

# 太陽熱을 이용한 牛乳低温處理機開發에 관한 研究 (Ⅱ)

## — 模型製作 및 그 特性分析 —

### Etude D'un Système Pasteurisation de Lait à Energie Solaire (Ⅱ)

#### — Réalisation D'une Maquette et la Caractéristique —

宋 鉉 甲\* · 호베르 듀성\*\*

Song, Hyun Kap · R. Duchamp

### 要 約

먼 거리를 두고 散在된 小規模牧場을 가지고 있으며, 現代化된 牛乳處理工場과 低温貯藏施設이 充分하지 못한 亞熱帶地方에 位置한 發展道上面에서는 牧場에서 牛乳를 收集하여 處理工場까지 먼거리를 輸送하는 동안 많은 量의 牛乳가 腐敗 損失되고 있다. 이를 막기 爲하여 現地牧場의 強度 높은 太陽熱을 利用한 小規模牛乳低温處理機를 開發하여 現地牧場에서 직접 牛乳를 太陽熱로 處理할 目的으로, 本 研究 第Ⅰ報에서는 太陽熱牛乳處理機의 模型製作을 爲한 回路를 構成하고, 그 構成要素를 豫察하였다.

第Ⅱ報에서는 第Ⅰ報의 研究結果를 基礎로 太陽熱牛乳 低温處理機의 模型을 實際로 製作하고 그 特性을 實驗을 通하여 分析하므로써 太陽熱을 利用한 牛乳處理機의 開發可能性與否를 確認하려 하였으며 그 結果는 다음과 같다.

1. 15~25秒間에 牛乳를 78~80℃로 加熱하고 급속히 4℃로 冷却시켜야 하는 牛乳의 低温處理條件을 만족시킬 수 있었다.

2. 太陽熱牛乳處理機의 加熱回路를 爲한 太陽熱集熱器는 시린더型 集光式이 적합하였고, 太陽熱 冷却回路를 爲한 太陽熱冷却裝置에 關하여는 더 많은 研究가 계속되어야 할 것으로 判斷되었다.

## I. Introduction

### — Motivation d'étude

A l'origine de cette étude se trouve un organisme de, développement d'applications techniques qui, de-lait perdues par les éleveurs des pays en voie de développement, a eu l'idée d'un pasteurisateur de lait à énergie solaire.

Les recherches actuelles, dans le domaine de la pasteurisation, visent à accroître les performances des appareils industriels existants. Ces appareils industriels sont conçus pour traiter des quantités importantes de lait et nécessitent l'emploi de nombreux auxiliaires électriques. Dans la gamme des appareils proposés sur le marché, il n'existe pas d'appareil

intermédiaire entre la casserole, appareil rudimentaire, et des appareils sophistiqués traitant 450 l/h. Notre objectif est de combler ce manque en proposant un appareil de technologie simple, autonome et utilisant au maximum l'énergie solaire.

### — But de la pasteurisation du lait

La pasteurisation est un procédé dont le but est non seulement d'augmenter la durée de conservation du lait par réduction de la flore banale, mais aussi de détruire les germes pathogènes pour l'homme en altérant le moins possible les propriétés physiques, chimiques, nutritives et biologiques du lait.

### — Orientation d'étude

Les circuits importants de système pasteurisation

\* 忠北大學校 農大農業機械科

\*\* L'école Nationale Supérieure D'arts et Métiers, Paris

du lait à énergie solaire ont été choisis et composés dans la première partie (I) d'étude d'une système, dans ce deuxième partie (II) on va réaliser le système et faire les essais pour analyser les caractéristiques de pasteurisateur de lait à énergie solaire.

## 2. Réalisation Et Experimentation

### 2.1 Réalisation du système de pasteurisation

Le système de pasturisation a été réalisé dans les dimensions déterminées précédemment en considérant l'énergie solaire comme source d'énergie pour chauffer et refroidir le lait.

- le système réalisé est composé de:
  - le circuit de chaudière
    - capteur solaire cylindro-parabolique:
 
$$A_c = 5\text{m}^2 \quad (\varrho = 1\text{ m}, L = 5\text{ m})$$



Fig. II - 1. Maquette de pasteurisateur du lait réalisée.

- stockage de chaleur:  $V = 60\text{ l}$  ( $D_1 = 360$ ,  $H = 600$ )
- le circuit du lait
  - échangeur I pour préchauffer:  $Q_I = 1.847\text{ kW}$ ,  $S_I = 0.436\text{m}^2$
  - échangeur II pour refroidir:  $Q_{II} = 1.498\text{ kW}$ ,  $S_{II} = 0.54\text{m}^2$

- échangeur chauffant en serpentin place dans le stockage:  $d_1 = 10\text{ mm}$ ,  $\varrho = 6\text{ m}$
- circuit frigorifique:  $P_{fr} = 1.311\text{ kW}$ 
  - évaporateur (échangeur III):  $Q_{III} = 1.742\text{ kW}$
  - moteur-compresseur  $W_{Mthé} = 388\text{ W}$ ,  $W_{Mr} = 1.293\text{ kW}$
  - condenseur:  $i_{co} = 2.13\text{ kW}$
- le système de régulation:
  - un electrovanne à trois voies
  - une vanne thermostatique
- le système de mesure:
  - 11 thermomètres
  - 3 débitmètres

### 2.2 Expérimentation des circuits importants dans le système de pasteurisation du lait

#### 1) Essais d'un capteur solaire cylindro-parabolique

La plupart du temps, les essais d'un capteur solaire consistent à relever la puissance et le rendement en fonction de la température du fluide caloporteur traversant le tube focal du capteur solaire.

#### a) Variables des essais

- le débit du fluide caloporteur est variable de 10 l/h à 100 l/h:
- la température du fluide caloporteur à l'entrée est variable: 20°C, 40°C et 60°C:
- l'intensité de rayonnement solaire est variable sinusoïdale,  $ES = ES_{\text{mas}} \sin \frac{\pi t}{\Delta t}$  ( $ES_{\text{max}}$  est compris entre 600 et 900  $\text{W/m}^2$ ):
- la concentration géométrique est variable 10 et 23 ( $D_e = 14\text{ mm}$ , et  $D_e = 32\text{ mm}$ ).

#### b) Dispositif d'essai en circuit ouvert pour mesurer le rendement du C.S.C.P.

- le dispositif d'essai est installé en circuit ouvert pour relever la puissance et le rendement du C.S.C.P.
- l'installation d'essai est représentée par le schéma suivant:

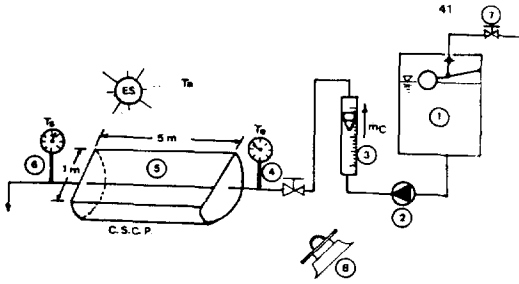


Fig. II - 2. Installation d'essai pour relever la puissance et le rendement du C.S. C.P.

- ① Reservoir de l'eau
- ② Pompe de circulation
- ③ Débit-mètre
- ④ et 6 Thermomètres
- ⑤ C.S.C.P.
- ⑥ Vanne manuelle
- ⑦ Pyranomètre

Le capteur est orienté plein sud et l'angle d'inclinaison par rapport horizontal est de  $43^{\circ} 45'$ . On a exécuté les essais du 17 Août au 17 Septembre 1981 à Paris.

On a mesuré :

- le débit du fluide caloporteur en eau,  $\dot{m}_c$ ;
- les températures à l'entrée et à la sortie du capteur,  $T_e, T_s$ ;
- la température ambiante,  $T_a$ ;
- l'intensité de rayonnement solaire grâce à un solarimètre disposé sur le même plan que le capteur, ES

c) Résultats des essais et discussion

\* Variation de la température du fluide caloporteur du C.S.C.P. en fonction du débit de ce fluide

La température à l'entrée et à la sortie du fluide caloporteur dans le capteur solaire a été mesurée en fonction du débit de ce caloporteur en faisant varier la température à l'entrée pour une journée ensoleillée et sans vent. Les résultats sont donnés sur la figure (II-3).

La température du fluide caloporteur est fonction

inverse de son débit (voir fig. II. 3)

Les températures du fluide caloporteur à la sortie varient comme les températures d'entrée.

Naturellement, la plus grande intensité de rayonnement solaire donné la plus haute température de l'eau à la sortie du capteur solaire. On remarque que la température du fluide caloporteur diminue rapidement jusqu'à un débit de lait égal à 60 l/h. Au delà, la diminution de température devient plus faible. (cf. fig. II.3).

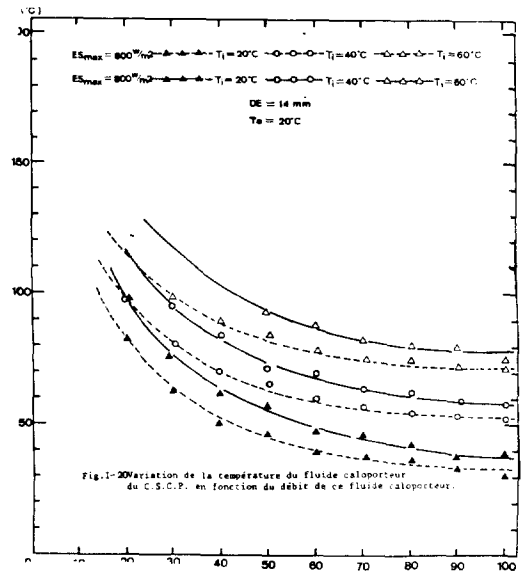


Fig. II - 3. Variation de la température du fluide caloporteur du C.S.C.P. en fonction du débit de ce fluide caloporteur.

\* Variation de rendement du C.S.C.P. en fonction du débit du fluide caloporteur

Le rendement du C.S.C.P. peut être calculé à partir de l'équation suivante:

$$\eta_c = \frac{\dot{q}_u}{ES}$$

Dans laquelle  $\dot{q}_u = \frac{\dot{m}_c \text{ cp } (T_s - T_e)}{A_c}$

donc: 
$$\eta_c = \frac{\dot{m}_c \text{ cp } (T_s - T_e)}{A_c \times ES} \quad (II-1)$$

Les températures  $T_S$ ,  $T_e$  le débit du caloporteur  $\dot{m}_c$  et  $ES$  sont donnés selon les figures (II. 3).

où :

$\eta_c$  : rendement du C.S.C.P. selon les essais

$\dot{q}_u$  : énergie thermique utilisable obtenue par surface unitaire de capteur ( $W/m^2$ )

$\dot{m}_c$  : débit du fluide caloporteur du capteur solaire ( $kg/s$ )

$A_c$  : surface du C.S.C.P. ( $m_2$ ) (dans notre cas  $A_c = 5m^2$ )

$T_S$  : température du fluide caloporteur à la sortie du capteur ( $^{\circ}C$ )

$T_e$  : température du fluide caloporteur à l'entrée ( $^{\circ}C$ )

La variation de rendement du C.S.C.P. peut être calculée selon les valeurs mesurées et représentées sur la fig. (II-4).

Le rendement du C.S.C.P. est une fonction non linéaire du débit de caloporteur et il augmente rapidement jusqu'à un débit de 40 l/h puis la croissance de

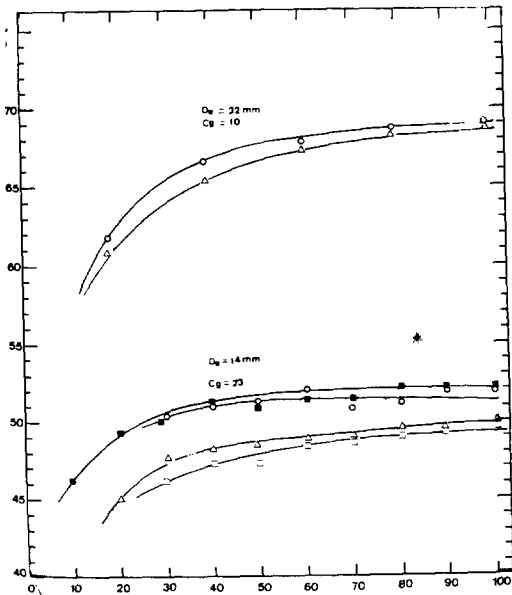


Fig. II - 4. Rendement du C.S.C.P. en fonction de débit du caloporteur, de la température de ce caloporteur à l'entrée et l'intensité de rayonnement solaire.

rendement diminue. On a donc pas d'intérêt à faire circuler le caloporteur très rapidement. Aussi, ce rendement qui est fonction de la valeur de la température d'entrée d'eau dans le capteur solaire décroît rapidement lorsque cette valeur croît (cf. fig. II-4).

\* Variation de rendement du C.S.C.P. en fonction de  $T_m - T_a$

Les pertes du capteur étant sensiblement proportionnelles à la température moyenne du caloporteur, il est recommandé de porter l'évolution du rendement en fonction de l'écart de température ( $T_m - T_a$ ) défini par :

$$T_m - T_a = \frac{T_e + T_S}{2} - T_a$$

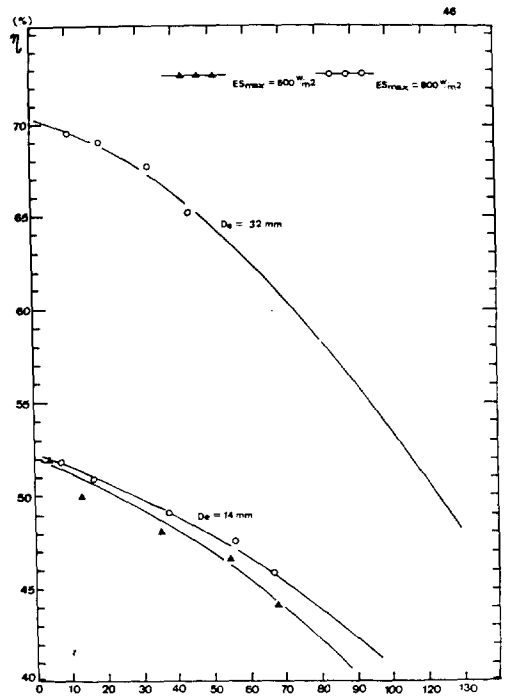


Fig. II - 5. Variation de rendement du C.S.C.P. en fonction de  $(T_m - T_a)$ .

Le rendement du C.S.C.P. diminue non linéairement avec l'augmentation de l'écart de température de ( $T_m - T_a$ ) (voir fig. II-5).

2) Essais du circuit de chaudière

La chaudière à circuit fermé se compose globalement :

- un capteur solaire (C.S.C.P.):
- un ballon de stockage de chaleur:
- un serpentin comme l'échangeur pour chauffer du lait:
- tube reliant le capteur solaire et le ballon de stockage.

Par conséquent, les essais de la chaudière à circuit fermé consistent à mesurer :

- la variation de température du stockage en fonction de l'heure de la journée en suivant  $\frac{ms}{A_c}$  et  $ES_{max}$  en cas de non soutirage.
- l'accumulation de chaleur dans le stockage en fonction de l'heure de la journée en suivant  $\frac{ms}{A_c}$  et  $ES_{max}$  en cas de non soutirage:
- le temps suffisant pour chauffer l'eau dans le ballon de stockage à la température nécessaire:
- la variation de température de l'eau dans le ballon de stockage avant et après le soutirage en fonction de  $\frac{m_{sms}}{A_c}$  et de l'heure de la journée.

a) Variables des essais

- le débit du fluide caloporteur du C.S.C.P. est variable de 10 l/h à 90 l/h;
- la masse d'eau dans le stockage est variable de 30 l à 60 l ou kg:
- l'intensité de rayonnement solaire est variable, sinusoïdale,  $ES = ES_{max} \sin \pi t$  ( $ES_{max}$  est variable de 600 W/m<sup>2</sup> à 900 W/m<sup>2</sup>):
- la durée du travail, continue de 7 h à 17 h en heure solaire vraie:
- le débit du lait à chauffer est variable de 30 l/h à 70 l/h.

b) Dispositif d'essai du circuit de chaudière

Le dispositif d'essai du circuit de chaudière a été installé en circuit fermé pour mesurer la variation de la température d'eau et l'accumulation de chaleur dans

le stockage sous les conditions données par les variables d'essais.

L'installation d'essai est représentée par le schéma suivante.

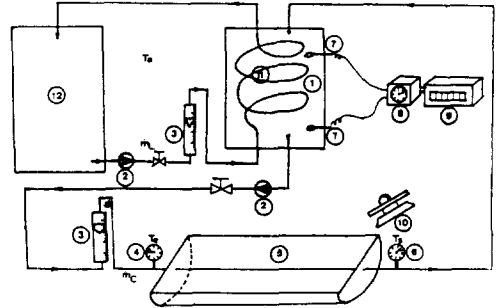


Fig. II - 6. Installation d'essai du circuit de chaudière

où :

- ① ballon de stockage de chaleur
- ② pompes de circulation du fluide caloporteur et du lait
- ③ débit mètres
- ④ thermomètre à l'entrée du C.S.C.P.
- ⑤ C.S.C.P.
- ⑥ thermomètre à la sortie du C.S.C.P.
- ⑦ sonde de température
- ⑧ commutateur de voie de mesure (digitron type K en 12 voies)
- ⑨ affichage de la température (digitron modèle 275 I-K)
- ⑩ pyranomètre (pour mesurer l'intensité de rayonnement solaire)
- ⑪ serpentin échangeur placé dans le ballon de stockage
- ⑫ circuit de lait

On a mesuré :

- le débit du fluide caloporteur en eau:  $\dot{m}_c$ ;
- le débit du lait:  $\dot{m}_L$ ;
- les températures à l'entrée et à la sortie du capteur solaire:  $T_e, T_S$ ;
- les températures de l'eau dans le stockage en haut et en bas;

- la température ambiante:  $T_a$ ;
- l'intensité de rayonnement solaire avec le solarimètre disposé sur le même plan que le capteur: ES (voir fig. II.5).

c) Résultats des essais et discussion

\* Variation de la température de l'eau de stockage en cas de non soutirage

Le ballon de stockage a été chauffé par C.S.C.P. et la variation de température du stockage a été mesurée en suivant l'heure solaire vraie de la journée.

La surface du C.S.C.P. était  $A_c = 5m^2$  et le rapport damasse d'eau de stockage  $m_s$  et de la surface du C.S.C.P.  $A_c$  était  $\frac{m_s}{A_c} = 10$ .

L'augmentation de la température de l'eau de stockage n'était pas une fonction linéaire de l'heure de la journée. Jusqu'à 10 heures du matin elle était très faible puis l'augmentation était de plus en plus rapide jusqu'à midi. Afin d'obtenir la température nécessaire du stockage ( $83^\circ C$  à  $95^\circ C$ ) pour pasteuriser du lait, il était nécessaire d'attendre jusqu'à midi (voir fig. II-7).

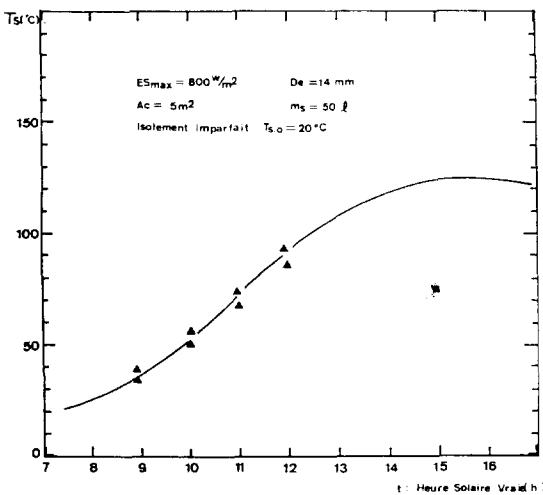


Fig. II - 7. Variation de temperature de l'eau la dans le stockage en fonction de l'heure solaire vraie en cas de sans - soutirage.

\* Accumulation de chaleur dans le stockage en fonction de l'heure de la journée

L'eau réchauffée dans le capteur solaire est dirigée vers un ballon de stockage et l'on suppose souvent que sa température y est uniforme, ce qui est vrai pour de petits volumes. Dans notre cas le volume de stockage (50 à 60l) est suffisamment petit pour faire cette approximation.

On a mesuré la température de l'eau de stockage jusqu'à midi (12 h en heure solaire vraie) pour rendre compte de l'accumulation de la chaleur dans le ballon de stockage.

Le phénomène d'accumulation de chaleur dans le ballon de stockage n'était pas une fonction linéaire de l'intensité du rayonnement solaire (voir fig. II-8).

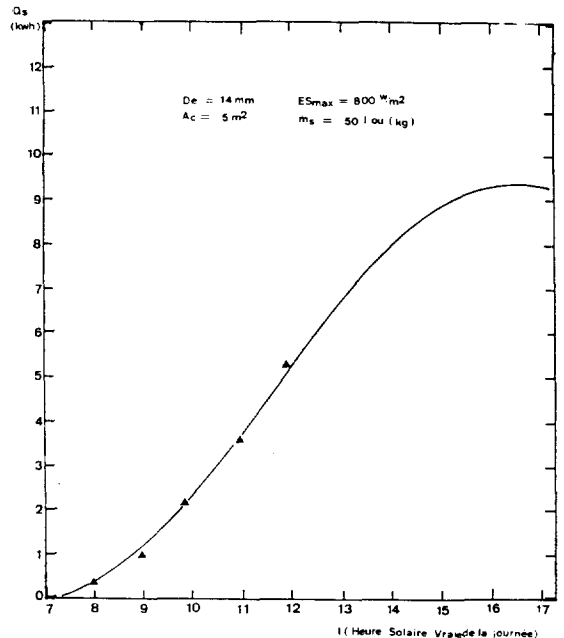


Fig. II - 8. Accumulation de chaleur dans le stockage en fonction de l'heure de la journée en cas de sans - soutirage.

\* Variation de la température de l'eau dans le ballon de sotckage avant et après le soutirage

On a déjà étudié la variation de température du stockage sans soutirage (voir fig. II-7).

Ici, on a mesuré la température de l'eau de stockage en utilisant la chaleur accumulée dans le stockage pour échauffer du lait (60 l/hr), à ce moment le capteur solaire a continué à fournir la chaleur au stockage.

Avec les résultats d'essais, on a trouvé que la température du stockage a diminué rapidement après 14 h et demi de la journée, cependant la décroissance de température a été faible de 13 h à 14 h et demi, puisque à ce moment l'intensité du rayonnement est encore importante.

On peut dire que après 14 h et demi, le débit de lait doit être diminué en fonction de l'intensité de rayonnement solaire (voir fig. II-9).

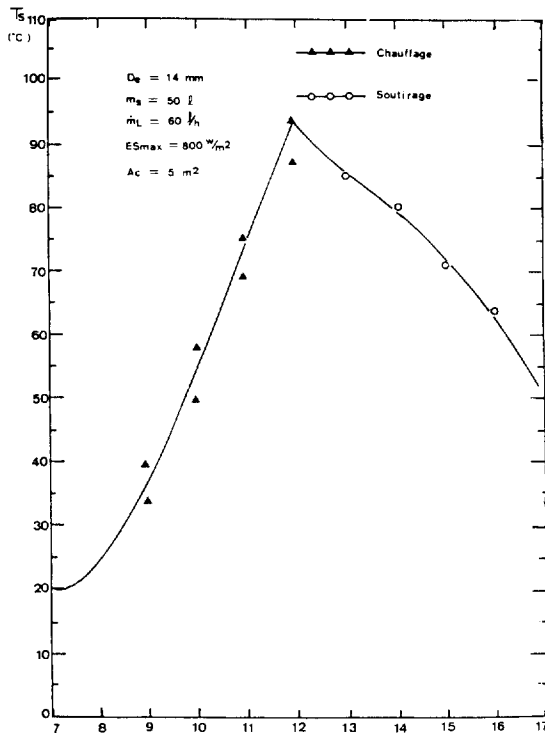


Fig. II - 9. Variation de température de l'eau dans le ballon de stockage avant et après le soutirage en fonction de l'heure de journée.

### 3) Essais du circuit de pasteurisation du lait

Le circuit de pasteurisation de lait se comprend :

- d'un réservoir de lait :
- d'une pompe de circulation :
- d'un échangeur I pour préchauffer et prérefroidir simultanément ;
- d'un serpentin comme échangeur placé dans le ballon de chaleur ;

- d'un chambreur pour maintenir le lait chauffé à 78°C pendant quelques secondes ;
- de l'échangeur II pour prérefroidir ;
- de l'échangeur III (évaporateur) pour refroidir jusqu'à 5°C.

En passant dans le circuit de pasteurisation, la température du lait varie en six étapes.

Donc les essais du circuit de pasteurisation de lait consistent à mesurer en fonction du temps la variation de température du lait dans chacun des composants du circuit.

#### a) Variable des essais

Le débit de lait est variable de 31.5 l/h à 70 l/h.

#### b) Dispositif d'essai du circuit du lait

Neuf sondes de températures en platine sont installées dans le circuit pour mesurer la variation de température du lait.

L'installation d'essai est représentée par la figure II.10.

#### c) Résultats des essais

##### \* Variation de température du lait dans le circuit de pasteurisation

Les calculs ont donné des valeurs pour les températures et les puissances d'échangeur. Pour comparer la théorie et l'expérience, on a mesuré la température aux entrées-sorties de chaque échangeur (fig. II.10).

Les résultats des essais sont sur la figure II.11, on remarque que la théorie et l'expérience concordent presque pour un débit de lait égal à 60 l/h (fig. II.11).

Au niveau de la puissance thermique échangée, les échangeurs I et II permettent d'économiser respectivement 1.53 et 1.39 kW.

### 3. Conclusion

La crise pétrolière de 1974 a entraîné dans les pays industrialisés des recherches sur l'exploitation de l'énergie solaire pour diminuer leur dépendance pétrolière.

Ces recherches sont également favorables aux pays en voie de développement qui sont très bien ensoleillés.

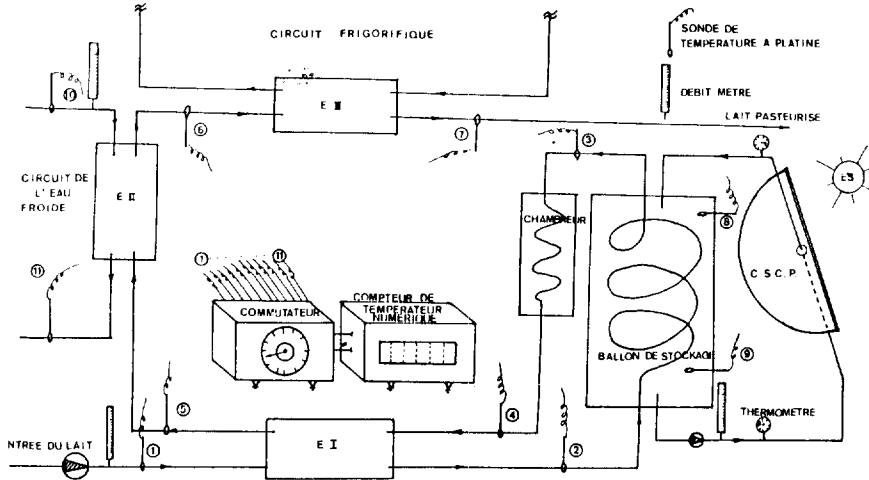


Fig. II - 10. Installation d'essai pour mesurer la variation de température du lait dans le circuit de pasteurisation du lait.

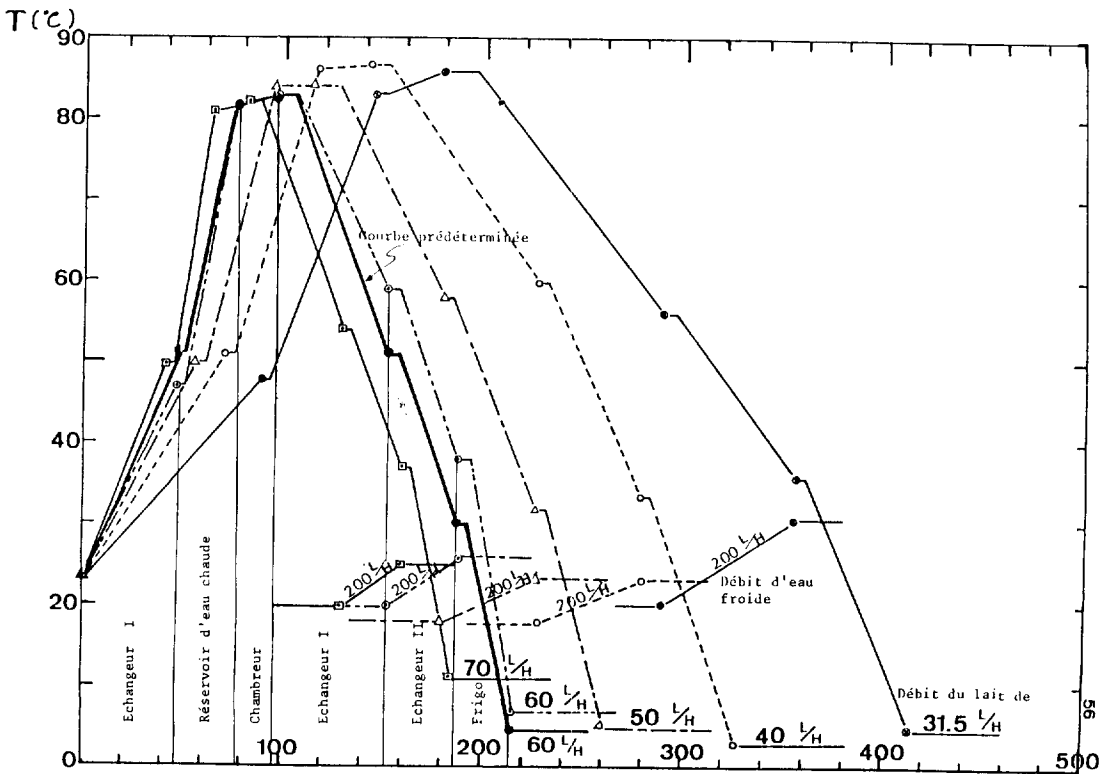


Fig. II - 11. Courbes de la température en fonction du temps et du débit de lait.



Les résultats de l'étude sur la réalisation d'une maquette et l'expérimentation des circuits importants dans les systèmes de Pasteurisation du lait à énergie solaire se resument ainsi;

- 1) le rendement du C.S.C.P. est une fonction non linéaire du débit du fluide caloporteur et augmente rapidement jusqu'à un débit de 40 l/h, puis la croissance de rendement diminue. On n'a donc pas intérêt à faire circuler le caloporteur très rapidement.
- 2) le rendement aussi diminue non linéairement avec augmentation de l'écart de température de  $(T_m - T_a)$ .
- 3) le ballon de stockage a été chauffé par le C.S.C.P., l'augmentation de température de l'eau de stockage n'était pas fonction linéaire de l'heure de la journée. Afin d'obtenir la température nécessaire dans le stockage (83°C à 95°C) pour pasteuriser du lait, il était nécessaire d'attendre jusqu'à midi.
- 4) le phénomène d'accumulation de chaleur dans le ballon de stockage n'était pas fonction linéaire de l'intensité du rayonnement solaire.
- 5) en soutirant de la chaleur pour chauffer le lait, la température du stockage a diminué rapidement après 14 h 30 de la journée. Cependant, la décroissance de température a été faible de 13 h à 14 h 30, car l'intensité rayonnement est encore importante.
- 6) au niveau de la puissance thermique échangée, les échangeurs I et II permettent d'économiser respectivement 1.53 et 1.39 kW.
- 7) les variations de température théoriques et expérimentales du lait dans le circuit de

pasteurisation concordent pour un débit de 60 l/h.

### Bibliographe

1. HARPER W.J. and HALL C.W. 1977. Dairy technology and engineering; physical, chemical biological changes in food caused by thermal processing Tore Høyen and Oskar Kuale, Applied Science Pub. Lim., London
2. ITTNER W.B. 1980. An array of directable mirrors as a photovoltaic solar concentrator. Solar Energy, Vol. 24, pp.221-234.
3. LALANDE M., CORRIEU G. et TISSIER J.P. 1979. Etude du comportement d'un échangeur à plaques vicarb utilisé pour la pasteurisation du lait le revue générale des questions laitières, T. LIX n° 581-582.
4. LONCIN M. 1976. Génie Industriel Alimentaire, aspects fondamentaux, Ed. Masson, Paris.
5. MASSA GARIDI, 1979. PFE ENSAM, Cycle thermodynamique solaire
6. PANDEY M.M. et GUPTA C.P. 1979. Pasteurisation of milk by solar energy CNRS paris pp2167-2170.
7. REY R. 1980. Conversion d'énergie DEA Génie Mécanique ENSAM Paris PP.87-169.
8. ROBBINS R.L. 1976. Law and solar energy systems: Legal impediments and inducements to solar energy systems. Solar Energy vol. 18, pp371-379.
9. TROSSAT D. 1980. These ingénieur Arts et Métiers Réalisation et étude des caractéristiques d'un appareil de stérilisation de type VHT à injection dirigée de vapeur
10. VEISSEYRE R. 1966. Techniques laitières La maison rustique Paris