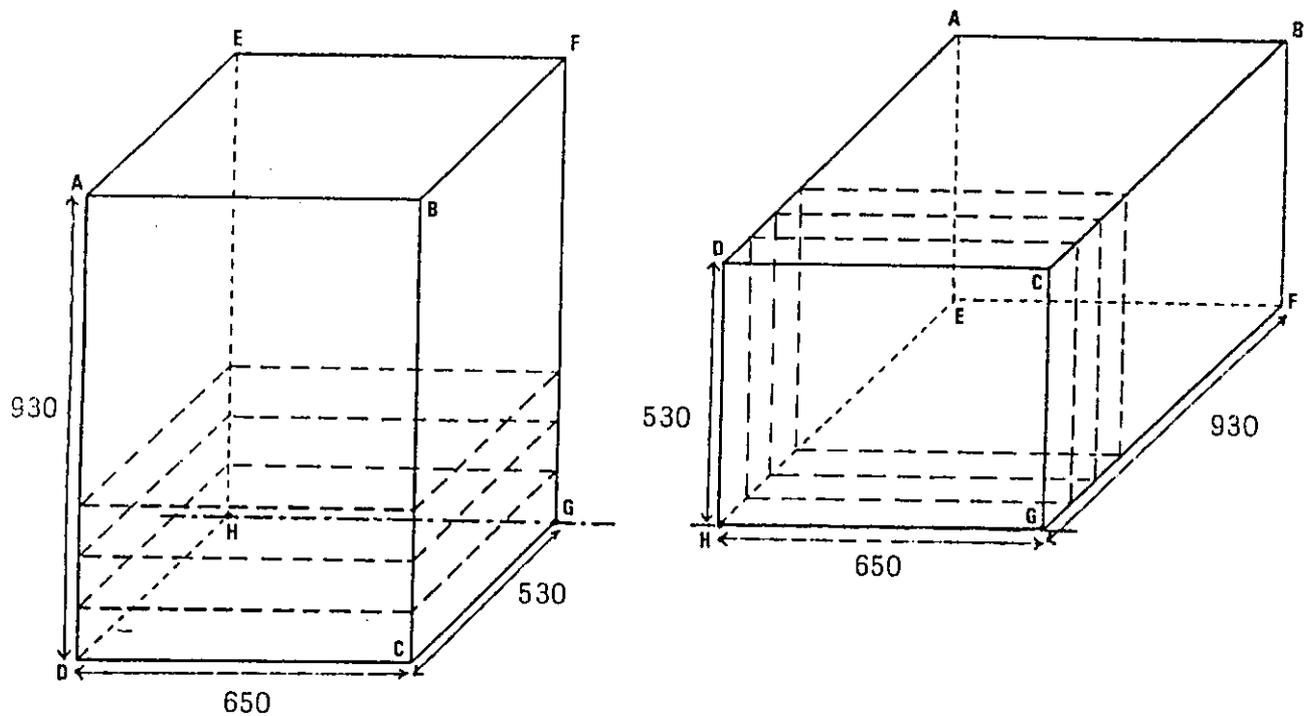
Cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité A1 :



Possibilité A2

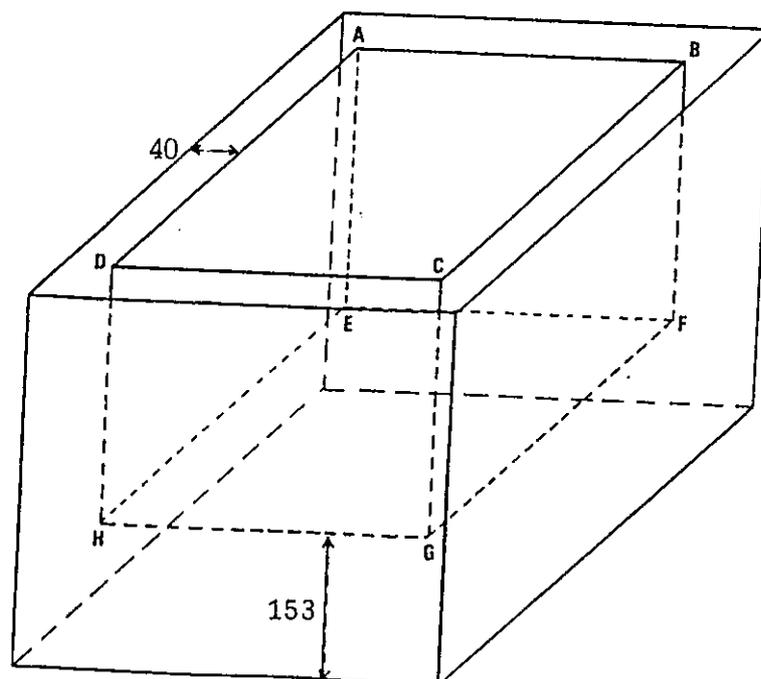
Chargement :
Position horizontale des plateaux.

Cuisson - refroidissement :
Position verticale des plateaux.



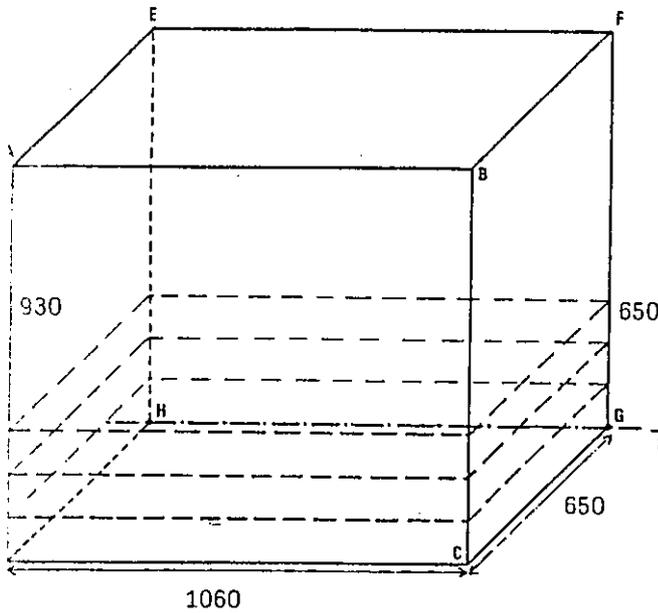
Chargement par face ABCD.

Cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité A2 :



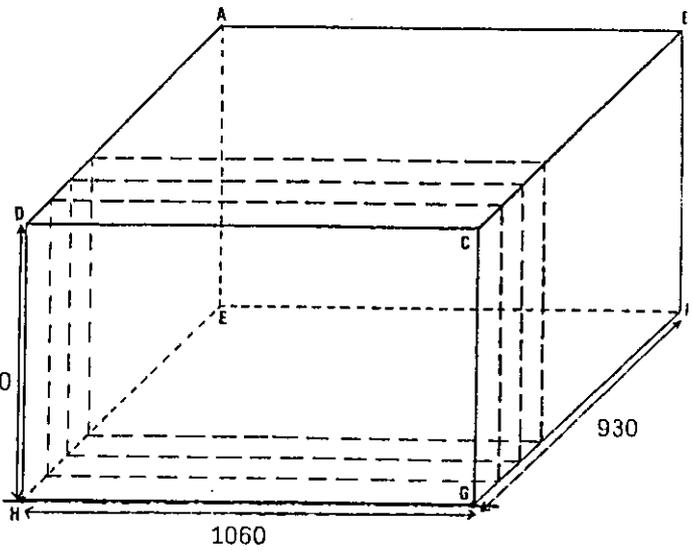
Possibilité B1

Chargement :
Position horizontale des plateaux.

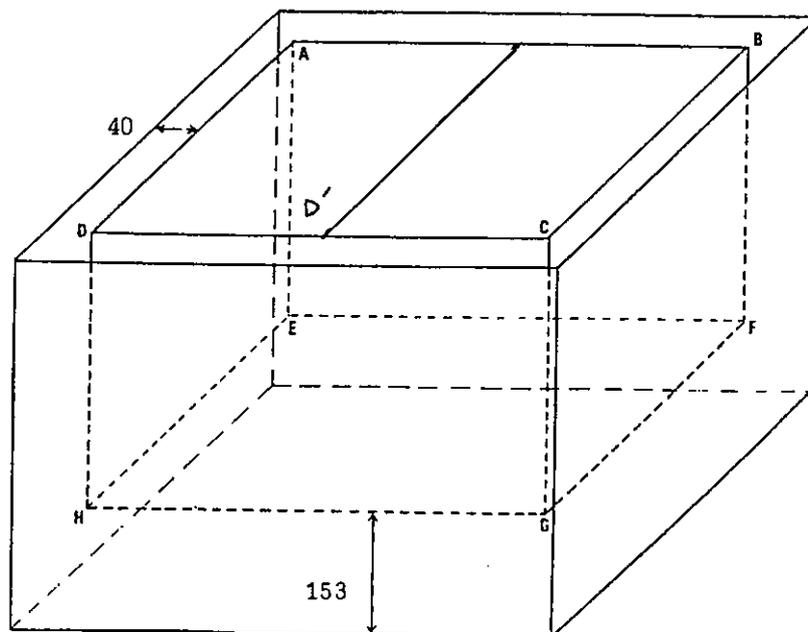


Chargement par face ABCD.

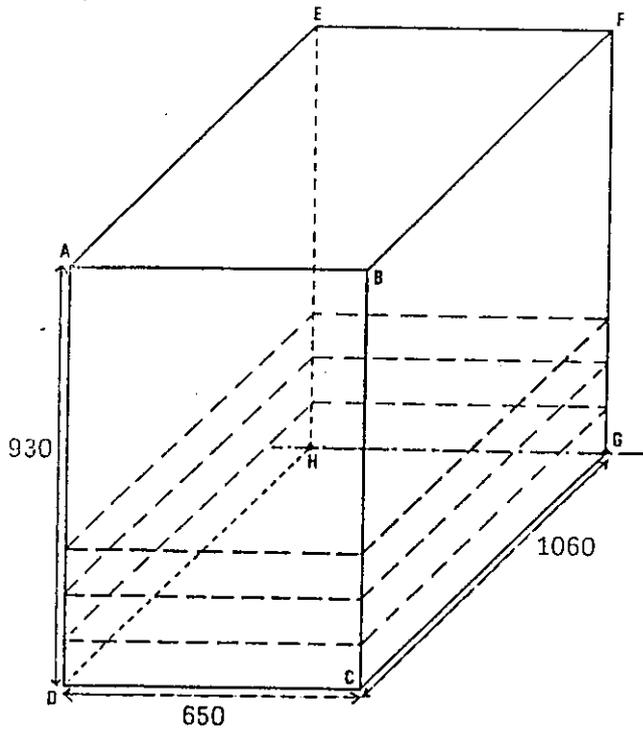
Cuisson - refroidissement :
Position verticale des plateaux.



Cuve chaude et froide correspondant à la possibilité B1 :

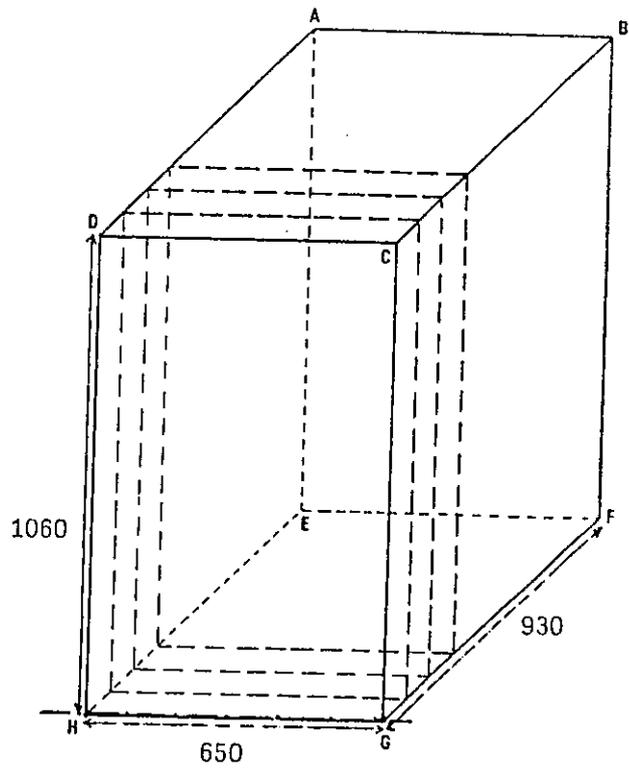


Chargement :
Position horizontale des plateaux.

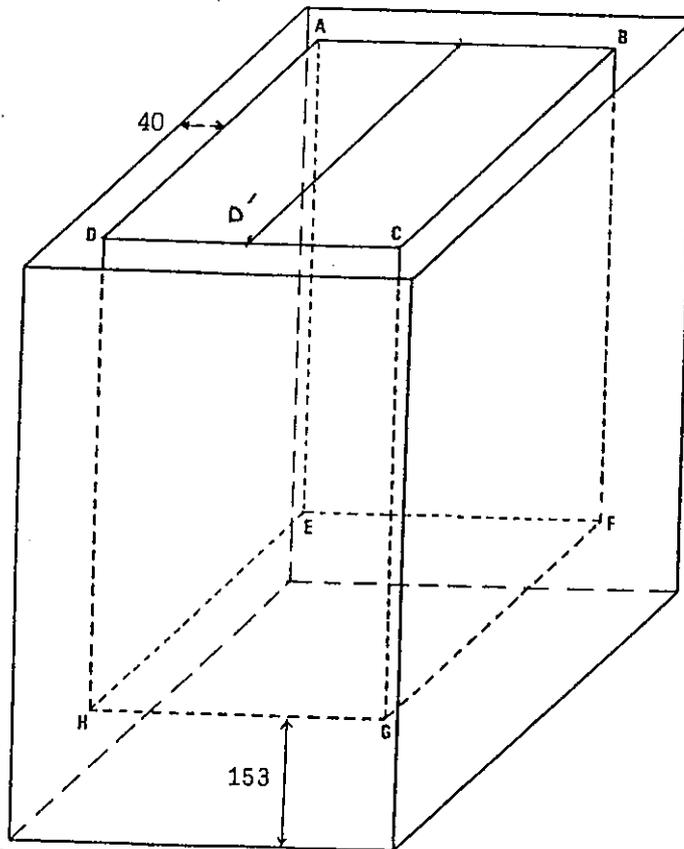


Chargement par face ABCD.

Cuisson - refroidissement :
Position verticale des plateaux.



Cuve chaude ou froide correspondant à la possibilité B2 :



2) AUTOMATISME

Le fonctionnement en automatique du cuiseur-refroidisseur AFREM permet la gestion de l'ensemble des mouvements des cadres de plats cuisinés, afin de répondre aux spécifications produits (température de cuisson, temps de cuisson, temps de refroidissement). La manutention des cadres est assurée par un chariot transbordeur situé sur un rail au-dessus des cuves. Les séquences de transit des cadres du poste de chargement vers la cuve chaude puis vers la cuve froide, et enfin vers le poste de déchargement sont gérées par un automate programmable.

Le système de chauffage (brûleur gaz) fonctionne de manière indépendante.

2.1) COMMANDES ACCESSIBLES A L'OPERATEUR

2.1.1) PREPARATION A LA MARCHE

Avant tout fonctionnement du cuiseur/refroidisseur AFREM, il faut au préalable procéder aux opérations suivantes :

- raccorder l'armoire électrique au réseau EDF (3 x 380 V - 50 Hz)
- raccorder le circuit d'air comprimé (8 bars)
- raccorder le circuit gaz (300 mbar)

2.1.2) MISE SOUS TENSION GENERALE

Le mise sous tension générale est obtenue par l'enclenchement du sectionneur de l'armoire électrique. Il faut ensuite appuyer sur le bouton MARCHE GENERALE (vérifier que le coup de poing ARRET D'URGENCE est déverrouillé).

2.1.3) MARCHE MANUELLE

La marche manuelle permet la commande de chacun des mouvements du chariot transbordeur (translation, montée, descente...). Dans ce mode de fonctionnement aucune sécurité n'est validée, il faut donc limiter son utilisation à la mise en position initiale du cuiseur (voir § 2.2.2 Préparation du cycle automatique) ou à la suite d'un arrêt d'urgence. Les commandes sont accessibles sur le pupitre de commande lorsque le commutateur AUTO/MANU est en position MANU.

2.1.4) MARCHE AUTOMATIQUE

La marche automatique est validée lorsque le commutateur AUTO/MANU est en position AUTO. Le démarrage d'un cycle automatique est réalisé par l'appui sur le bouton poussoir MARCHE. A tout instant du cycle automatique un appui sur le coup de poing ARRET D'URGENCE met fin au cycle automatique. (la description plus détaillée du cycle automatique est au § 2.2 Fonctionnement de l'automatisme).

2.1.5) SYSTEME DE BULLAGE

La commande du système de bullage fonctionne de manière indépendante. Sa mise en service ou son arrêt est commandé par le commutateur POMPE A AIR.

2.1.6) SYSTEME DE CHAUFFAGE

Le système de chauffage fonctionne de manière indépendante, il possède d'ailleurs sa propre armoire de commande avec son sectionneur de ligne. Les commandes et signalisations accessibles sont les suivantes :

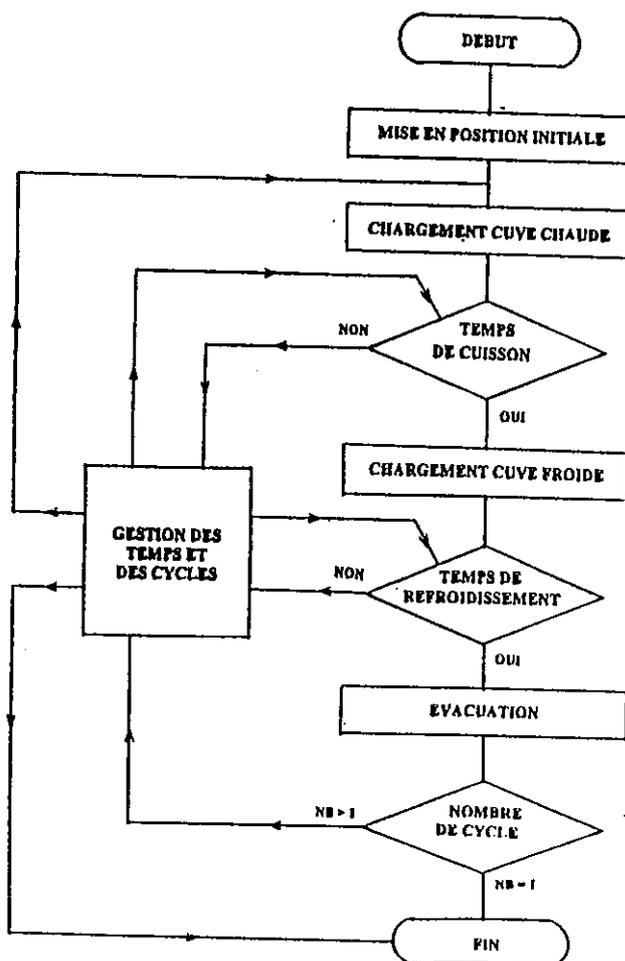
- commutateur ARRET/MARCHE : le cycle de mise en fonctionnement du brûleur gaz comprend trois phases, 1ère phase : évacuation des éventuels résidus de gaz non brûlé, 2ème phase : admission mélange air-gaz, 3ème phase : allumage du brûleur (ce cycle de mise en fonctionnement dure environ 1 min).
- voyant MARCHE BRULEUR : il indique le fonctionnement normal du brûleur.
- voyant DEF AUT BRULEUR : il indique un problème de fonctionnement du brûleur.
- bouton poussoir REARMEMENT DEF AUT : il permet de relancer le cycle de mise en fonctionnement du brûleur lorsque celui-ci est passé en défaut.

La température de consigne de la cuve chaude peut être modifiée en accédant aux commandes du régulateur .

2.2) FONCTIONNEMENT DE L'AUTOMATISME

2.2.1) FONCTIONNEMENT SYNOPTIQUE DE L'AUTOMATISME

Le fonctionnement global de l'automatisme peut être décrit par le synoptique suivant :



L'explication détaillée du fonctionnement de l'automatisme est précisée dans les paragraphes suivants.

2.2.2) PREPARATION DU CYCLE AUTOMATIQUE

Le cycle chargement, cuisson, refroidissement, évacuation d'un bac ne peut s'effectuer que si la machine est en position initiale, c'est à dire le chariot transbordeur en position haute au-dessus du poste de chargement.

Cette mise en position initiale est gérée automatiquement. Néanmoins il faut impérativement que le chariot soit à l'origine sur l'un des quatre postes de la machine (chargement, cuisson, refroidissement, évacuation).

La position en hauteur du treuil est sans importance. Par contre si un cadre est en position défectueuse, il y aura au préalable une dépose de celui-ci, dépose au poste de chargement si le chariot est déjà sur ce poste, dépose au poste de déchargement dans les autres cas de figure (ce bac pourra ainsi être évacué par l'opérateur).

Dans le cas où le cuiseur serait dans une position différente, l'opérateur peut utiliser le pupitre de commande manuelle de la machine (voir § 2.1 Commandes accessibles à l'opérateur).

2.2.3) FONCTIONNEMENT EN CYCLE PAR CYCLE

Dans ce mode de fonctionnement, on réalise uniquement un cycle de chargement de cuisson, de refroidissement et de déchargement en tenant compte des temps de cuisson et de refroidissement désirés (voir § 2.2.5 Temps de cycle). Pour lancer l'opération (appui sur le bouton poussoir MARCHE) il faut placer un chariot avec son bac au poste de chargement et il faut s'assurer que le bain d'eau chaude soit en température. Le cycle se déroule ensuite de manière automatique. La prise en compte du souhait de l'opérateur de ne réaliser qu'un seul cycle se fait simplement en ne plaçant pas un nouveau chariot au poste de chargement. Le fonctionnement en cycle par cycle est donc possible en plaçant un nouveau chariot au poste de chargement et en effectuant les mêmes actions que ci-dessus, mais seulement lorsque le cycle précédent est achevé (nouveau chariot vide en sortie).

2.2.4) FONCTIONNEMENT EN CYCLE CONTINU

Dans ce mode de fonctionnement la machine fonctionne en continu, les opérations de chargement, de cuisson, de refroidissement et de déchargement sont gérées de manière à optimiser l'utilisation de la machine (par exemple chargement de la cuve chaude pendant le temps de refroidissement). Ce mode de marche implique certaines recommandations d'utilisation :

- Compte tenu des temps nécessaires aux divers déplacements du chariot transbordeur certaines précautions sont nécessaires quant au choix des temps de cuisson et de refroidissement (voir § 2.2.5 Temps de cycle).

La gestion des postes de chargement et de déchargement est sous la responsabilité de l'opérateur. Le poste de chargement doit être "rechargé" dès qu'un bac part en cuisson (au maximum lorsque le bac précédent est transféré vers la cuve de refroidissement).

De même, le poste de déchargement doit être "libéré" de son cadre plein dès que l'opération d'évacuation est achevée. Il faut ensuite placer un nouveau cadre vide pour permettre un nouveau déchargement (avant que le cycle de refroidissement soit fini).

2.2.5) TEMPS DE CYCLE

De part sa conception, le cuiseur impose certaines règles au niveau de la sélection des temps de cuisson et de refroidissement. Les points suivants sont à observer :

. Temps réel de cuisson

Le temps affiché au niveau du pupitre de commande ne correspond pas au temps réel de cuisson. Il faut en effet tenir compte du temps de transfert du bac de la cuve chaude vers la cuve froide durant lequel la cuisson se poursuit. Ce temps est estimé à 68 secondes.

. Temps réel de refroidissement

Comme précédemment, il existe un laps de temps entre la fin du temps sélectionné au pupitre et le moment où le bac est effectivement extrait de la cuve froide. Le temps, durant lequel le refroidissement se poursuit, est estimé à 42 secondes.

. Temps de transfert après refroidissement

Une fois extrait de la cuve froide, le bac est dirigé vers le poste de déchargement. Le temps, durant lequel les paniers sont sous l'influence de la température ambiante, est estimé à 36 secondes.

. Temps de cuisson minimum

Compte tenu des temps de transfert du chariot transbordeur, il faut respecter un temps de cuisson minimum affiché sur le pupitre (pour le temps réel ajouter 68 secondes). Le temps est estimé à 175 secondes.

. Temps de refroidissement minimum

Pour les mêmes raisons que précédemment, il faut respecter un temps de refroidissement minimum affiché sur le pupitre (pour le temps réel, ajouter 42 secondes). Ce temps est estimé à 180 secondes.

2.3) AMELIORATIONS DE L'AUTOMATISME ET DE SON ENVIRONNEMENT

Les améliorations suivantes pourraient être apportées au cuiseur-refroidisseur afin de faciliter le dialogue opérateur machine et de réaliser un automatisme plus performant :

- ajout de capteurs de présence de bac pour la cuve chaude et la cuve froide
- ajout d'un capteur de présence de bac en entrée du poste de chargement
- modification du système de détection du treuil en position basse
- intégration dans l'automatisme du contrôle/commande du système de chauffage et du système d'homogénéisation par bullage
- ajout d'un terminal de communication avec l'automate permettant une meilleure gestion des temps et une conduite facilitée pour l'opérateur
- utilisation d'un moteur à deux vitesses pour le convoyage des bacs (temps de cycle diminués).
- modification des systèmes de transfert (moteur treuil, moteur chariot transbordeur) et mise en place de moteurs à vitesses variables permettant une manutention plus "douce". L'utilisation de moteur pas à pas couplé à un codeur incrémental assurant le positionnement serait envisageable.
- ajout d'un système de suivi de production imprimante délivrant un ticket propre à chaque type de cuisson-refroidissement (date, type de produit, temps de cuisson, temps de refroidissement...)

2.4) GRAFCET DE FONCTIONNEMENT

L'ensemble des GRAFCET décrivant le fonctionnement du cuiseur-refroidisseur figure dans les pages suivantes.

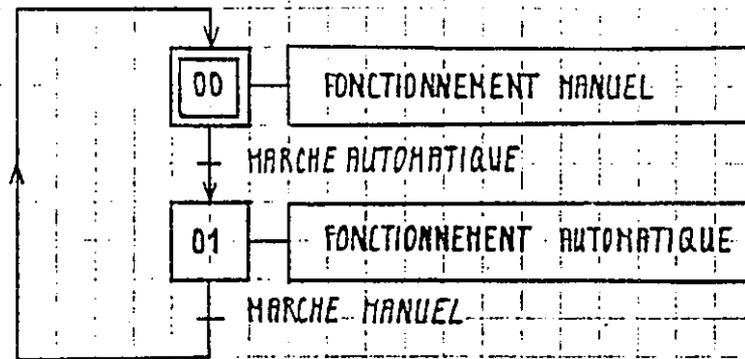
GRAFCET 00 = GRAFCET MODES DE MARCHÉ
GRAFCET 10 = GRAFCET PRINCIPAL
GRAFCET 20 = CHARGEMENT CUVE CHAUDE
GRAFCET 30 = CHARGEMENT CUVE FROIDE
GRAFCET 40 = EVACUATION
GRAFCET 50 = TRANSLATION DROITE
GRAFCET 55 = TRANSLATION GAUCHE
GRAFCET 60 = PRISE DU PANIER
GRAFCET 70 = DEPOT DU PANIER
GRAFCET 80 = MISE EN POSITION INITIALE

PHYSIQUE - FROID

15.04.92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM - SOMMAIRE

GUIHARD L.



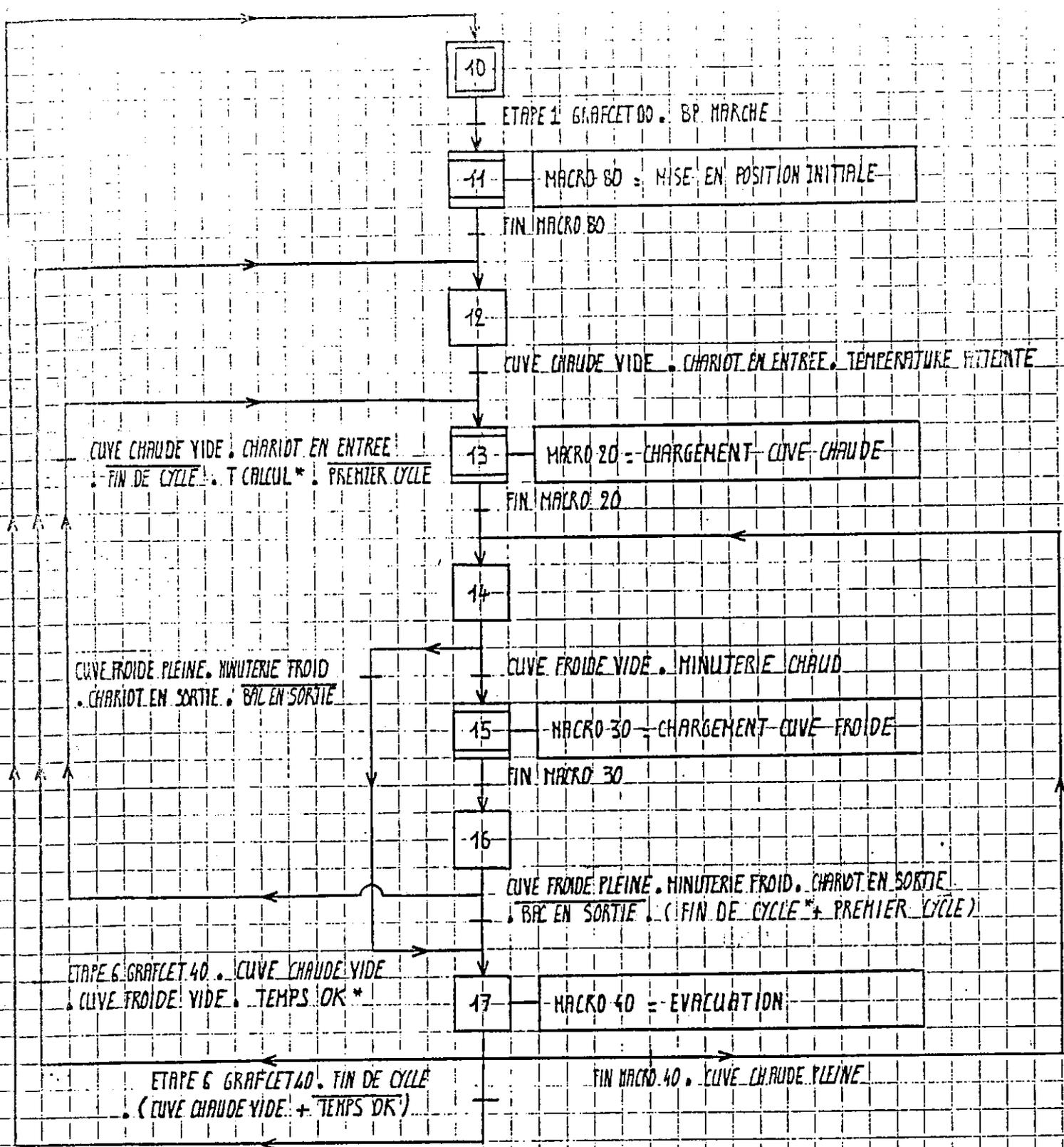
PHYSIQUE_FROID

15-04-92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM - GRAFCET MODES DE MARCHE

GUIHARD L.

GRAFCET 00



FIN DE CYCLE = La FIN DE CYCLE est valide si aucun CHARIOT n'est detecté en ENTREE avant que le cycle de CHARGEMENT CUVE FROIDE ne soit achevé. Voir p.

TEMPS OK = Le fonctionnement de la machine en continu n'est envisagé que si les différents cycles ont le temps de se faire en intégralité. (Voir p.)

T CALCUL =

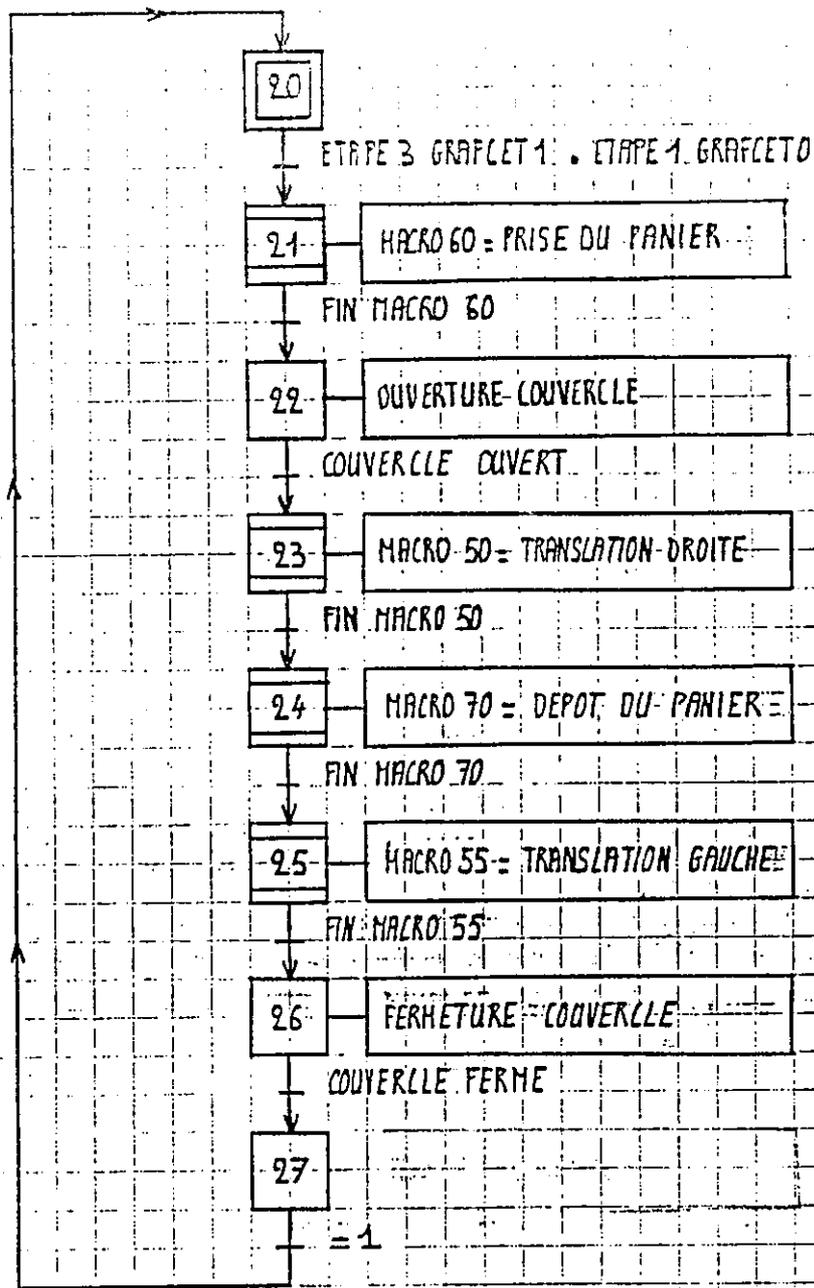
PHYSIQUE - FROID

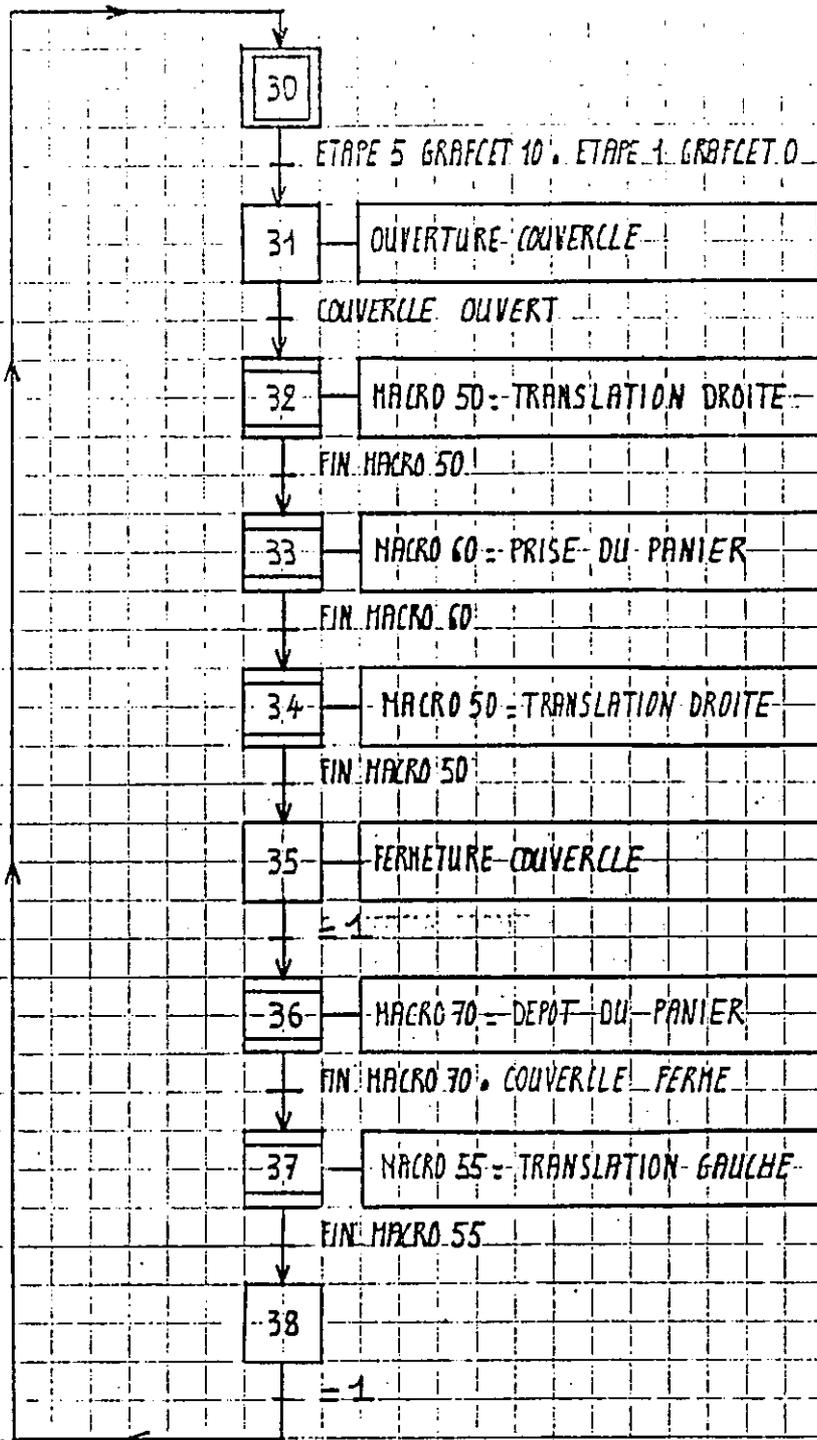
15-04-92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM = GRAFCET PRINCIPAL

GUIHARD L.

GRAFCET 10





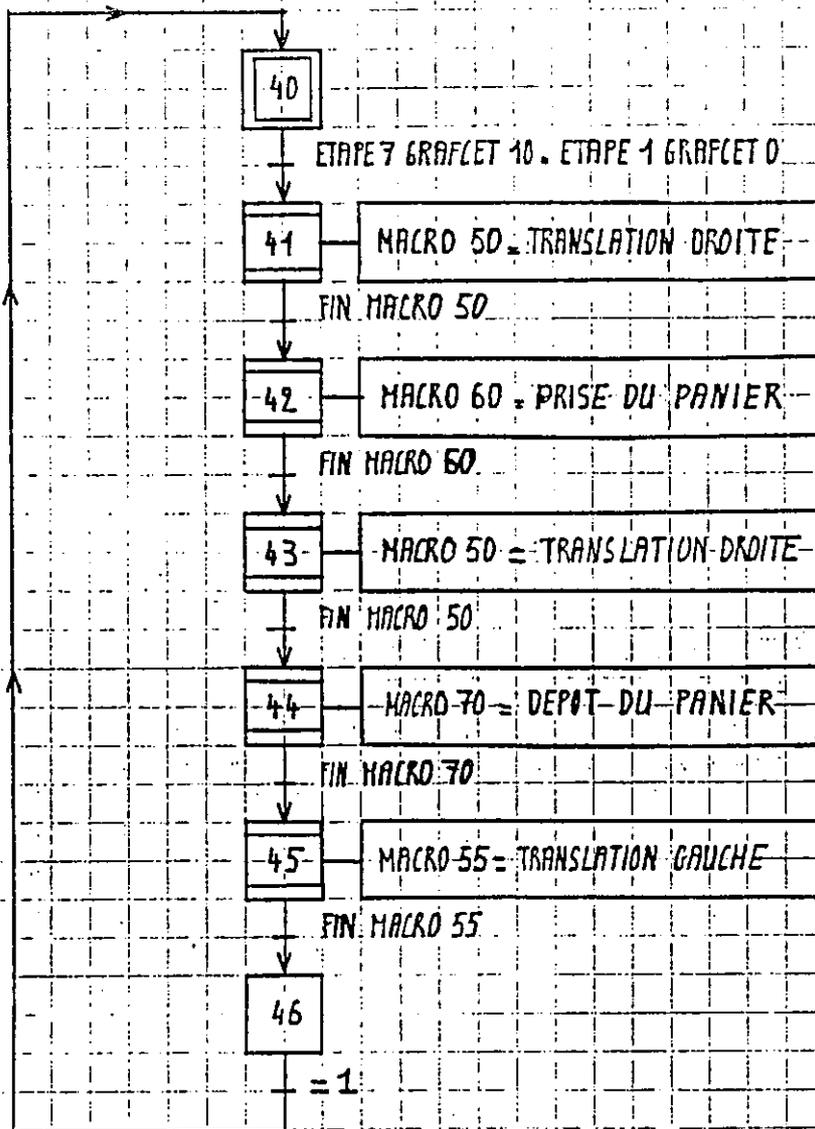
PHYSIQUE-FROID

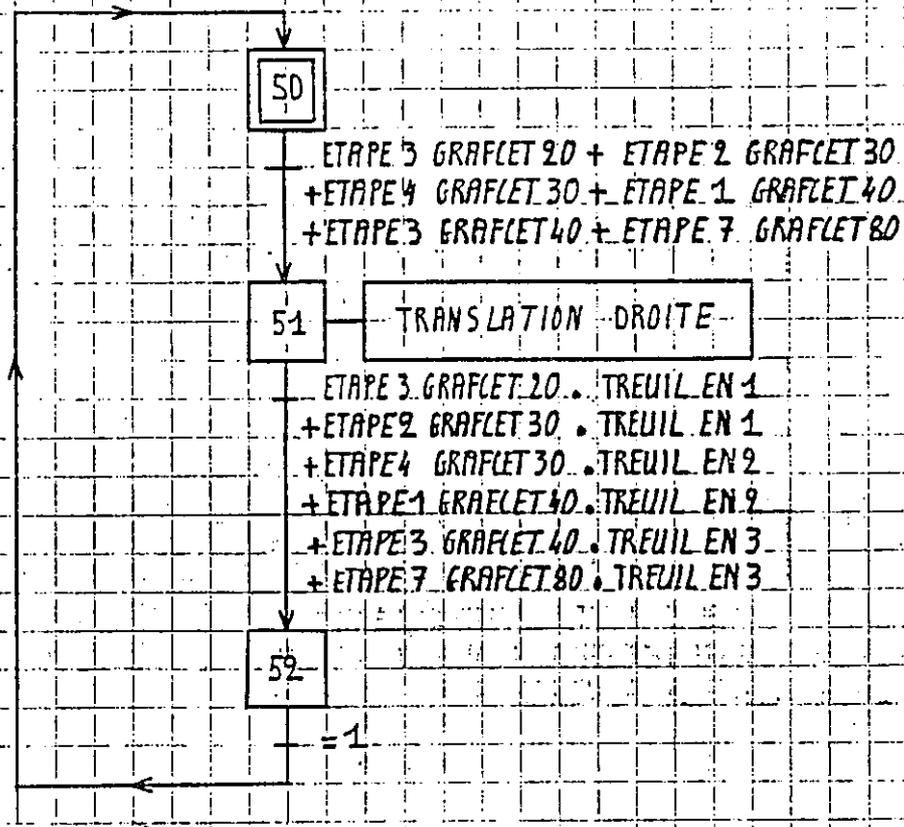
27-04-92

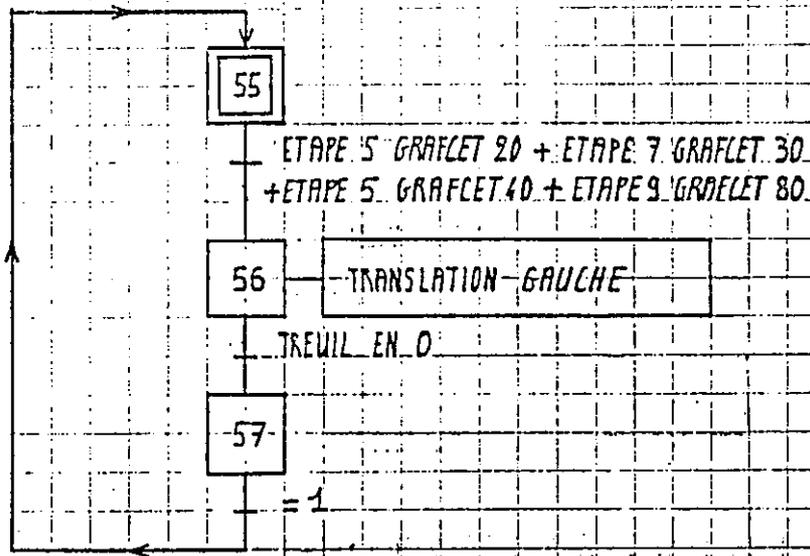
MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM - MACRO 30 - CHARGEMENT CUVE FROIDE

GUIHARD L.

GRAFCET 30







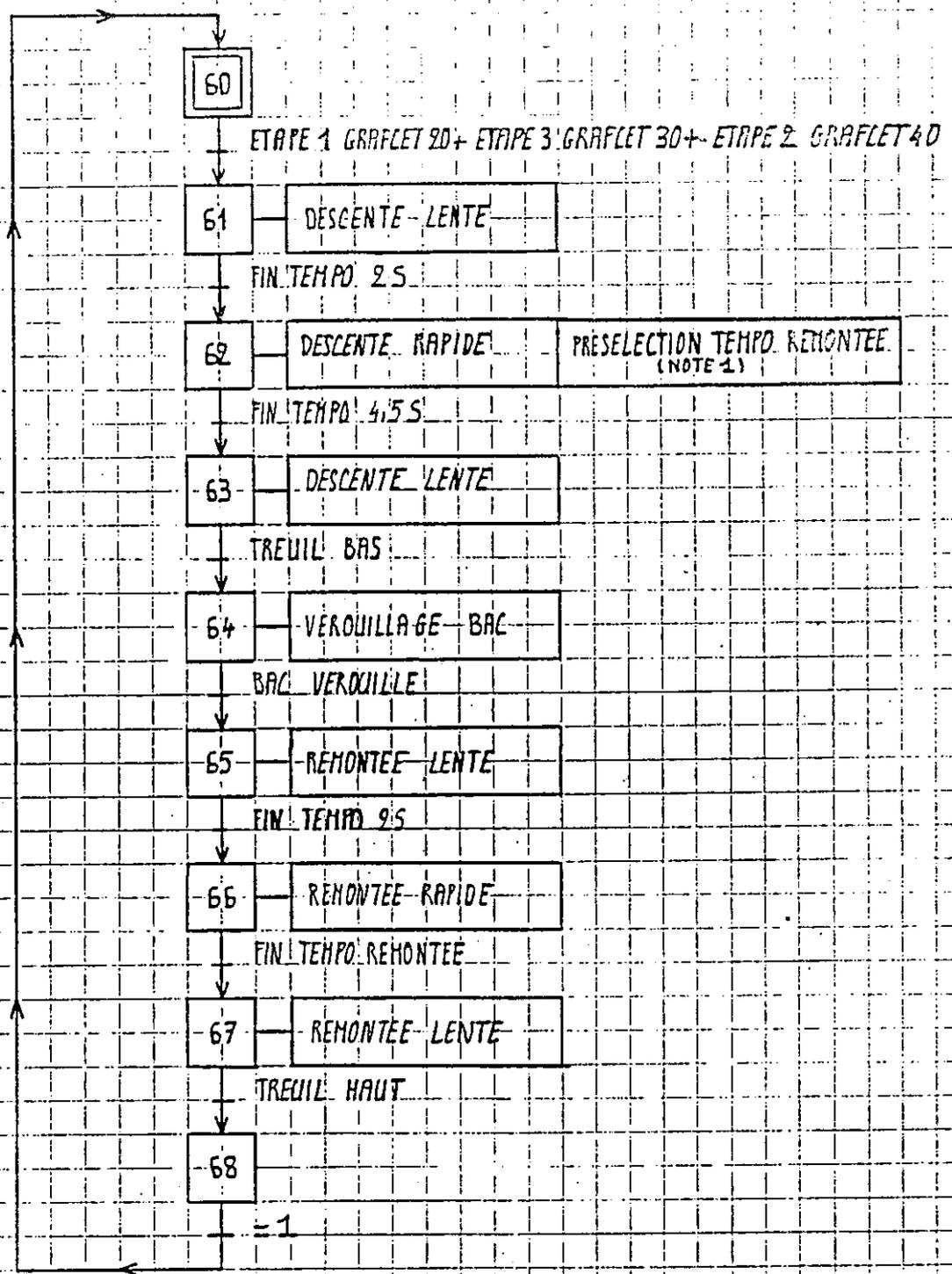
PHYSIQUE FROID

27-04-92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM - MACRO 55 = TRANSLATION GAUCHE

BLIHARD L.

GRAFLET 55



NOTE 1 = ETAPE 3 GRAFCET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 4.8 S
 ETAPE 5 GRAFCET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 4.3 S
 ETAPE 7 GRAFCET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 4.6 S

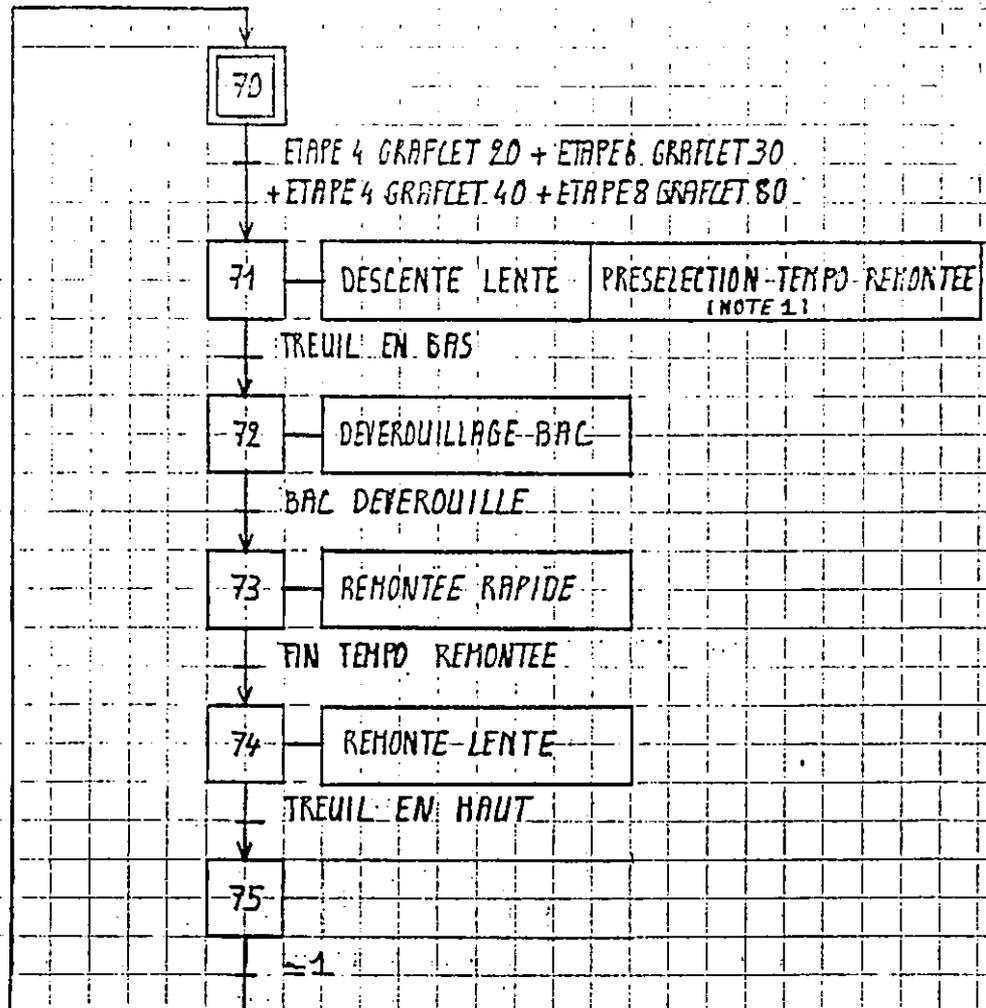
PHYSIQUE - FROID

27.04.92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREH - MACRO 60 = PRISE DU PANIER

GUIHARD L.

GRAFCET 60



NOTE 1 = ETAPES 1 GRAFLET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 513 S
 ETAPES 3 GRAFLET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 510 S
 ETAPES 5 GRAFLET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 510 S
 ETAPES 7 GRAFLET 10 → PRESELECTION TEMPO REMONTEE = 513 S

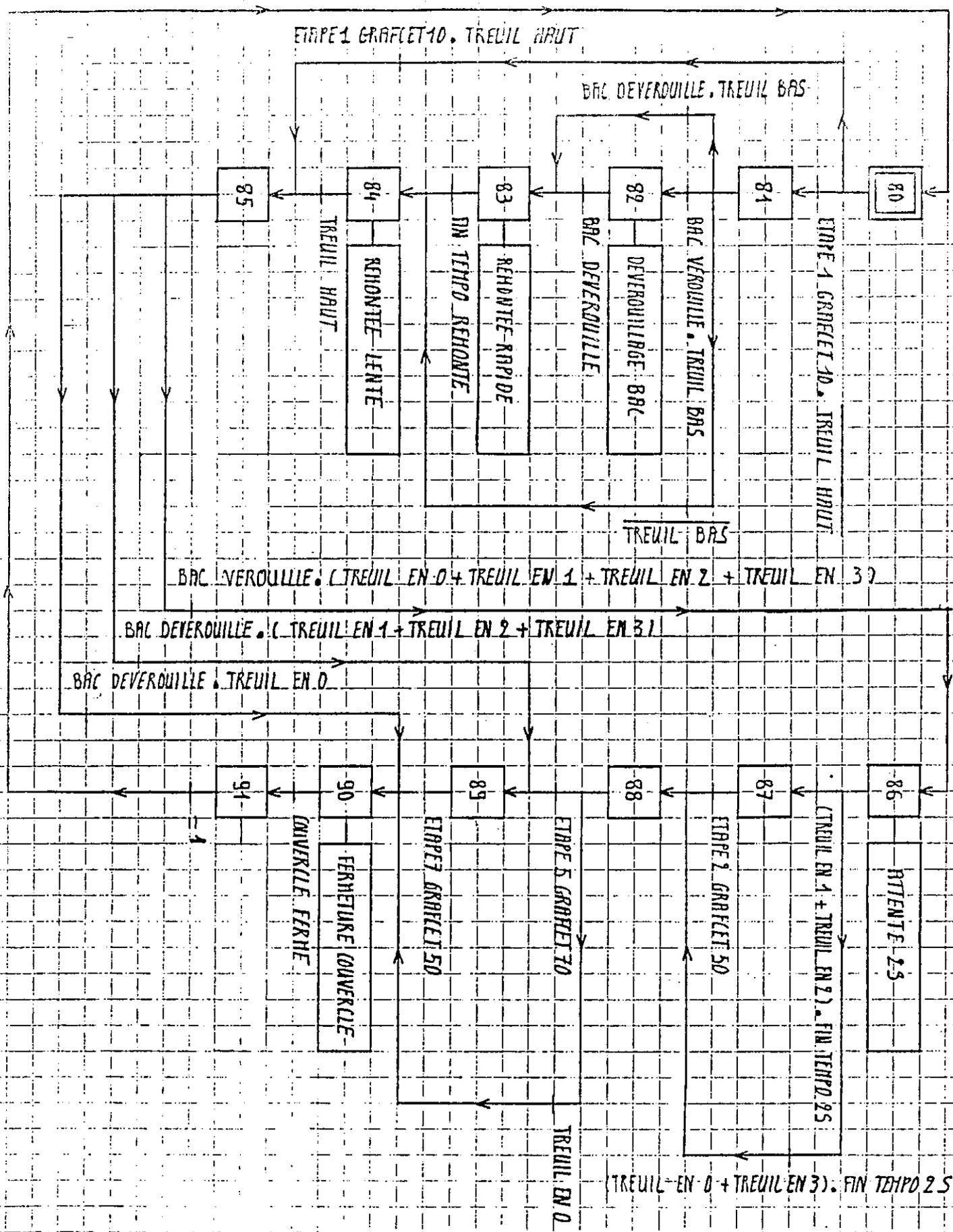
PHYSIQUE FROID

27-04-92

MACHINE CUISSON SOUS VIDE AFREM MACRO 70 = DEPOT DU PANIER

GUIHARD-L

GRAFLET 70



PHYSIQUE - FROID

15-04-92

MACHINE - CUISSON - SOUS VIDE AFREM - MACRO 80 - MISE EN POSITION INITIALE

GUIHARD L.

GRAFFET 80

ANNEXE n° 8

**ETUDE DE CUISSONS SOUS VIDE EN CYCLE COURT
CUISSON DU POISSON**

I - LE CONTEXTE DE LA CUISSON SOUS-VIDE

La cuisson sous-vide a été développée en France par un cuisinier, Georges PRALUS, dès 1974.

Les restaurateurs, sensibles aux multiples avantages qu'offre cette technique l'ont rapidement adoptée. L'image "Gastronomie et Qualité" s'est alors rapidement imposée parmi les professionnels. Les industriels, conscients de l'avantage, en terme de marketing, que revêtait cette image, se sont lancés dans la fabrication de plats cuisinés sous-vide.

Les restaurateurs disposent généralement d'une matière première de très bonne qualité et les délais de consommation sont courts (inférieurs à 6 jours). Ils cherchent en premier lieu à conserver les qualités gustatives de leurs produits. Dans ce contexte la notion de sécurité microbiologique passe au second plan, et ils préconisent des cuissons à basse température.

Pour les industriels la réalité est toute autre : ils maîtrisent mal la qualité de leurs achats et les circuits de distribution. Malgré tout ils doivent, pour vendre, fabriquer des produits d'une qualité aussi constante que possible, et ils ne peuvent prendre aucun risque sur le plan sanitaire. Les traitements thermiques doivent alors avoir une certaine efficacité pasteurisatrice. En outre, la nécessité de rentabiliser le matériel et les installations commande de choisir des températures qui permettent des traitements courts. Mais ces traitements se font aux dépens des qualités organoleptiques des produits.

Il y a là une contradiction : les industriels peuvent-ils adopter une méthode de fabrication qui à la fois conserve les qualités organoleptiques des produits, tout en assurant la sécurité des consommateurs ?

Certains auteurs (PINEL, 1985 ; GOUSSAULT, 1988) ont préconisé dans ce but l'optimisation des cuissons. C'est ainsi qu'à côté de la cuisson classique, sous-vide à haute température (supérieure à 80°C), est apparue depuis trois ans une cuisson sous-vide à basse température (inférieure à 68°C).

Mais cette dernière technique n'a pas obtenu le succès escompté en Grandes et Moyennes Surfaces. (TJOMB, 1990).

Les raisons majeures de cet échec sont que la qualité de la matière première livrée aux industriels connaît des fluctuations importantes, et que la chaîne du froid n'est pas totalement fiable. Tant que ces deux aspects ne seront pas mieux maîtrisés, il ne sera pas réaliste de vouloir faire de la cuisson sous-vide à basse température dans un cadre industriel.

Ne vaut-il pas mieux, dans ce cas, accepter une distribution des compétences ? :

- Cuisson sous-vide à basse température : pour les produits de très bonne qualité et à délai de consommation courts, ne pouvant excéder 6 jours.
Cette technique est à réserver à l'approvisionnement des restaurateurs et à la cuisine d'assemblage.
- Pasteurisation sous-vide à haute température : pour les produits à DLC plus longue, jusqu'à 21 jours, distribués en grand public.
- Stérilisation : pour les produits à conservation très longue.

C'est dans ce cadre que l'optimisation des cuissons peut amener des améliorations de process, et par voie de conséquence un meilleur compromis entre qualités organoleptiques et microbiologiques.

II - LA TECHNIQUE DU SOUS-VIDE

II.1 - LE CONDITIONNEMENT SOUS-VIDE

C'est un procédé d'emballage sous film plastique imperméable aux gaz et aux lipides, sous pression réduite. Dans son emballage le produit est à l'abri des recontaminations. Ce type de conditionnement agit de deux façons sur la microflore :

II.1.1 - Action inhibitrice

La pression partielle en oxygène (O_2) est très faible et diminue au cours du temps, pendant que la quantité de gaz carbonique (CO_2) augmente (respiration tissulaire surtout).

Ceci provoque une inhibition de la flore totale, très marquée surtout pour les germes aérobies d'altération superficielle, *Pseudomonas* en particulier (VALIN et LACOURT, 1980). Il faut signaler qu'en pratique alimentaire du sous-vide la teneur en oxygène atteint rarement des valeurs pouvant contribuer à l'inhibition des germes putréfiants (valeurs inférieures à 1 %). C'est donc bien plutôt le CO_2 qui exerce une action déterminante sur ces germes en agissant comme bactériostatique aux basses températures (BUREAU et al, 1987).

II.1.2 - Action sélective :

On note une multiplication des bactéries anaérobies facultatives, bactéries lactiques et Entérobactéries (VALIN et LACOURT, 1980).

Les staphylocoques sont, eux, très ralentis et seraient inhibés par les germes lactiques (KENNEDY et al, 1980).

La conservation sous-vide ne semble pas favoriser les Salmonelles, lors du stockage au froid (KENNEDY et al, 1980) : leur vitesse de multiplication est lente au froid et en anaérobiose, mais elle peut être suffisante pour être responsable, après un stockage prolongé, d'altérations du type putréfaction (ROSSET et LAMELOISE, 1989).

Enfin Clostridium botulinum, germe anaérobie, peut se développer jusqu'à +3,3°C, mais la production de toxine est très ralentie au dessous de +10°C : elle ne commence qu'au bout de 14 jours à +10°C et l'altération organoleptique intervient avant que des quantités notables de toxine soient produites (DAVIS, 1985 ; GOLA et ROSSI, 1985). En outre, en cas de rupture de la chaîne du froid la dégradation des qualités organoleptiques est telle (aspect et odeur désagréables) que la consommation des produits touchés, viande ou poisson, est impossible (HAUSCHILD et al, 1985).

De la bibliographie citée précédemment il ressort que le conditionnement sous-vide doit s'accompagner d'une baisse de la température en dessous de +3,3°C pour limiter le risque pathogène

ROSSET, chef du Centre National d'Etudes et de Recherches pour l'Alimentation Collective (CNERPAC), va même plus loin : "le vide d'air par lui-même ne constitue pas un procédé de conservation. Il n'est qu'un adjuvant, efficace certes mais un adjuvant seulement, aux méthodes de conservation réelles qui existent : le (très) froid, le (très) chaud et le (très) sec".

II.2 - LA CUISSON SOUS-VIDE

II.2.1 - Contraintes et difficultés de la technique

Le conditionnement sous-vide avant cuisson rapproche les plats cuisinés des conserves. Mais les températures de cuisson sont inférieurs à +100°C. A ces températures les formes végétatives sont en général détruites, mais les formes sporulées résistent : nous sommes en présence de conserves mal stérilisées.

La mise en oeuvre de tels produits nécessite donc l'application de règles d'hygiène rigoureuses :

- l'utilisation d'une matière première de très bonne qualité (achats stockés à température adéquate, toujours inférieure à +3°C, et utilisation rapide),
- propreté irréprochable du personnel, des matériels et des locaux. Cela passe par l'utilisation de vêtements spécifiques, le lavage des mains, le port de gants, de coiffure, le nettoyage et la désinfection. Cela peut aller jusqu'à la construction de "Salles blanches" déjà utilisées dans certaines grosses unités,

- après cuisson, réfrigération précoce et rapide. La législation impose que la température à coeur descende en dessous de -10°C en moins de 2 heures (voir l'Arrêté du 26 juin 1974,
- respect de la chaîne du froid tout au long du circuit de distribution.

Nous avons dit précédemment les difficultés de l'industrie face à ces obligations, et notamment dans le domaine de la cuisson du poisson :

- l'approvisionnement en produits de la mer connaît des contraintes spécifiques, liées aux techniques de pêches en particulier, qui rendent aléatoire la qualité de la matière première,
- les industriels sont tenus pour responsables du comportement du produit durant le délai de conservation, alors même que le produit a quitté l'usine, et que les distributeurs ne respectent pas toujours strictement la chaîne du froid.

Cela signifie que l'industriel doit se garder sur deux fronts :

- il doit fabriquer des produits en conformité avec les normes réglementaires. Celles-ci se basent sur l'absence de germes pathogènes dans les produits car le critère prépondérant pour le législateur est, et restera, la sécurité du consommateur. Dans l'état actuel de nos connaissances le germe pathogène, non sporulant, le plus résistant aux températures de pasteurisation est *Streptococcus faecalis*. Il est donc normal que le règlementation prennent ce germe comme référence pour juger la qualité hygiénique des plats cuisinés.
- il doit assurer une bonne conservation à ses produits et donc appliquer un traitement thermique capable de réduire la flore d'altération, de loin la plus nombreuse nous l'avons vu, dans des proportions compatibles avec le délai de consommation prévu.

Ces deux objectifs ne sont bien sûr pas incompatibles, et il semble bien que le caractère prépondérant de l'un ou de l'autre dépende essentiellement de la température de traitement.

II.2.2 - Les moyens d'optimisation des traitements

Si on admet que l'aspect sanitaire prime, cela ne signifie pas que toute optimisation des pasteurisations est impossible. Il y a pour cela plusieurs voies possibles. Deux d'entre elles donnent déjà des résultats.

II.2.2.1 - Amélioration des conditions hygiéniques de prétraitement du poisson

Cette pratique peut donner des résultats spectaculaires. En effet si la population initiale de streptococcus feacalis est :

$$N_0 = 10^5 \text{ germes par gramme}$$

avec une population finale après traitement fixée à

$$N = 10^{-3} \text{ germe par gramme,}$$

le taux de réduction de la population souhaité est donc $n = 8$ (contre $n = 13$ dans les normes réglementaires et la valeur pasteurisation (VP) minimale à appliquer est alors :

$$P = \frac{10}{70} = 24 \text{ minutes (BOUJELBEN, 1988).}$$

L'application de ce barème de pasteurisation ne réduit pas la durée de vie du produit.

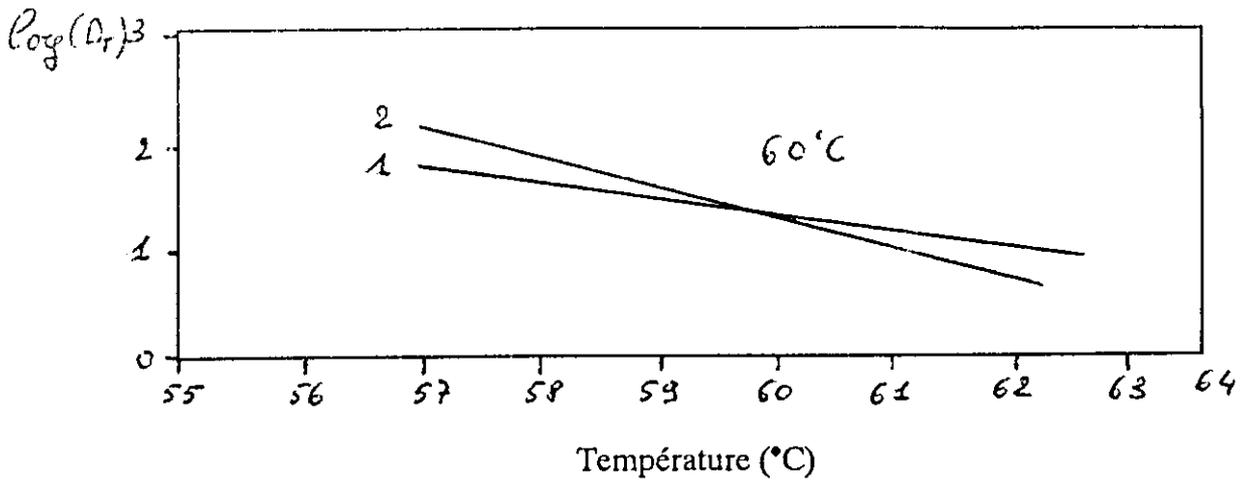
Dans la pratique certains industriels fabriquent des produits à VP faible (autour de 10 minutes) qui peuvent se conserver jusqu'à 21 jours par dérogation (KNOCKAERT, 1989).

Cela exige bien sûr une parfaite maîtrise des approvisionnements, un stockage réduit, un atelier pratiquement stérile (salle blanche) un matériel de cuisson et de prise de température à coeur fiable (KNOCKAERT, 1989).

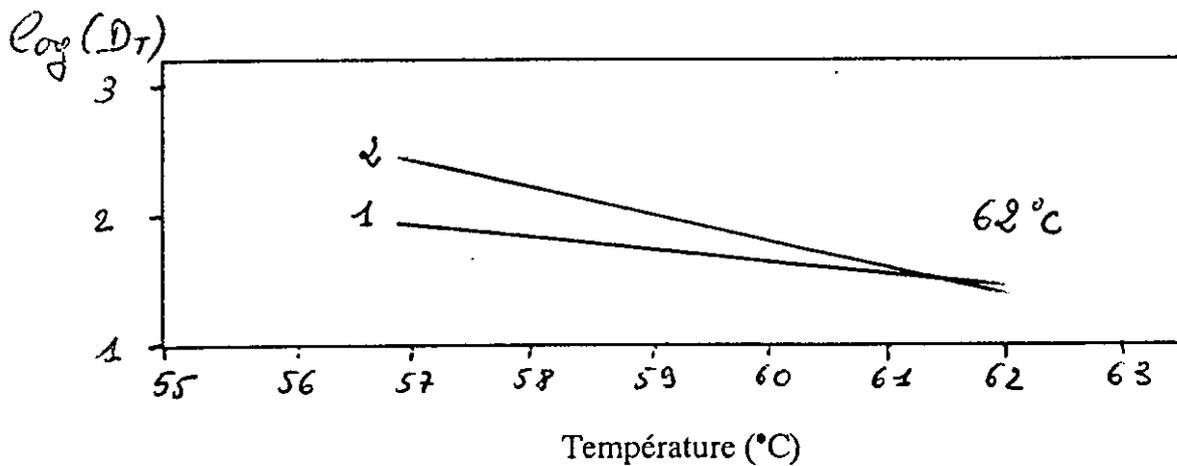
II.2.2.2 - Etude précise et approfondie de la thermorésistance des bactéries dans les milieux alimentaires :

Cette voie constitue une voie fondamentale. En effet l'influence du milieu sur la résistance des micro-organismes à la chaleur sont insuffisamment connus (MAILLARD-MULAK, 1990). Cela impose une certaine prudence dans le choix des traitements à appliquer (BEAUFORT et ROSSET, 1989) et des investigations sérieuses peuvent amener des améliorations sensibles.

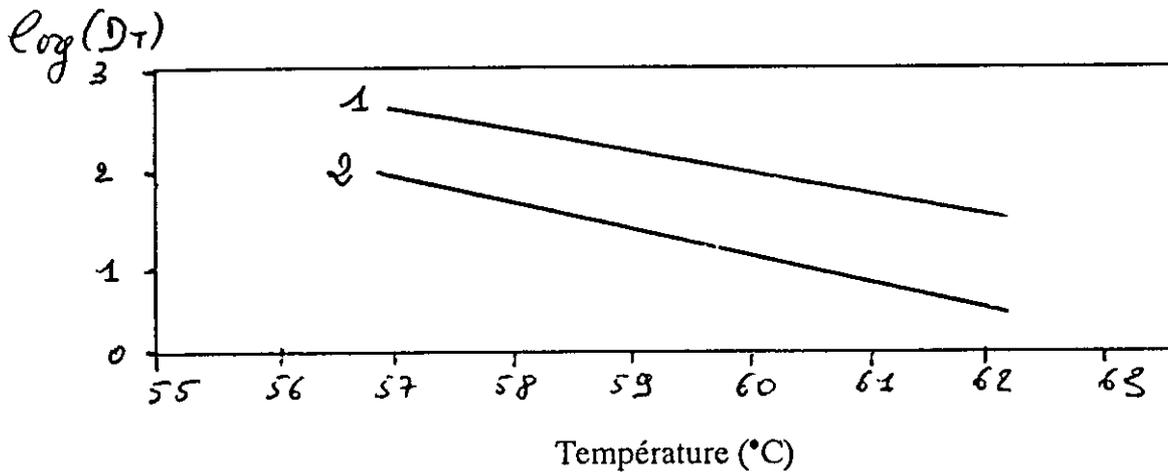
Par exemple, dans les filets de poissons, dans les gammes habituelles de température de pasteurisation (65 à 90°C), le germe non sporulé le plus résistant serait Pseudomonas paucimobilis, tandis que dans les terrines de poisson, si la température à coeur en fin de cuisson ne dépasse pas 62°C, Streptococcus feacium est le germe non sporulé le plus résistant (figure n° 7) (MAILLARD-MULAK, 1990).



1 - Destruction thermique dans le tampon phosphate



2- Destruction thermique dans une terrine à base de poisson



3 - Destruction thermique dans un filet de lieu noir

Figure n°7 : Courbe de thermorésistance de *Pseudomonas paucimobilis* (1) et *Streptococcus fraciium* (2) dans différents milieux (d'après MAILLARD-MULAK, 1990)

Les valeurs obtenues pour *Pseudomonas paucimobilis* (tableau n° 4) peuvent surprendre, dans la mesure où les *Pseudomonas* sont habituellement considérés comme des germes thermosensibles rapidement détruits à des températures inférieures à +60°C (ROZIER et al, 1985). Mais les références concernant ce germe et sa thermorésistance sont rares. Il semble qu'il y ait deux raisons majeures à cela :

- la flore microbienne est souvent très variée, alors que les études n'impliquent généralement qu'un nombre réduit de souches (20 à 100). Ceci peut conduire à des conclusions erronées, étant donné que seuls les groupes bactériens les plus importants sont à même d'être identifiés (LIMA DOS SANTOS, 1978).
- les milieux de culture et d'isolement conditionnent énormément les résultats obtenus (DABBAH et al., 1971 ; MOATS et al., 1971 ; CRAVEN et BLANKENSHIP, 1983).

III - ETUDE EXPERIMENTALE

Dès lors qu'il était admis que l'industriel doit pasteuriser ses produits, et que cela nécessite généralement un traitement supérieur au seuil optimum de la qualité organoleptique, il nous a paru intéressant de caractériser l'influence de la température de cuisson.

III.1 - MATERIEL ET METHODE

Le schéma des diverses expériences effectuées pendant ce stade se trouve

III.1.1- La matière première

Pour ne pas multiplier les effets nous n'avons traité qu'une matière première, la plus homogène possible. C'est pourquoi nous avons utilisé des poissons :

- d'élevage, ce qui simplifie l'approvisionnement et assure une relative homogénéité ; les conditions de vie en cage favorisent certains individus "dominants" qui seront plus gros que les autres. Par contre les conditions d'abattage et de préparation sont parfaitement maîtrisées et identiques pour tous.
- de grande taille, pour minimiser le nombre d'individus.

Ainsi nous avons travaillé 36 truites Fario, di et triploïdes, d'un poids vif allant de 3 à 4 kg, réparties en deux approvisionnements de 20 puis 16 individus en provenance de la Salmoniculture Expérimentale Marine IFREMER-INRA (SEMII).

	Pseudomonas paucimobilis			Streptococcus feacium		
	A	B	C	A	B	C
D ₆₀ (min)	23,1	83,9	41,2	21,6	17,3	64
z (°C)	7,7	5,8	9,1	4,7	4,3	4,4

Tableau n°4 : valeur de D₆₀ et de z pour les deux germes les plus thermorésistants dans les 3 milieux testés

A = tampon phosphate

B = lieu noir

C = terrine à base de poisson

(d'après MAILLARD-MULAK, 1990)

Les truites étaient abattues la veille de leur arrivée au centre IFREMER de Nantes. Dès réception elles étaient filetées dans la salle de mareyage (10-15°C) ; cette opération prenait environ deux heures. Les filets étaient conditionnés sous-vide en sachets individuels et congelés aussitôt après par voie cryogénique au gaz carbonique (CO₂) ; cette phase durait environ une heure. Enfin les filets congelés étaient stockés en chambre froide à -30°C.

Les filets, dont les poids variaient de 750 g à 1 kg environ, attendaient d'être utilisés au fur et à mesure des besoins : les premiers sortis l'ont été cinq jours après congélation, et les derniers ont attendus environ trois semaines en chambre froide.

III.1.2- LE TRAITEMENT THERMIQUE

Nous avons effectué quatre séries identiques de cuisson, espacées chacune d'une semaine.

Nous avons comparé les effets de cuissons effectuées dans des bains à +65°C et +85°C.

III.1.2.1 - Préparation des échantillons

Les jours de cuisson, la quantité nécessaire de filets était mise à décongeler dans un décongélateur à air pulsé, en hygrométrie saturée. Ils en étaient sortis lorsque la température à coeur atteignait environ +4°C, ce qui était réalisé au bout d'une heure.

Les échantillons étaient alors préparés dans la salle de mareyage (5 - 10°C) : ils étaient coupés, pesés et mis en sachets. L'ensemble était ensuite scellé sous-vide.

III.1.2.2 - Matériel de cuisson - refroidissement

Nous avons utilisé comme cuiseur un bain-marie d'un volume total de 50 litres qui contenait environ 40 litres d'eau. Le chauffage de l'eau se faisait par le fond par des résistances électrique. Il n'y avait pas de système d'agitation de l'eau. Un panier permettait de manipuler tous les échantillons en même temps. Les échantillons étaient maintenus verticaux par un système de tiges horizontales.

Le refroidissement était assuré dans un bac contenant de l'eau à 0°C (glace fondante) et muni d'un système de renouvellement d'eau.

III.1.2.3 - Cuisson des échantillons

Tous les échantillons devant subir une même température, ont été cuits ensemble. Ceci nous donne un rapport eau/produits d'environ 5 (40 kg d'eau pour 8 kg d'échantillons).

L'efficacité pasteurisatrice du traitement a été choisie intermédiaire entre :

- les recommandations réglementaires qui préconisent un traitement de "sécurité", avec une valeur pasteurisatrice (VP) minimale de 40 minutes.
- les pratiques industrielles qui donnent couramment des produits à VP = 10 minutes.

La qualité de la matière première nous permettait de nous situer en deçà des 40 minutes, mais pour les hautes températures (à partir de 75-80°C) l'accroissement de la valeur pasteurisatrice est très rapide : il paraît difficile de bien maîtriser la fin de la cuisson. Il nous a semblé raisonnable, dans ces conditions, d'appliquer une valeur pasteurisatrice de 20 minutes pour tenter d'obtenir deux lots de produits homogènes.

Les produits étaient plongés dans le bain-marie lorsque la température de celui-ci était stabilisée à la valeur de consigne. A la fin du temps de cuisson le panier contenant les produits était transféré dans le bac d'eau froide. Pour tenir compte de la valeur pasteurisatrice du refroidissement qui varie avec la température à coeur atteinte, les produits étaient sortis du bain-marie pour des valeurs de VP différentes :

- VP = 19 minutes à 65°C
- VP = 10 à 12 minutes à 85°C

Lorsque la température à coeur était passée en dessous de +50°C, la cuisson était considérée comme stoppée et les échantillons stockés à 0 +3°C.

III.1.3- Le suivi des températures

Les températures étaient enregistrées grâce à du matériel ELLAB. Deux sondes placées à deux endroits différents du bain donnaient la température de celui-ci.

Deux sondes étaient placées à coeur des échantillons. Les sondes, filiformes, étaient fixées sur les sachets grâce à des presse-étoupes. Ce système de fixation a donné entière satisfaction quant à l'étanchéité.

L'appareil de mesure affichait la température, par cycle, pour chacune des sondes, et l'imprimait toutes les minutes. La valeur pasteurisation (P 70/10) était également calculée et imprimée, de sorte que le degré de cuisson était constamment connu.

Rappel :

Le "coeur" du produit est par définition, le point le plus lent à atteindre la température de cuisson désirée. Sa situation varie avec le type d'échange thermique mis en jeu (conduction, convection, rayonnement), et la structure du produit.

Dans le cas qui nous occupe, nous pourrions considérer en première approximation que :

- les échantillons sont homogènes quant à la progression de la chaleur,
- l'échange thermique se fait exclusivement par conduction.

Le coeur du produit est dans ce cas le centre géométrique du produit.

III.2 - RESULTATS

III.2.1- Le suivi des températures

Pour toutes les cuissons, l'immersion des produits dans le bain provoque une baisse de la température du fluide, de 3 à 9°C environ selon les cas. Cette chute ne semble pas perturber l'augmentation de température dans les produits.

III.2.1.1 - Les cuissons à + 65°C (figures n° 9 et 10)

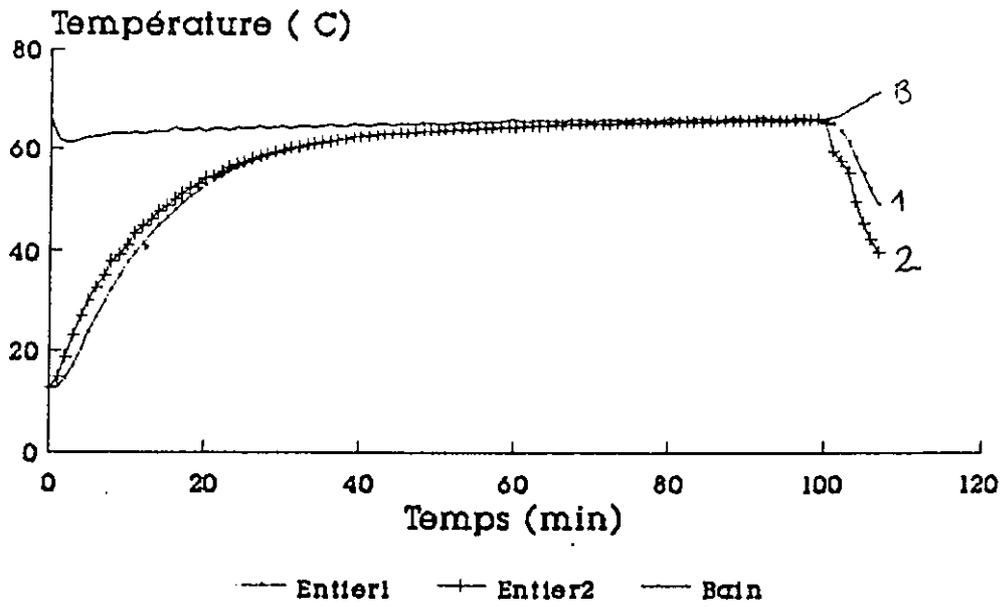
Suivant les cuissons, la progression des températures est relativement variable. En tenant compte de la température initiale (de 10 à 15°C) et de la température réelle du fluide (66°C à 69°C) nous pouvons penser que les variations sont surtout dues à la place des sondes dans le produit : elles n'étaient vraisemblablement pas toutes à coeur.

III.2.1.2 - Les cuissons à + 85°C (figures n° 11 et 12)

La variabilité dans la progression de la température à coeur est encore plus nette à haute température. La première cuisson est la plus courte, mais certains produits étaient manifestement mal cuits.

On observe un décrochement, sur une sonde à coeur, au cours de la troisième cuisson ; nous avons déplacé les fils de sondes, la sonde s'est alors elle-même déplacée vers un endroit plus froid : elle n'était pas à coeur au début de l'expérience.

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Première cuisson 65 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Deuxième cuisson 65 C

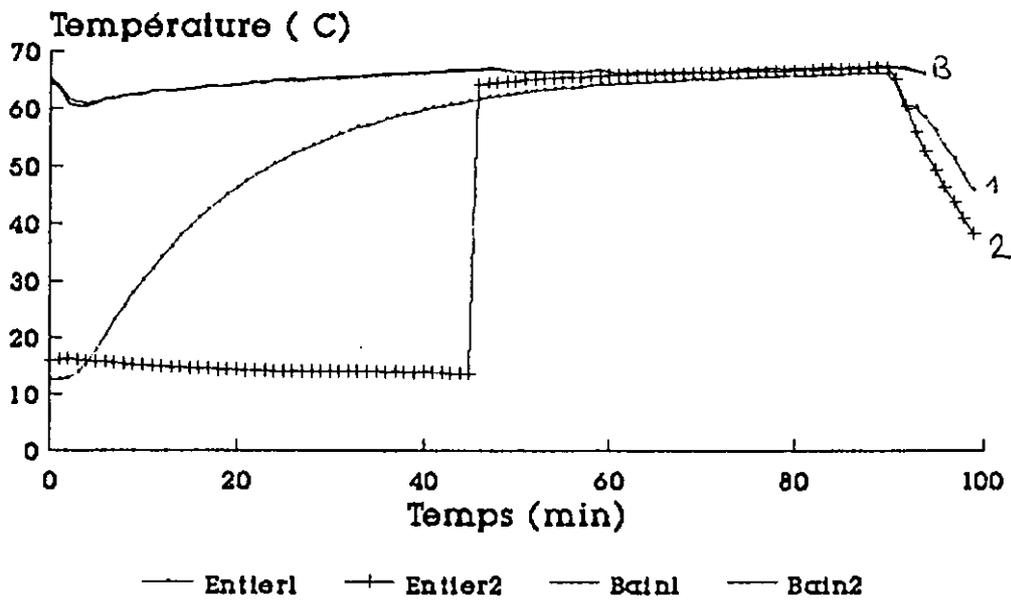
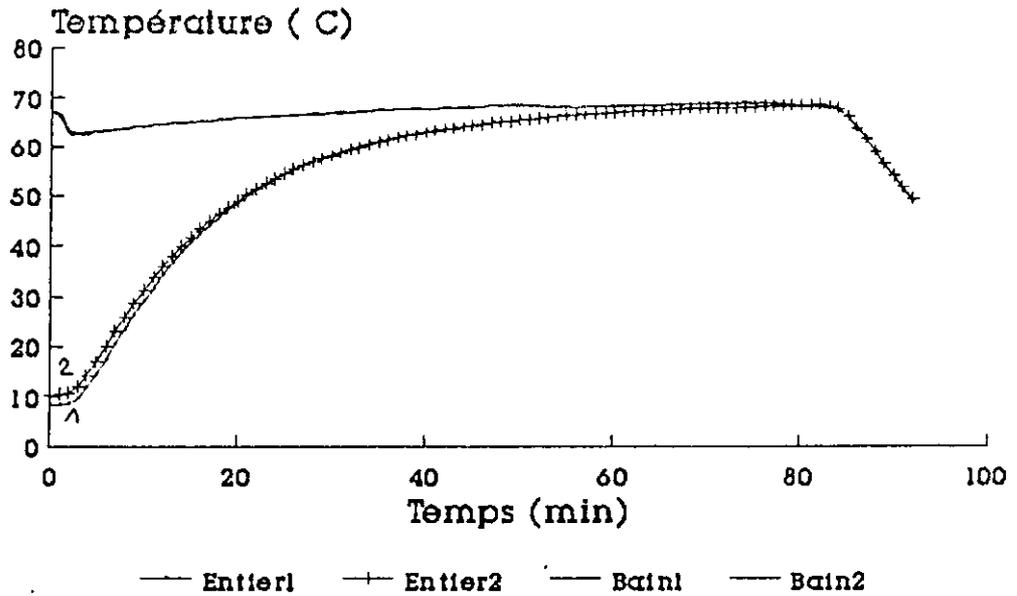


Figure n°9 : évolution des températures
cuisson à 65°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE

Troisième cuisson 65 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE

Quatrième cuisson 65 C

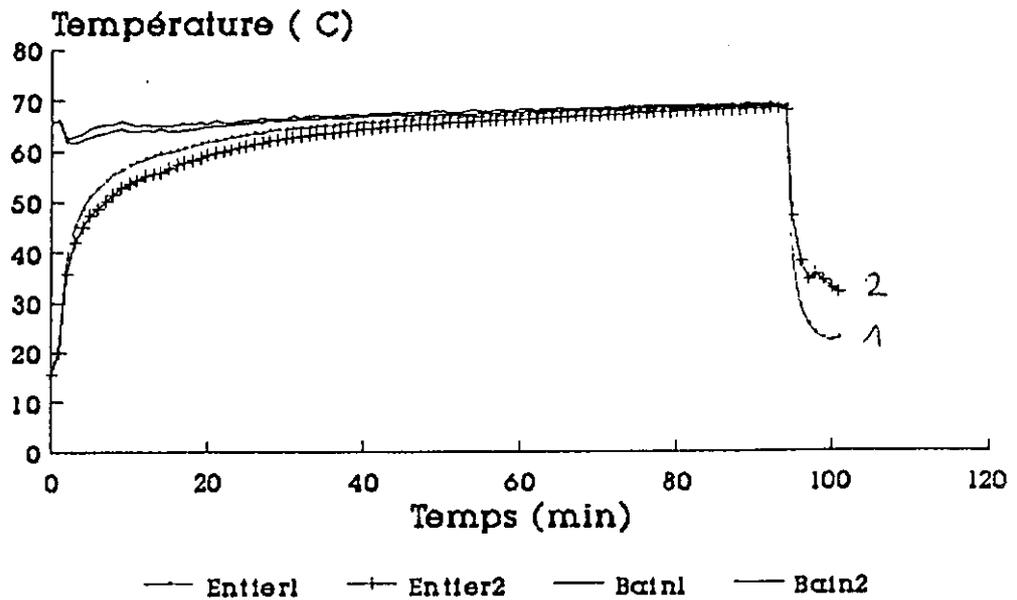
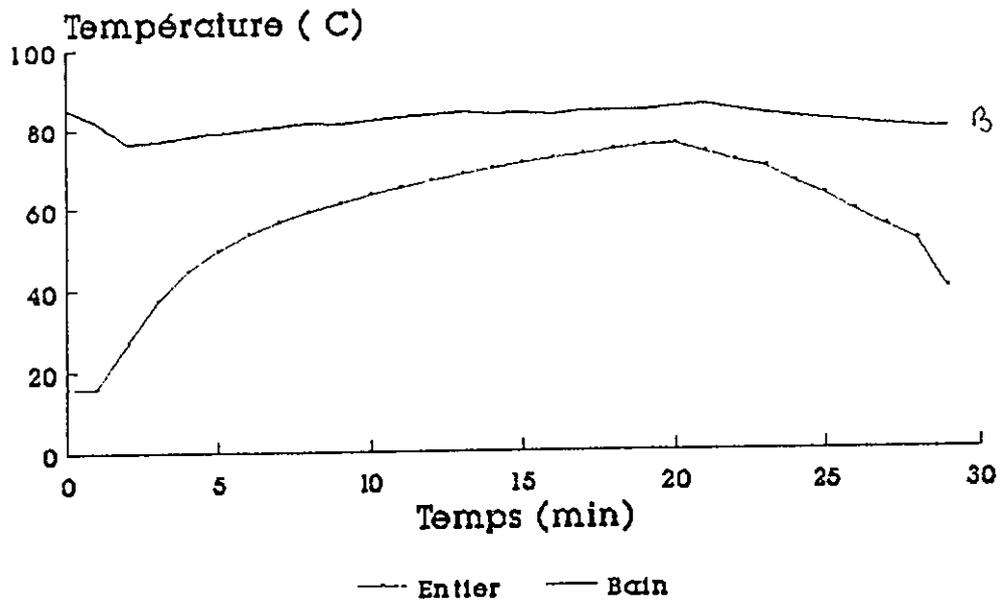


Figure n°10 : évolution des températures
cuisson à 65°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Première cuisson 85 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Deuxième cuisson 85 C

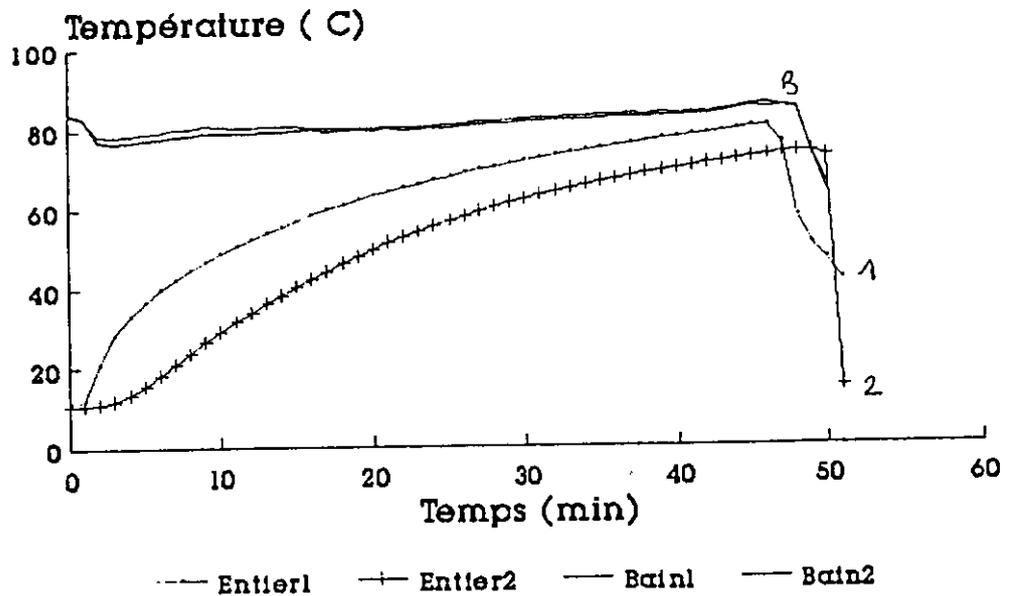
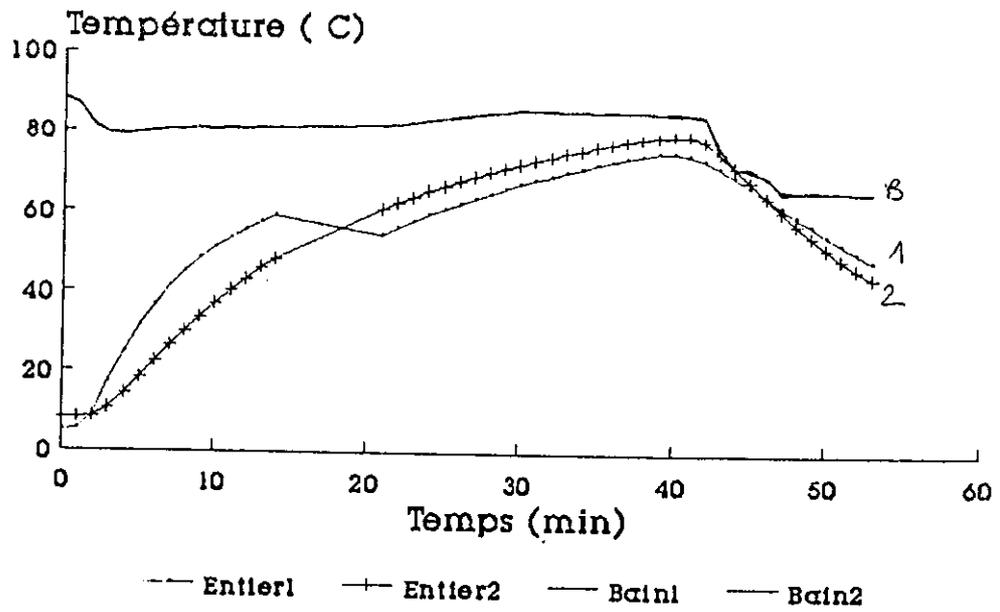


Figure n°11 : évolution des températures
cuisson à 85°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Troisième cuisson 85 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Quatrième cuisson 85 C

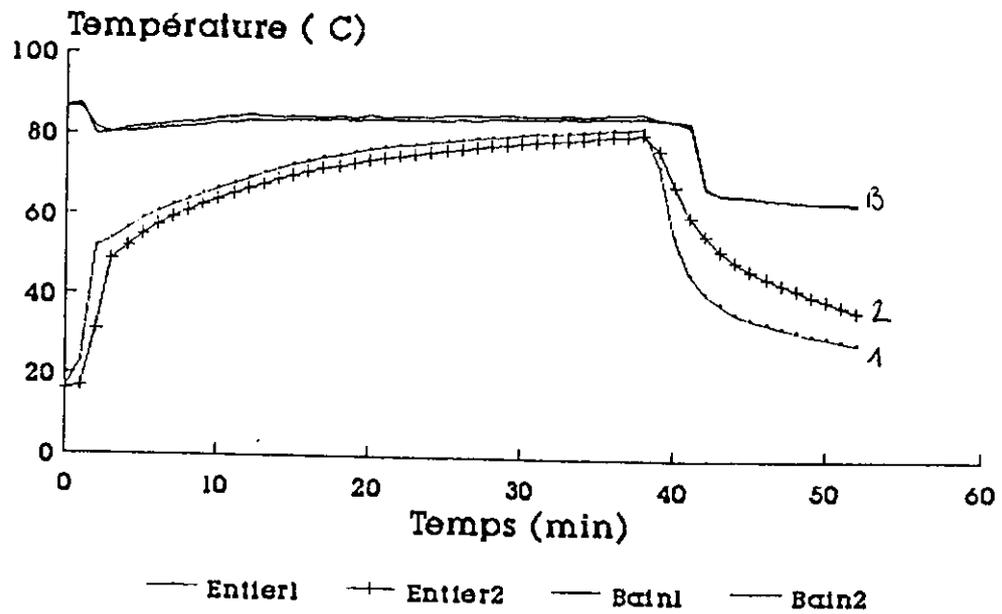


Figure n°12 : évolution des températures
cuisson à 85°C

Cela pose une fois de plus le problème du système de prise de température à coeur des produits. Aujourd'hui il n'existe pas de système fiable pour la mesure de la température à coeur. Celui que nous avons utilisé (sondes filiformes) ne déroge pas à la règle.

Différents paramètres de cuisson sont consignés dans le tableau n° 5. Il faut surtout noter la variabilité de la valeur pasteurisatrice (P 70/10) atteinte en fin de cuisson. Cela met en lumière l'importance des temps intermédiaires, notamment la sortie du bain chaud et le trempage dans le bain froid. Ce temps doit être le plus court possible quand les températures atteintes à coeur sont hautes. (La valeur pasteurisatrice d'une minute à 70°C est 1, mais elle est de 10 à 80°C et de 100 à 90°C.

III.2.2- Les analyses bactériologiques

Ces analyses avaient pour objectif d'une part de vérifier l'efficacité du traitement thermique, et d'autre part de contrôler la conservation des produits dans le temps.

Pour cela nous avons dénombrer la flore totale aérobie mésophile, selon le protocole utilisé en routine à l'IFREMER (annexe n° 7). Ces analyses ont été faites sur le produit cru, et le produit cuit à J₀ (jour de la cuisson), J₇, J₁₄ et J₂₁.

Les résultats sont donnés dans le tableau n° 6, et représentés sur les figures n° 13 et 14.

Les résultats obtenus sur le produit cru confirmant que la matière première utilisée était de très bonne qualité (moins de 10 000 germes par gramme).

III.2.2.1 - Traitement à + 65°C

La première et la quatrième cuisson s'avèrent d'une efficacité négligeable.

A 21 jours tous les échantillons sont à plus d'un million de germes par gramme. Ceci laisse un doute quant à la température de stockage qui, malheureusement, était variable entre + 2 et + 6°C.

III.2.2.2 - Traitement à + 85°C

Les températures à "coeur" atteintes ici sont comprises entre + 73,8 et + 81°C, soit 10 à 13°C de plus que lors des traitements à + 65°C.

L'évolution microbiologique des produits obtenus est plus variable que pour ceux cuits à + 65°C. La cuisson n° 1 semblait courte par rapport aux trois suivantes : il est clair, à la vue des courbes de croissance, qu'elle n'a pas eu la même efficacité pasteurisatrice.

n° de cuisson	1	2	3	4	1	2	3	4
température de cuisson (°C)	65				85			
temps de cuisson (min)	107	99	92	101	29	51	53	52
température à coeur (°C)	65,7	66,3	68	68,5	75,3	73,8	74,7	81
temps d'obtention (min)	97	88	79	92	20	48	39	38
valeur pasteurisatrice atteinte à coeur P (min)	20	16	23	31	20	24	26	147
température du fluide (°C)	66,4	67,4	68,4	69,2	84,5	84,6	84,9	85,3

Tableau n°5 : paramètres des cuissons

		Cuisson 1	Cuisson 2	Cuisson 3	Cuisson 4
CRU		975	1750	6350	3500
65°C	J ₀	475	0	0	110
	J ₇	600	50	110	25
	J ₁₄	6.10 ⁴	9,75.10 ⁵	2,25.10 ⁵	0
	J ₂₁	1,5.10 ⁸	2,5.10 ⁶	9.10 ⁶	6,5.10 ⁷
85°C	J ₀	0	0	0	25
	J ₇	1,7.10 ⁶	60	3600	0
	J ₁₄	3,5.10 ⁸	5.10 ⁵	3000	175
	J ₂₁	1,55.10 ⁷	4.10 ⁶	1,75.10 ⁵	0

Tableau n°6 : Résultats des analyses microbiologiques (nombre de germes par gramme)

EVOLUTION MICROBIOLOGIQUE DU PRODUIT
 CUIT A 65 C (STOCKAGE A 0/+3 C)

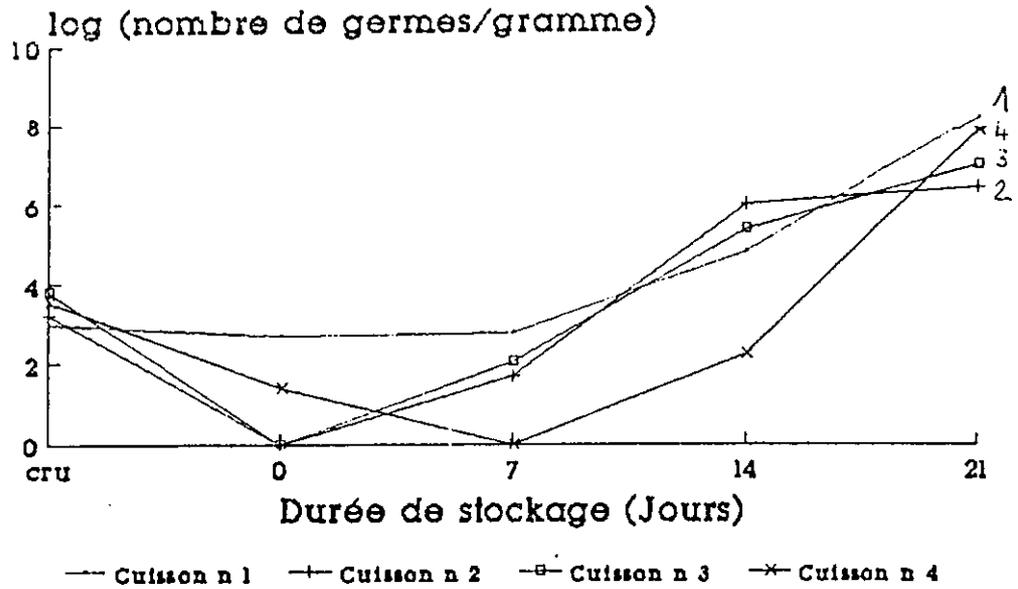


Figure n°13 : résultats d'analyses microbiologiques

EVOLUTION MICROBIOLOGIQUE DU PRODUIT
 CUIT A 85 C (STOCKAGE A 0/+3 C)

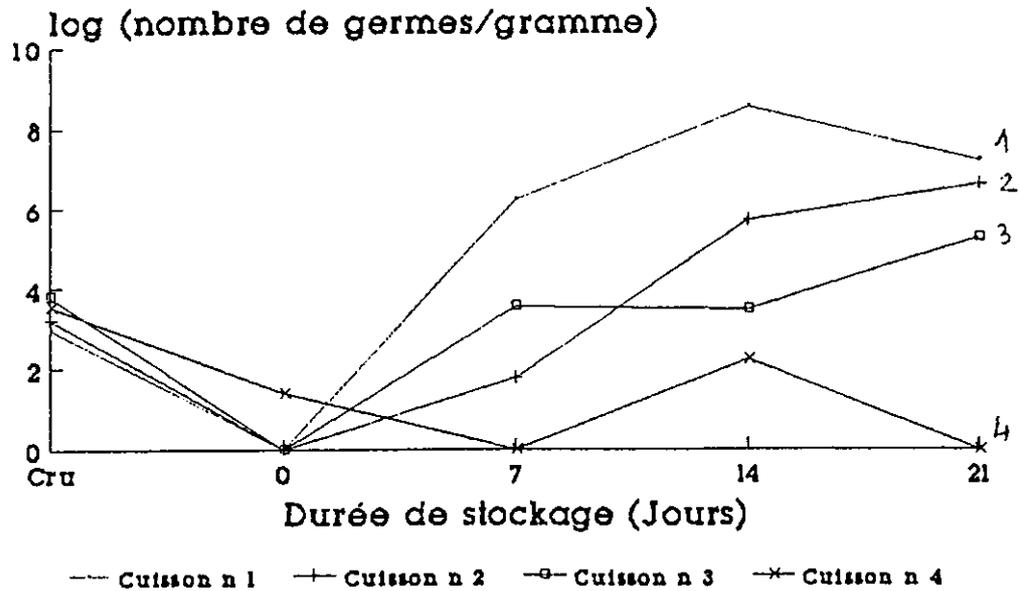


Figure n°14 : résultats d'analyses microbiologiques

Pour les cuissons 3 et 4 les croissances paraissent moins rapides, comme si les micro-organismes survivants présentaient un temps d'adaptation au froid plus long.

III.2.3- Les mesures physico-chimiques

III.2.3.1 - L'eau et la matière sèche

III.2.3.1.1 - Introduction

Le pouvoir de rétention d'eau dépend en premier lieu du pH du muscle, mais aussi de l'état des réseaux protéiques capables de retenir l'eau. Ceux-ci subissent des transformations plus ou moins importantes lors de cuissons. C'est pourquoi nous allons tenter de voir si le PRE nous permet de détecter des variations en relation avec les températures de cuisson.

La mesure du PRE fait appel à de très nombreuses méthodes (pression, centrifugation, chauffage, gonflement, extraction capillaire) (LAROCHE, 1981). Chacune d'entre elles a été mise au point dans le cadre d'une expérimentation particulière. Ce sont des méthodes arbitraires, qui donnent des résultats qui peuvent être très différents d'une technique à l'autre. Mais ces résultats sont généralement bien corrélés (GOUTEFONGEA, 1963). Les méthodes les plus utilisées sont celles ayant recours à la centrifugation et à la compression. Ce sont ces deux techniques que nous utiliserons en parallèle.

III.2.3.1.2 - Méthode de calcul

La méthode de calcul est étroitement dépendante de la technique utilisée.

Après centrifugation nous n'avons accès qu'à la fraction extraite (FE - figure n° 15). Le passage en étuve nous permet de connaître la quantité d'eau extraite (EE), et de la ramener à la quantité de produit déposée sur le filtre. Nous appellerons ce résultat CRE.

Le calcul après pression se fait sur la fraction non extraite rapportée au poids de l'échantillon, et donne le PRE.

III.2.3.1.3 - Résultats (Tableau n° 7)

Pris globalement (toutes cuissons et jours d'analyse confondus) le PRE des produits cuits à + 85°C est supérieur à celui des produits cuits à + 65°C. Pour le CRE la tendance est inversée, mais la signification est la même : les manipulations

HYDRATATION APRES CUISSON

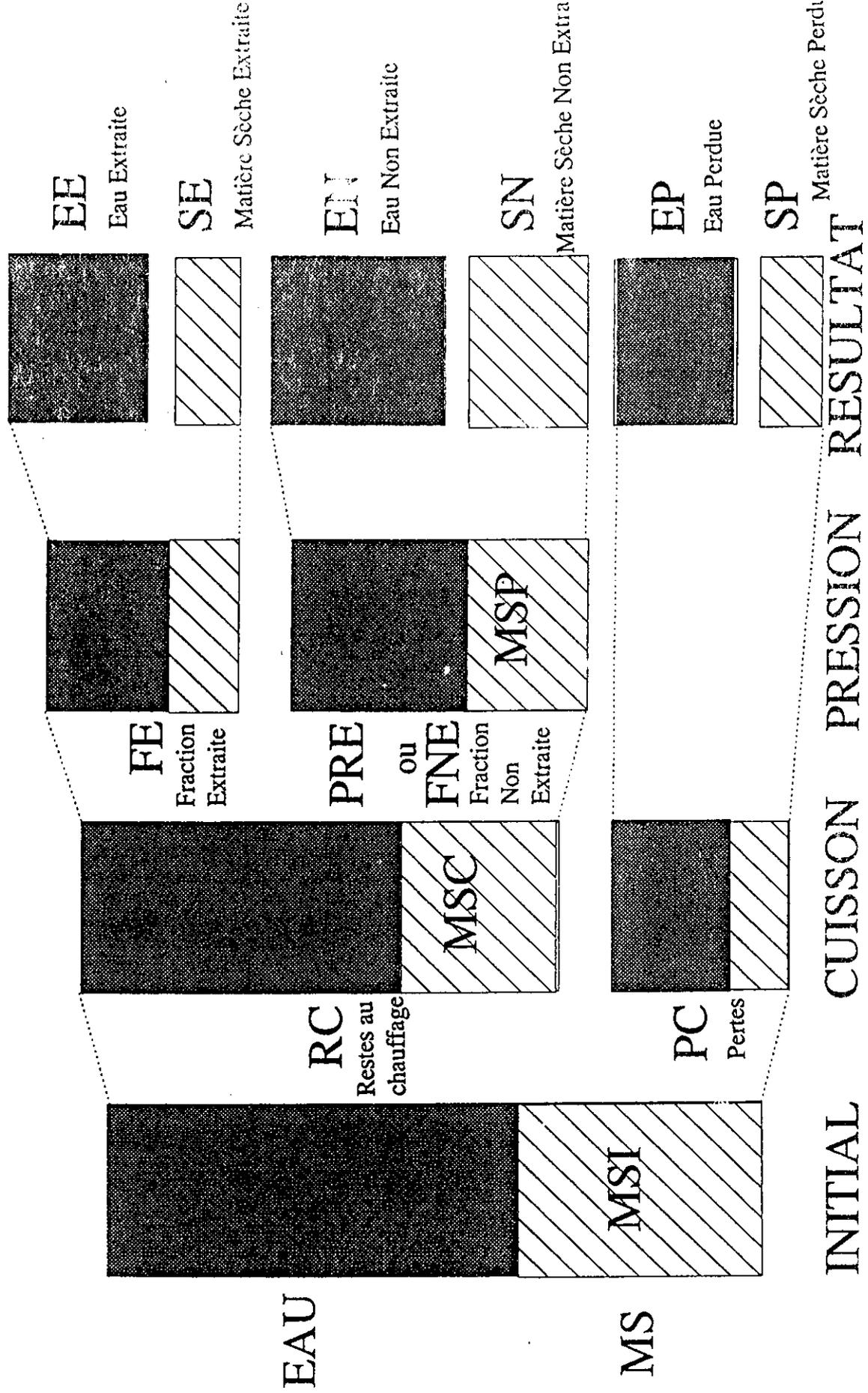


Figure n°15 : composition du produit en fonction de l'opération réalisée

MS = Matière sèche
 PRE = Pouvoir de rétention d'eau
 calculé par pression
 FNE = Fraction non extraite = PRE
 ramené au produit cuit
 CRE = Pouvoir de rétention d'eau
 calculé par centrifugation
 PCRE = CRE ramené au produit cuit
 CRE1 = CRE calculé après étuvage

COMPARAISON 65-85 °C

	MS		PRE		FNE	
	85	65	85	65	85	65
moy	0,315	0,310	0,730	0,718	0,646	0,646
et	0,009	0,015	0,015	0,016	0,019	0,020
nb	36	36	36	36	36	36
t observé	1,9522		-	3,4225	-	0,0124

	CRE		CRE1		R CRE		R CRE1	
	85	65	85	65	85	65	85	65
moy	0,176	0,205	0,140	0,159	0,731	0,720	0,763	0,761
et	0,018	0,021	0,021	0,025	0,021	0,023	0,027	0,029
nb	26	26	26	26	26	26	26	26
t observé	-	5,2954	-	2,9335	-	1,7262	-	0,1934

	MSD		RC		RC = rendement au chauffage MSD = Matière sèche calculé après pression
	85	65	85	65	
moy	0,286	0,278	0,884	0,900	
et	0,010	0,011	0,023	0,020	
nb	36	36	36	36	
t observé	-	2,9908	-	3,0329	

Tableau n°7 : Résultats analyses physico-chimiques.
 Les valeurs sont comparées deux à deux par un test t de Student

(centrifugation ou pression) extraient moins de liquide sur les échantillons + 85°C comparés à + 65°C. Un test t de student permet la comparaison des moyennes et montre que la différence est significative au risque 1 %.

Par contre si on rapporte ces résultats au produit initial (cru) : on obtient deux valeurs (FNE remplace PRE, et RCRE remplace CRE) dont la différence n'est pas significative.

Autrement dit, on perd plus de liquide à la cuisson à + 85°C et la pression, ou la centrifugation, en extrait moins. Globalement, la quantité d'eau qui a quitté le produit, à la suite des deux opérations, est la même.

Si maintenant on s'intéresse à l'évolution de certains paramètres durant le stockage (figures n° 16, 17 et 18) nous voyons que pour les produits cuits à + 65°C :

- la matière sèche chauffée (MSC)
- la fraction non extraite (FNE)
- la matière sèche non extraite (SN)

tendent toutes trois à diminuer durant le stockage, tandis que pour les produits à + 85°C, elles restent pratiquement constantes.

Il semblerait donc qu'au cours du stockage au froid, il y ait solubilisation de matière sèche dans les produits cuits à + 65°C.

Les rendements au chauffage sont significativement différents au risque 1 %. Les produits cuits à + 85°C exsudent plus que ceux portés à + 65°C. Mais la matière sèche déterminée après cuisson est la même dans les deux lots : les exsudats sont proportionnellement aussi chargés en substances dissoutes dans l'un et l'autre cas.

Une dernière grandeur a été calculée : la matière sèche restant après pression, rapportée au produit chauffé (MSD). Pour la viande elle est généralement bien corrélée avec la force. Ici la différence significative obtenue entre les deux lots (toutes cuissons confondues) montre que le liquide extrait par pression est plus chargé à + 65°C. Ceci va dans le sens de ce que nous écrivions précédemment : une partie de la matière sèche se solubiliserait dans les produits à + 65°C stockés au froid, ce qui n'est pas perceptible pour les produits cuits dans un bain à + 85°C.

III.2.3.2 Le pH

La figure n° 19 montre que les valeurs de pH mesurés après cuisson sont très dispersées, mais surtout situées au dessus de la ligne figurant la moyenne des pH initiaux. Les chiffres (tableau n° 9) montrent qu'il y a effectivement augmentation significative du pH pendant la cuisson. C'est un phénomène connu sur la viande : certains auteurs pensent qu'il augmente dans tous les cas, d'autres pensent qu'il ne croit que lorsque le pH initial est inférieur à 6,4, et qu'il diminue dans le cas contraire.

FRACTION NON EXTRAITE ²³

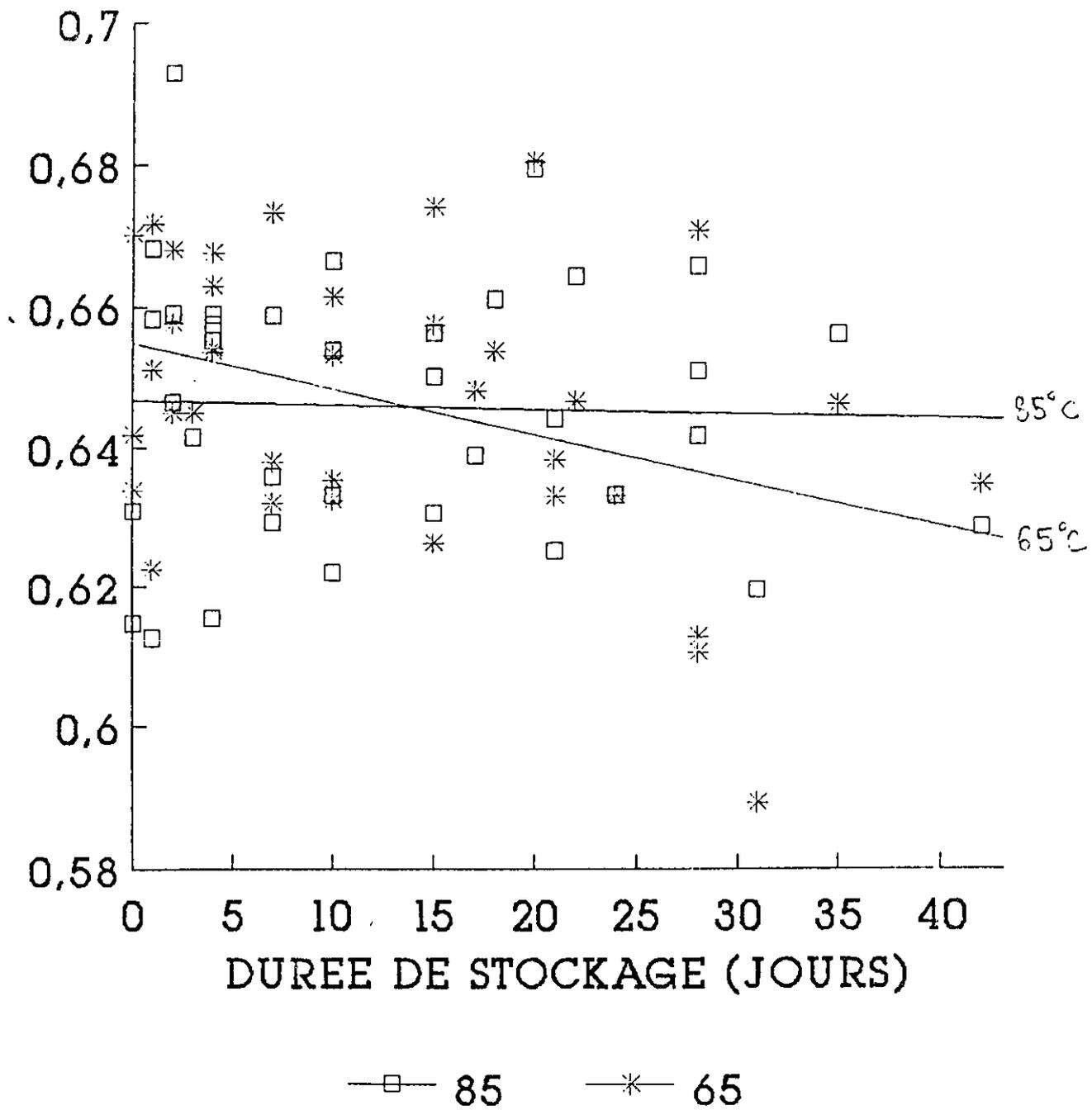


Figure n°16

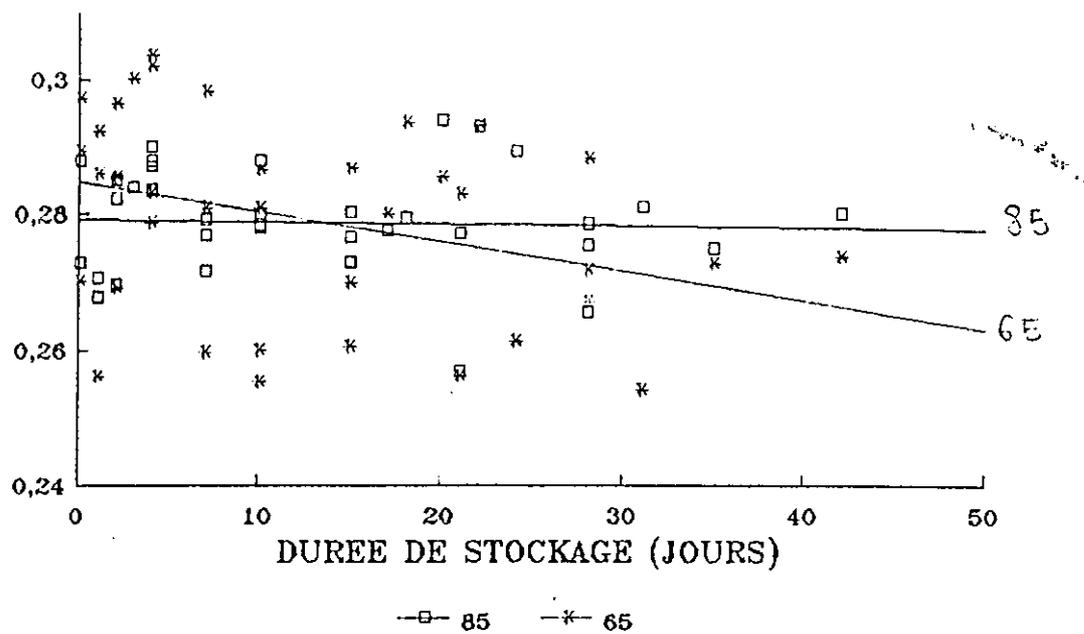


Figure n°17

MATIERE SECHE NON EXTRAITE

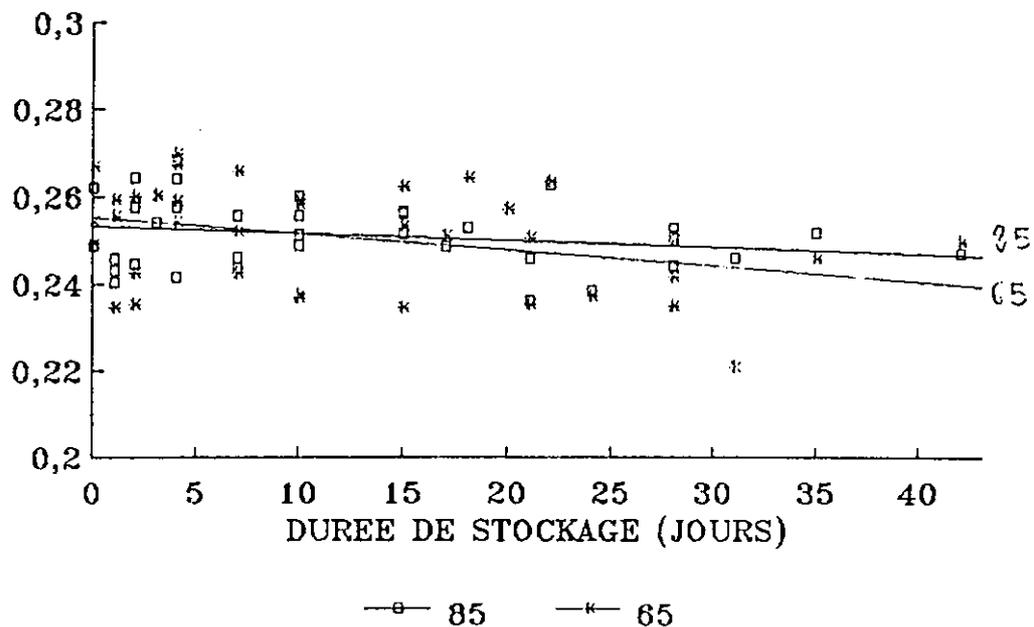


Figure n°18

pH par cuisson à 65 °C									
AS					TC				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
moy	6,35	6,31	6,34	6,32	6,31	6,33	6,25	6,28	
et	0,13	0,18	0,09	0,03	0,22	0,21	0,27	0,15	
nb	7	7	7	7	7	10	9	9	
t observé	S1	-	0,477	0,133	0,511	-	0,180	0,462	0,299
	S2		-	0,411	0,209		-	0,708	0,560
	S3			-	0,452			-	0,293
	S4				-				-
pH par cuisson à 85 °C									
AS					TC				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
moy	6,31	6,33	6,40	6,37	6,23	6,28	6,33	6,31	
et	0,15	0,16	0,07	0,05	0,25	0,19	0,22	0,15	
nb	7	7	7	7	8	10	9	9	
t observé	S1	-	0,223	1,379	0,948	-	0,482	0,886	0,781
	S2		-	1,073	0,634		-	0,548	0,349
	S3			-	0,889			-	0,266
	S4				-				-
pH par cuisson à 65 et 85 °C									
AS					TC				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
moy	6,33	6,32	6,37	6,35	6,27	6,31	6,29	6,30	
et	0,14	0,16	0,09	0,05	0,24	0,20	0,24	0,15	
nb	14	14	14	14	15	20	18	18	
t observé	S1	-	0,193	0,969	0,443	-	0,528	0,303	0,423
	S2		-	1,076	0,622		-	0,186	0,177
	S3			-	0,932			-	0,047
	S4				-				-

Tableau n°9 : Variations du pH après cuisson.
Les valeurs sont comparées par un test t de Student.

Nous n'observons pas de différence entre les températures de cuisson.

Notons les différences de pH initial suivant les séries. Si nous ajoutons que le hasard des approvisionnements a fait que la durée du stockage des filets congelés a été :

- 5 jours pour la première cuisson
- 4 jours pour la seconde
- 11 jours pour la troisième
- 25 jours pour la quatrième

nous remarquons une corrélation négative (tableau n° 8).

La différence de pH initial observée entre les séries, n'apparaît plus après cuisson.

Enfin il n'y a pas de liaison significative entre le pH et la durée de stockage à $0 + 3^{\circ}\text{C}$, après cuisson.

Variation du pH initial

		AS			TC			Ensemble		
		pHi			pHi			pHi		
		65	85		65	85		65	85	
t observé	moy	6,22	6,33	6,35	6,22	6,29	6,29	6,22	6,33	6,32
	et	0,07	0,11	0,12	0,07	0,21	0,20	0,07	0,17	0,18
	nb	66	21	28	66	35	36	66	94	96
	pHi	-	5,225	6,787	-	2,702	2,621	-	5,143	4,567
	65	-	-	0,732	-	-	0,102	-	-	0,332
85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

AS : échantillons d'analyse sensorielle
 TC : échantillons de mesure en cisaillement

		pHi - comparaison des ser			
		S1	S2	S3	S4
t observé	moy	6,22	6,27	6,22	6,16
	et	0,07	0,06	0,05	0,04
	nb	15	17	17	17
	S1	-	2,196	0,016	2,808
	S2		-	2,719	6,267
S3			-	3,792	
S4				-	

pHi	Temps de stockage congelé	Sortie régression:	
6,22	5	Constante	1226,604
6,27	4	Ecart type d'estimation Y	4,930796
6,22	11	R au carré	0,826801
6,16	25	Nombre d'observations	4
		Degrés de liberté	2
		Coefficient(s) X	-195,473
		Ecart type de coef	63,26215

Tableau n° 8 : variations du pH initial

Les valeurs sont comparées par un test t de student

CONCLUSION

Les résultats obtenus sont bien sûr à confirmer : ils ne portent que sur un nombre restreint d'échantillons, et n'ont été pratiqués que sur un type de produit.

La température du fluide chauffant paraît avoir une influence sur le comportement au stockage : le produit plongé à + 85°C semble plus stable du point de vue microbiologique et biochimique.

Deux paramètres pourraient expliquer cela et méritent d'être étudiés :

- les enzymes endogènes (protéases notamment) ne sont peut-être pas suffisamment inhibées lors de la cuisson à + 65°C, et reprennent leur activité lors du stockage. Il y aurait alors solubilisation de certaines protéines, qui seraient ensuite extraites avec l'eau exprimée par la pression.
- les micro-organismes survivants peuvent être différents selon le domaine de température utilisé, et d'une adaptabilité différente au froid. Ceci pourrait expliquer la croissance relativement plus lente des micro-organismes, sur les produits traités à + 85°C.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BEAUFORT (A), ROSSET (R) (1989)
"Durée de vie des plats cuisinés sous-vide réfrigérés", Industries Alimentaires et Agricoles, juin 1989, pp. 475-477.
- (2) BOUJELBEN (M) (1988)
"Pasteurisation des plats cuisinés de poisson", mémoire IPSA-IFREMER.
- (3) BUREAU (G), PASCAT (B), TISSOT (L) (1987)
"Conditionnement et qualité : conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée et qualité bactériologique", viandes et produits carnés, 8, n° 5, pp. 166-167.
- (4) CRAVEN (SE), BLANKENSHIP (LC) (1983)
"Increased heat resistance of Salmonellae in beef with added soy proteins", Journal of Food Protection, 46, n° 5, pp. 380-384, cité par MAILLARD-MULAK.
- (5) DABBAH (R), MOATS (WA), EDWARDS (UM) (1971)
"Heat survivor curves of food borne bacteria suspended in commercial sterilized whole milk", Journal of Dairy Science, 54, n° 12, pp. 1772-1779, cité par MAILLARD-MULAK.
- (6) GOUSSAULT (B) (1988)
"Cuisson sous vide : vers les basses températures ?", RIA n° 404, pp. 30-33.
- (7) GOUTEFONGEA (R) (1963)
"Comparaison de différentes méthodes de mesure du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. Liaison avec le pH", Annales de Zootechnie, 12, n° 2, pp. 125-132.
- (8) HAUSCHILD (A), POSTE (L), HILSHEIMER (R) (1985)
"Toxin production by Clostridium botulinum and organoleptic changes in vacuum packaged raw beef", Journal of Food Protection, 48, 8, pp. 712-716.
- (9) KENNEDY (J), OBLINGER (J), WEST (R) (1980)
"Fate of Salmonella infantis, Staphylococcus aureus and Halnia alvei in vacuum packaged beef plate pieces during refrigerated storage", Journal of Food Science, 45, n° 5, pp. 1273-1300.
- (10) KNOCKAERT (C) (1989)
"Une innovation dans l'art culinaire : la cuisson sous-vide, application aux produits de la mer", Equinoxe n° 28, pp. 12-19.
- (11) LIMA DOS SANTOS (CAM) (1978)
"Bacterial spoilage of iced amazonian freshwater Catfish", Med. Sci. thesis, Loughborough University of Technology, England, cité par BOUJELBEN.
- (12) MAILLARD-MULAK (V) (1990)
"La cuisson sous vide de préparations à base de produits de la mer : aspects microbiologiques", thèse de doctorat.
- (13) MOATS (WA), DABBAH (R), EDWARDS (UM) (1971)
"Interpretation of nonlogarithmic survivor curves of heated bacteria", Journal of Food Science, 36, pp. 523-526, cité par MAILLARD-MULAK.

- (14) PINEL (M) (1985)
"L'optimisation des cuissons, un impératif qualitatif et économique", Filière Viande n° 76, pp. 56-60.
- (15) ROSSET (R), LAMELOISE (P) (1989)
"Conditionnement sous vide : viande, poisson, plats cuisinés", recueil CDIUPA n° 41.
- (16) TJOMB (P) (1990)
"Cuisson sous vide : soft ou hard", RIA n° 441, pp. 30-31
- (17) VALIN (C), LACOURT (A) (1980)
"Étude comparée de différents modes de conditionnement des viandes bovines hachées et réfrigérées", Industries Alimentaires et Agricoles, n° 3, mars 1980, pp. 123-129.