

**MODELISATION SUR ORDINATEUR D'UN SYSTÈME
DE DISTILLATION**

par

F. ROCARIES, P. GRANIER, B. N'DOYE

**Laboratoire de Thermodynamique et Énergétique
Centre Universitaire de Perpignan, Perpinyà, France**

RÉSUMÉ

On étudie l'efficacité globale du distillateur en fonction du débit de l'eau d'alimentation au moyen d'une modélisation sur ordinateur.

RESUM

Hom estudia l'eficàcia global d'un destil·lador en funció del cabal d'aigua d'alimentació, per mitjà d'una modelació en l'ordinador.

SUMMARY

Computer modelisation of the overall efficiency of a distillator is presented. The most influencing parameters are taken into account.

A l'heure actuelle l'étude pratique des distillateurs solaires se résume à des expériences isolées sur des types de distillateurs très particuliers et dans des conditions d'expériences souvent fort éloignées les unes des autres. On peut ainsi difficilement, à l'heure actuelle, déterminer «à priori» pour un environnement météorologique donné le type de distillateur solaire le plus performant. Le but de notre programme est de modéliser les différents types de distillateurs actuellement existant sur le marché et d'essayer d'établir entre eux des comparaisons valables.

On peut raisonnablement admettre que les distillateurs modélisés de façon identique et bénéficiant des mêmes «conditions d'expériences» seront ainsi plus faciles à départager. Il est en effet possible grâce à l'ordinateur d'établir pour chaque type de distillateur des courbes de rendement dépendant des diverses géométries envisageables ainsi que de conditions atmosphériques aussi variées que l'on voudra. Le travail présenté ici avait pour but initial la modélisation d'un distillateur à ruissellement. Comme vous le verrez au cours de l'exposé, le passage de ce type de distillateurs aux distillateurs statiques, classiques ou à marches, se fait sans difficulté.

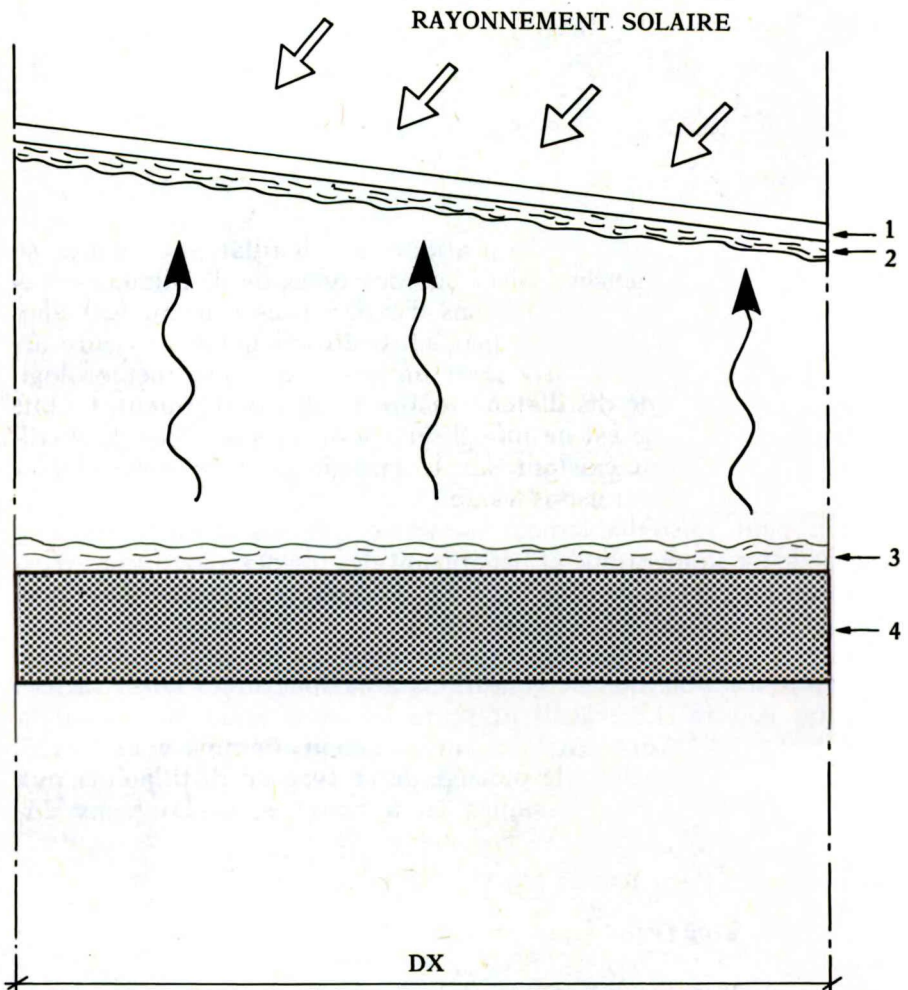
EXAMEN DU MODÈLE

Comme le montre la figure 1 le distillateur est décomposé en tranches de longueur DX et de largeur égale à la largeur totale du distillateur. (Les effets de bords étant par là même considérés comme négligeables.)

Le problème se présente donc comme unidimensionnel.

— Le rayonnement incident est représenté par deux composantes:

- a) le rayonnement direct dont nous connaissons à tout instant la direction et le module;
- b) le rayonnement diffus qui sera considéré comme un ra-



1.	Couverture
2.	Film de condensation
3.	Film de ruissellement
4.	Corps noir et isolant

FIGURE 1

yonnement de module connu et de direction invariante quelle que soit l'orientation de la surface. Cette direction est prise égale à 60° par rapport à la normale à la surface.

Le distillateur est schématisé comme suit:

- a) une couverture transparente dont on donne les principales caractéristiques optiques et faisant avec l'horizontale un angle β_c connu.
- b) le film de condensation. Nous supposons que le condensat se présente sous la forme d'un film d'épaisseur continuellement variable. (Cela implique que la couverture présente une mouillabilité et une pente suffisantes).
- c) une enceinte dont on connaîtra la loi de variation de la hauteur moyenne d'une tranche.
- d) une lame d'eau salée ruisselante ou statique et dont on connaîtra l'épaisseur par le calcul.
- e) enfin un socle composé d'un plan noir dont on se donne le coefficient moyen d'absorption, et d'une isolation quelconque: le tout étant posé, ou non, à même le sol.

Dans le cas d'un distillateur statique, le plan noir est horizontal et l'on se donne la quantité d'eau à distiller introduite. Dans le cas d'un distillateur à ruissellement, on connaît la pente du plan noir ainsi que le débit imposé.

DIFFERENTS TYPES DE DISTILLATEURS MODELISÉS

Nous pouvons subdiviser les deux grands types de distillateurs en plusieurs sous-catégories très intéressantes.

Distillateurs statiques:

- classiques: la hauteur moyenne de la tranche est continuellement variable;
- à marches: la hauteur moyenne de l'enceinte est constante;

Distillateurs à ruissellement (figure 2):

- Les distillateurs à co-courant où saumure et distillat coulent dans le même sens.

DISTILLATEURS À RUISSELLEMENT

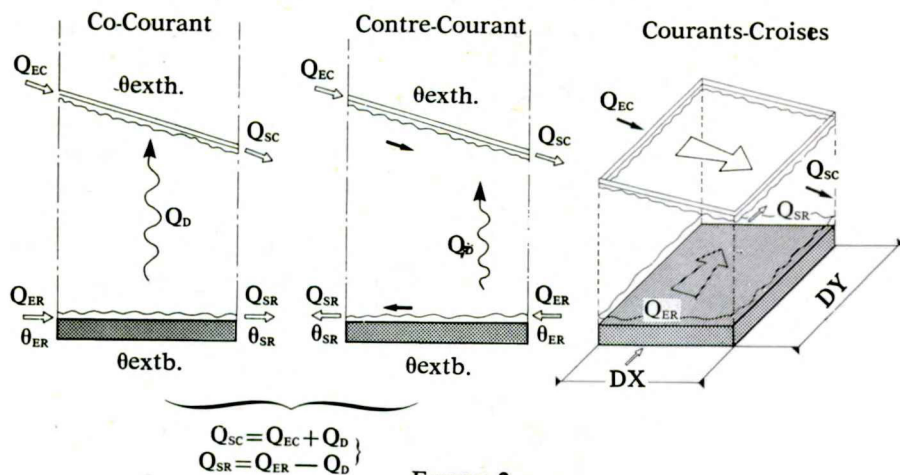


FIGURE 2

— Les distillateurs à contre-courant où saumure et distillat coulent en sens inverse.

— Les distillateurs à courants croisés. Ce dernier cas a la particularité de se présenter comme un problème bidimensionnel, ce qui complique énormément le découpage en tranches.

Il n'est soluble que dans des configurations géométriques très particulières qui tendent à le ramener à nos modèles unidimensionnels. Dans un premier temps, nous n'avons pas programmé ce problème.

ÉTUDE DU SCHÉMA ÉLECTRIQUE ÉQUIVALENT À LA TRANCHE D'UN DISTILLATEUR

Le schéma électrique représenté à la figure 3 simule en fait le système thermique que constitue notre tranche de distillateur. C'est à partir de ce modèle que sont calculées les températures intermédiaires des différents milieux. Le but poursuivi dans ces calculs est essentiellement la connaissance du taux d'évaporation, ou plus précisément du débit d'eau migrant de la surface d'évaporation vers la surface de condensation, ainsi que la connaissance de la température moyenne de fluide ruisselant à la sortie de la « tranche », cela à partir de paramètres d'entrée tels la puissance solaire effective-

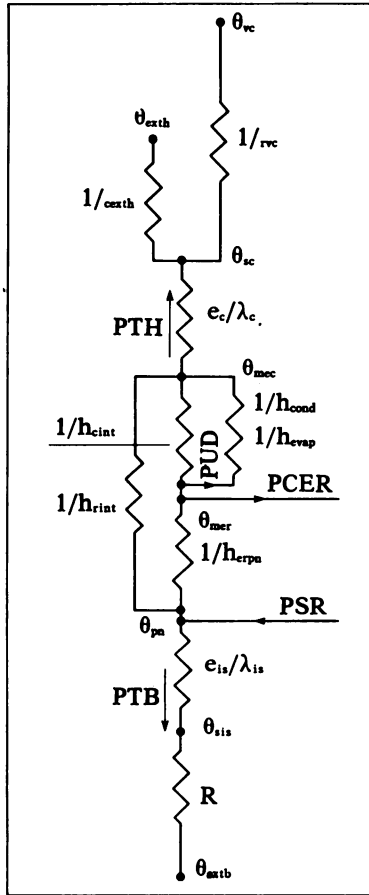


FIGURE 3. Schéma électrique équivalent du bilan thermique d'une tranche de distillateur (modèle unidimensionnel).

NOMENCLATURE DES VARIABLES DE LA FIGURE 3

- e_c : épaisseur de la couverture
- e_{is} : épaisseur de l'isolation
- h_{cexth} : coefficient de transfert thermique par convection forcée couverture-air ambiant (vent)
- h_{cint} : coefficient de transfert thermique par convection naturelle dans l'enceinte
- h_{cond} : coefficient de transfert thermique par condensation
- h_{cvpn} : coefficient de transfert thermique par convection (forcée ou naturelle) eau-plan noir
- h_{cvap} : coefficient de transfert thermique par évaporation
- h_{rint} : coefficient de transfert thermique par rayonnement dans l'enceinte
- h_{rvc} : coefficient de transfert thermique par rayonnement vers la voûte céleste
- PCER: puissance cédée à l'eau de ruissellement (chaleur sensible)
- PUD: puissance utile de distillation
- PSR: puissance solaire effectivement reçue par le plan noir
- PTB: pertes thermiques vers le bas
- PTH: pertes thermiques vers le haut
- R: résistance thermique isolation-milieu extérieur (résistance de contact, de convection et/ou de rayonnement)

Lettres grecques:

θ_{extb} : température extérieure inférieure
 θ_{exts} : température extérieure supérieure
 θ_{moe} : température moyenne de l'eau de condensation
 θ_{mei} : température moyenne de l'eau de ruissellement
 θ_{pn} : température de la surface du plan noir
 θ_{sc} : température de la surface externe de la couverture
 θ_{si} : température de la surface externe de l'isolation
 θ_{vc} : température équivalente de la voûte céleste
 λ_c : coefficient de conductivité thermique de la couverture
 λ_{is} : coefficient de conductivité thermique de l'isolation

ment absorbée par le plan noir, la température d'entrée de l'eau à distiller, le débit de ruissellement et enfin les conditions aux limites (températures de la voûte céleste et du sol, par exemple).

Les potentiels électriques sont analogues aux températures, les intensités à des flux de chaleur par unité de surface, les résistances électriques étant équivalentes aux résistances thermiques. La commodité de cette analogie se traduit par le fait qu'il est possible d'affiner le modèle par simple modification ou adjonction de résistances, sans pour cela changer quoi que ce soit au programme principal puisque nous avons réalisé cette analogie thermique dans un sous-programme original appelé TRANCH. La plupart des résistances internes vont dépendre des potentiels aux bancs (convection, rayonnement, condensation, évaporation). Il va donc falloir atteindre ces valeurs par un processus itératif qui n'est réalisable que grâce à l'utilisation de l'ordinateur (figure 4).

TRANSMISSION DE LA PUISSANCE SOLAIRE

La partie de la puissance solaire incidente recueillie sur le corps noir est calculée par un programme spécifique appelé HABS. C'est une simple application des lois de FRESNEL (optique géométrique) au système optique constitué par les trois milieux semi-transparents que sont la couverture, l'eau, et l'air. Il existe des programmes beaucoup plus précis utilisant pour réaliser ces calculs des méthodes probabilistiques (méthode de Monte-Carlo) mais ces programmes exigent une connaissance parfaite des propriétés radiatives des milieux traversés. De plus, leur précision nous semble superflue devant les hypothèses simplificatrices que nous avons été amenés à faire pour mener à bien les autres calculs.

Expression des divers coefficients d'échange thermique

1. Coefficients d'échange thermique par rayonnement

$$h_r = f_1 (\epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \theta_1 \theta_2) = \sigma \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} (\theta_1^2 + \theta_2^2) (\theta_1 + \theta_2)$$

2. Coefficient d'échange thermique extérieur par convection forcée (vent)

$$h_{c1} = f_2 (V) \alpha V + \beta \quad \begin{array}{l} \alpha = 3,8 \\ \beta = 5,7 \end{array}$$

3. Coefficient d'échange thermique intérieur par convection naturelle

$$h_{c2} = f_3 (\theta_1, \theta_2, d, s) = A \frac{(\Delta T)^B}{(100d)^C} \Theta \cdot \Sigma \quad \begin{array}{l} A = 114 \\ B = 0,310 \\ C = 0,07 \\ \Delta T = \theta_1 - \theta_2 \\ \Theta = 1 - 0,0018 \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - 283 \end{array}$$

$$\Sigma = 1 - 0,017 \frac{s - 45}{90}$$

4. Coefficient d'échange thermique par condensation

$$h_{cond} = f_4 (\theta_1, \theta_2, d) \frac{A v_c R_c^B \lambda_m}{d} \quad \begin{array}{l} A = 0,00516 \\ B = 0,6 \\ R_c = G_{r_c} \cdot P_{r_c} \end{array}$$

5. Coefficient d'échange thermique par évaporation

$$h_{evap} = f_5 (\theta, \theta_2, d) \frac{A' v_c R_c^{B'} \lambda_m}{d} \quad \begin{array}{l} A' = 2,77 \\ B' = 0,34 \\ R_c = G_{r_c} \cdot P_{r_c} \end{array}$$

6. Coefficient d'échange thermique par convection forcée entre plan noir et film d'eau de ruissellement

$$h_{rpa} = f_6 (\theta_1, \theta_2, \bar{U}) = \frac{A \cdot R_{rpa}^B P_{r_c}^C \lambda_e}{D} \quad \begin{array}{l} A = 0,664 \\ B = 0,5 \\ C = 0,33 \end{array}$$

FIGURE 4

EXAMEN DE L'ORGANIGRAMME (figure 5)

La structure de notre programme est des plus simples. Il ne comporte en effet que deux boucles imbriquées.

1.° La première boucle, qui est une boucle temporelle, représente l'écoulement d'une journée. Nous avons arbitrairement choisi de faire débiter le jour au lever du soleil. Dans un premier temps la fin de cette boucle est la tombée de la nuit, mais nous avons prévu d'étudier le cas de la distillation nocturne par la restitution des calories contenues dans le socle.

2.° Une boucle d'espace qui va nous permettre de suivre l'écoulement du condensat sur toute la longueur du distillateur, et cela par pas de longueur DX.

Examinons maintenant le fonctionnement de notre programme. Dans la première tranche, nous connaissons la température d'entrée de l'eau ainsi que le flux solaire utile. Nous pouvons donc donner une première évaluation de la température de l'eau. A partir de cette première évaluation, nous pouvons calculer les autres températures intermédiaires jusqu'aux limites qui elles sont connues, et nous retournons ensuite à la température de l'eau de ruissellement. Si cette température est égale ou très proche de la première évaluation, nous arrêtons notre calcul ; sinon, nous réitérons. Pour la tranche suivante, nous pourrions calculer la température d'entrée et nous recommencerons jusqu'à l'extrémité du distillateur. Puis nous refaisons une nouvelle boucle de temps.

En fin de journée, l'ordinateur a stocké la quantité totale d'eau distillée, la puissance nécessaire à cette fin, la puissance incidente sur le distillateur, et la puissance absorbée réellement par le corps noir. On peut en tirer alors les rendements qui nous intéressent. Soient l'efficacité interne moyenne, qui est le quotient de l'énergie nécessaire à la distillation par l'énergie ayant réellement atteint le corps noir, et l'efficacité globale moyenne, qui est, elle, le quotient de l'énergie nécessaire à la distillation à l'énergie solaire incidente. En comparant ces deux valeurs on peut d'ailleurs atteindre le rendement optique de notre système.

Nous sortons aussi la quantité d'eau effectivement distillée par m^2/jour .

A ce propos, et pour conclure, il conviendrait de faire une remarque qui a son importance. En effet, si pour un distillateur statique la notion de surface est primordiale, il n'en est rien pour un distillateur à ruissellement. Dans le cas d'un distillateur à ruissellement, c'est la distance parcourue par l'eau qui devient essentielle.

ORGANIGRAMME GÉNÉRAL

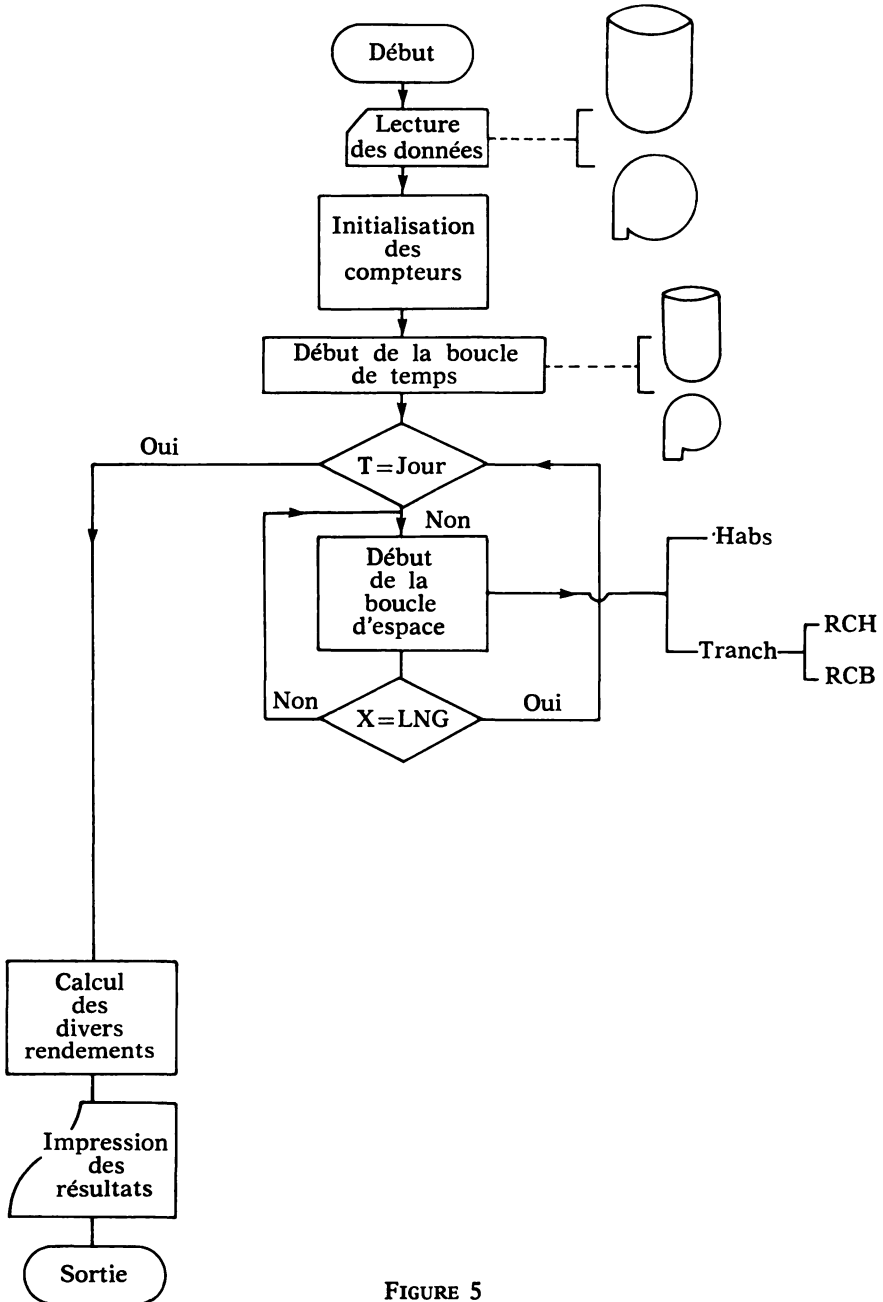


FIGURE 5

Ainsi, on peut très bien concevoir deux distillateurs à ruissellement, de même surface de même inclinaison, mais de longueurs d'écoulement différentes, et on s'aperçoit que le plus long est le loin le plus efficace. Il conviendrait donc de définir une quantité d'eau distillée par mètre linéaire pour les distillateurs à ruissellement.