



HAL
open science

Pompe à absorption à hydrures et cycle à vapeur

B. Laurent

► **To cite this version:**

B. Laurent. Pompe à absorption à hydrures et cycle à vapeur. *Revue de Physique Appliquée*, 1980, 15 (3), pp.417-422. 10.1051/rphysap:01980001503041700 . jpa-00244747

HAL Id: jpa-00244747

<https://hal.science/jpa-00244747>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification

Physics Abstracts

51.30 — 61.55F — 64.90 — 82.60 — 44.50 — 44.60 — 44.90

Pompe à absorption à hydrures et cycle à vapeur

B. Laurent

Ingénieur ECP 78, E.I.E.R., BP 7023, Ouagadougou, Haute-Volta

(Reçu le 19 septembre 1979, révisé le 19 novembre 1979, accepté le 19 novembre 1979)

Résumé. — Une pompe à absorption est envisagée pour améliorer le rendement d'un cycle à vapeur en recyclant un soutirage. Ce recyclage consiste à condenser le soutirage, en récupérant la chaleur, avant de le réchauffer et de le vaporiser. Le niveau de température considéré nécessite l'utilisation d'un nouveau type de pompe à absorption. Un couple d'hydrures est envisagé pour résoudre le problème. Un schéma de principe est donné afin de montrer la faisabilité théorique d'un tel système en marche continue, en particulier en association avec le cycle Themis.

L'importance du domaine d'application (tous les cycles à vapeur) est telle que des études approfondies sur les propriétés des hydrures et le principe évoqué ici paraissent nécessaires.

Abstract. — A bleeding-off steam recycling absorption pump is considered in order to push up a steam cycle performance. This recycling is reached by recuperating the heat of the condensated bleeding-off steam before heating it up and vaporizing it. A new type of absorption pump is needed to obtain the necessary temperature level. A hydrid couple is considered to this end. A general sketch is given in order to demonstrate the theoretical feasibility of such a system running uninterruptedly in particular when coupled with the Themis cycle.

The importance of the practical field (for all steam cycles) is such that in depth studies of the hydrid properties and of the principle stipulated seem to be necessary.

Introduction. — D'après le principe de Carnot, les températures haute et basse d'un cycle déterminent son rendement thermodynamique maximum ; la source froide disponible étant fixée, on a intérêt à augmenter au maximum la température haute. Les cycles actuels des centrales électriques à vapeur d'eau sont limités technologiquement à 540 °C, alors que des sources sont à des températures plus importantes. Afin d'utiliser ces sources chaudes de façon la plus réversible possible, Monsieur Pacault et Monsieur Cerdan ont eu l'idée d'adjoindre en tête de cycle une pompe à absorption.

Ce système permet d'augmenter le rendement d'un cycle tout en conservant la vapeur d'eau comme fluide de travail, sans modifier la conception du cycle (sinon le débit d'un soutirage) ni introduire de machines tournantes.

Il apparaît aujourd'hui que, grâce à l'utilisation d'hydrures, une telle machine à absorption pourrait exister dans le domaine de température considéré.

Le domaine de l'énergie solaire apparaissant comme un bon champ d'essais pour une innovation technique de ce type, nous adopterons comme cycle de base celui de la centrale solaire Themis pour montrer

l'utilité et le principe de fonctionnement d'une machine à absorption à hydrures.

1. Principe d'une pompe à absorption classique. —

Une machine à absorption permet d'extraire une quantité de chaleur Q_2 à une source froide de façon statique, c'est-à-dire sans machine tournante, grâce à une source chaude T_1 qui fournit Q_1 . Elle rejette la chaleur à deux niveaux de température (T_2 et T_3) qui sont souvent identiques.

Le principe est analogue à celui d'un réfrigérateur. L'évaporation à basse pression (donc basse température) permet d'extraire des calories à la source froide. La condensation à plus haute pression permet de rejeter des calories à un niveau de température plus élevé.

La différence de pression, habituellement fournie par un compresseur électrique, est obtenue par un solvant qui absorbe le gaz à basse pression et qui le rejette (*désorbe*), après chauffage, à haute pression.

L'exemple le plus courant est celui de l'ammoniac qui se dissout très facilement dans l'eau (à 15 °C, 1 volume d'eau dissout 700 volumes d'ammoniac).

On peut décomposer une machine à absorption à ammoniac en 4 éléments.

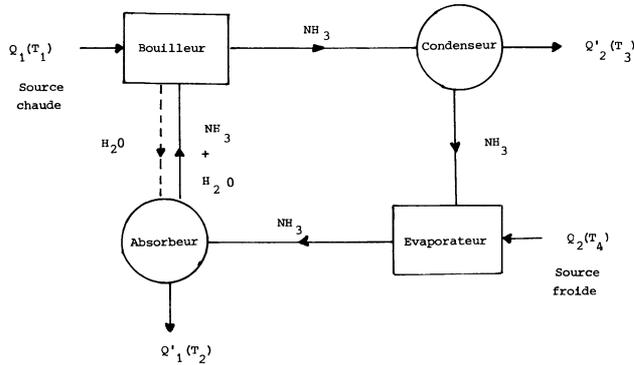


Fig. 1. — Schéma d'une pompe à absorption ammoniac-eau.

On constate que l'ensemble bouilleur-absorbeur remplace le compresseur d'une pompe à chaleur classique; le travail fourni par la chaleur entre T_1 et T_2 est utilisé pour remonter le niveau de température de T_4 à T_3 .

On symbolisera une pompe à absorption par le schéma :

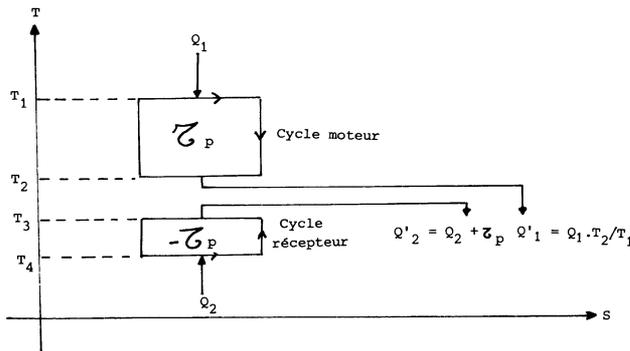


Fig. 2. — Le travail τ_p fourni par la chaleur Q_1 entre T_1 et T_2 avec un rendement ρ_1 ($\tau_p = \rho_1(1 - T_2/T_1) \cdot Q_1$) sert à remonter Q_2 du niveau T_4 à T_3 .

2. Application à l'amélioration d'un cycle à vapeur.

— Les pompes à absorption actuelles ont de multiples applications concentrées généralement dans le domaine des basses températures (réfrigération, climatisation). Nous allons étudier ici une nouvelle voie dans le domaine des moyennes températures par l'adaptation d'une pompe à un cycle à vapeur.

Dans un cycle à vapeur, à partir d'un certain point de la détente dans la turbine, on a intérêt thermodynamiquement à utiliser l'énergie thermique d'une fraction de cette vapeur plutôt que de poursuivre sa détente pour la convertir en énergie mécanique. C'est le principe du soutirage de vapeur qui améliore le rendement global. En général cette énergie thermique sert à réchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. Une autre utilisation possible consiste à réchauffer cette vapeur soutirée à l'aide d'une pompe

à chaleur pour la réinjecter dans la turbine. Ainsi on améliore le rendement global car le coefficient de récupération d'une pompe à chaleur est supérieur à 1. Nous envisageons ici une pompe à chaleur à absorption afin d'utiliser une source chaude disponible T_1 et non pas de l'énergie électrique qui alimenterait un compresseur (délicat à ces températures de l'ordre de 500 °C en général).

Si l'on se réfère aux figures 1 et 2, la quantité de chaleur Q_2 représente maintenant le soutirage de vapeur extrait de la turbine à T_4 . Ce soutirage, en se condensant, cède de la chaleur à l'évaporateur de la pompe à absorption. L'eau ainsi obtenue passe dans le condenseur de la pompe où elle est réchauffée jusqu'à T_3 et éventuellement vaporisée.

L'absorbant joue, lui, le rôle de source chaude pour l'eau d'alimentation.

A priori les températures T_1, T_2, T_3, T_4 sont des paramètres libres qui conditionnent le choix de l'absorbant.

Pour simplifier la présentation, nous allons nous placer dans le cas particulier où :

- le condenseur de la pompe échauffe et vaporise complètement le soutirage condensé à la pression de vaporisation du cycle de base,
- l'absorbant vaporise complètement l'eau d'alimentation. Ceci implique :

$$T_2 = T_3 = T_{\text{palier de vaporisation}}$$

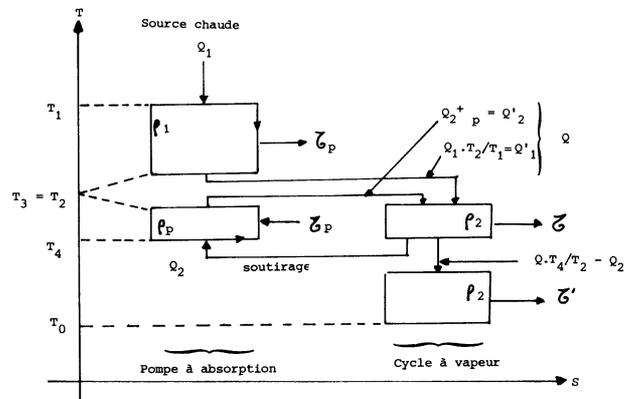


Fig. 3. — Schéma d'une machine à absorption associée à une turbine à vapeur.

Le rendement global est donné par :

$$\eta = \frac{\text{Travail total obtenu}}{\text{Qté de chaleur fournie}} = \frac{\tau + \tau'}{Q_1}$$

Si l'on admet, en première approximation, que le rendement de la turbine est le même entre T_2 et T_0 (température basse du cycle), le calcul montre que ce rendement ne dépend pas de T_4 . T_4 ne sera donc pas une contrainte dans le choix de l'absorbant.

Quant à T_1 , c'est la température de la source chaude à notre disposition qui la fixera et qui orientera le choix de la pompe à absorption.

Application à Themis. — a) La centrale solaire Themis est du type centrale à tour. La chaudière est donc située au haut d'une tour où se concentrent les rayons réfléchis par 350 héliostats. Dans ce récepteur solaire s'échauffent des sels fondus qui, après stockage, permettent de générer de la vapeur à 410 °C sous 50 bars dans un turboalternateur.

Le cycle initial de la centrale Themis a les caractéristiques suivantes :

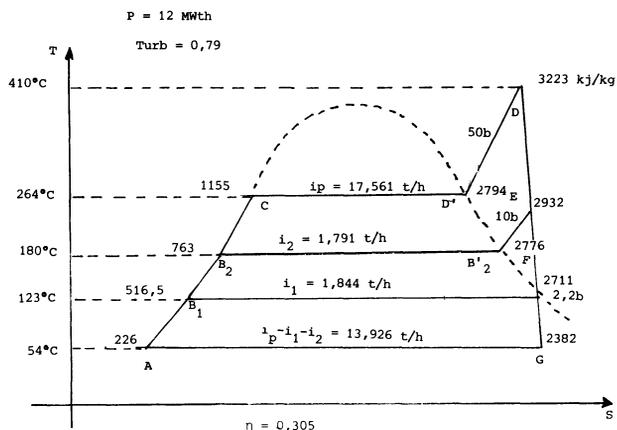


Fig. 4. — Cycle à vapeur de la centrale solaire Themis. Caractéristiques : surchauffe à 410 °C, 50 bars ; 2 soutirages.

b) Supposons qu'une pompe à absorption soit utilisable dans ce domaine de température.

Compte tenu du rôle de la pompe qui globalement vaporise l'ensemble soutirage-eau d'alimentation, il faut prévoir en plus un surchauffeur qui absorbe une certaine puissance Q_0 .

La puissance de 12 MWth se décompose donc ainsi :

- une puissance Q_0 servant à la surchauffe de tout le débit de vapeur ($i_p + i_s$),
- une puissance Q_1 fournie à la pompe à $T_1 = 500$ °C.

Cette puissance Q_1 n'est pas totalement utilisée. Il y a des pertes dues au travail τ_p qu'il faut fournir avec un rendement ρ_1 que nous prenons égal à 0,8, soit Q_u la puissance utilisable :

$$Q_u = Q_1 \times \left(\frac{T_2}{T_1} + \rho_1 \times \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \right)$$

$$\left(\tau_p = \rho_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) Q_1 \right).$$

Le travail τ_p est utilisé avec un rendement ρ_p pour élever le soutirage de T_2 à T_4

$$\rho_p \tau_p = Q_2 \left(\frac{T_2}{T_4} - 1 \right).$$

Comme dans le cycle de la figure 4, les soutirages seront faits à :

- 2,2 bars pour réchauffer l'eau d'alimentation de 54 à 123 °C (i_1),

- 10 bars pour réchauffer l'eau d'alimentation de 123 à 180 °C (i_2) ainsi que pour passer dans la pompe à absorption (i_s).

En adoptant comme rendement $\rho_p = 0,5$, on aboutit au cycle suivant qui a un rendement de 0,325

(avec $\rho_p = 0,7$, on a $\eta = 0,337$).

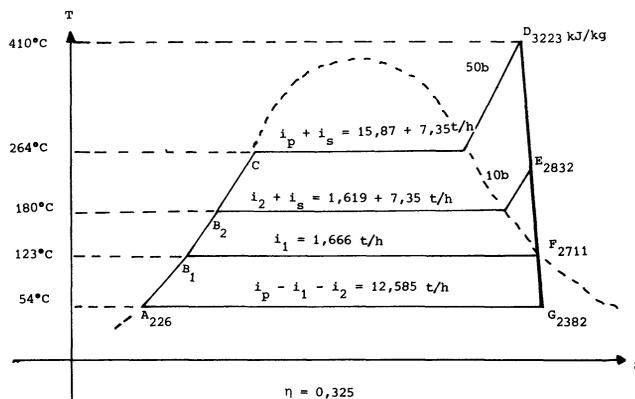


Fig. 5. — Cycle à vapeur pour la centrale Themis associée à une pompe à absorption.

- i_p : débit principal de l'eau d'alimentation.
- i_1 : soutirage à 123 °C, 2,2 bars } réchauffent l'eau d'alimentation.
- i_2 : soutirage à 180 °C, 10 bars }
- i_s : soutirage à 180 °C, 10 bars, utilisé dans la pompe à absorption.

Nous ne savons évidemment pas la valeur exacte du ρ_p pour cette pompe hypothétique. On voit tout de même que l'amélioration du rendement est sensible et nous allons maintenant caractériser le nouveau type de pompe à absorption qui pourrait être utilisé.

3. Utilisation des hydrures. Principe de fonctionnement.

3.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES. — Les hydrures sont des alliages de métaux qui ont la propriété d'avoir absorbé de l'hydrogène.

Exemple :



(L'absorption est exothermique.)

Ces hydrures se présentent (après une absorption au moins) sous la forme d'une poudre qui augmente de volume de 30 % environ en absorbant l'hydrogène. Les hydrures sont caractérisés par leurs courbes d'absorption.

Ainsi pour le Mg_2Ni :

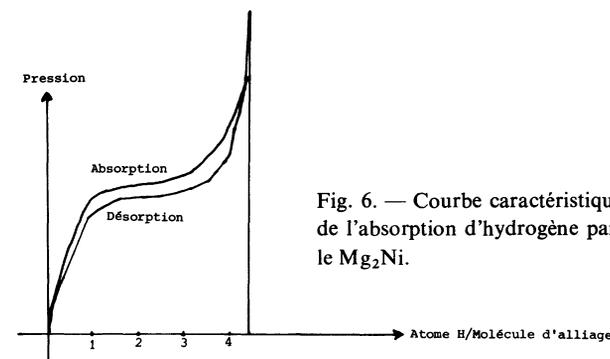


Fig. 6. — Courbe caractéristique de l'absorption d'hydrogène par le Mg_2Ni .

Il y a analogie entre le couple eau-ammoniac et le couple Mg_2Ni -hydrogène. De même que l'eau dissout l'ammoniac, le métal absorbe l'hydrogène. Aussi est-on amené à remplacer le couple absorbeur-bouilleur par un couple absorbeur-désorbeur. Mais nous n'avons plus de gaz liquéfiable dans le domaine de température considéré. Il faut donc également remplacer le couple condenseur-évaporateur.

L'idée est d'utiliser à nouveau les propriétés exothermiques et endothermiques des réactions d'absorption et de désorption. Le condenseur devient un absorbeur (exothermique) et l'évaporateur un désorbeur (endothermique). Comme les niveaux de températures auxquels devront avoir lieu ces réactions ne sont pas les mêmes que pour le couple correspondant au bouilleur-absorbeur, nous choisissons un deuxième hydrure pour opérer ce remplacement.

Une machine à absorption à hydrures peut se schématiser ainsi :

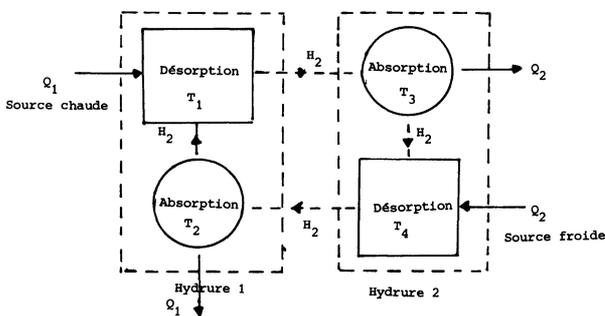


Fig. 7. — Schéma de principe d'une pompe à absorption à hydrures.

Les rôles des deux hydrures sont inversés :

- l'hydrure 1 absorbe à la température la plus basse (T_2);
- l'hydrure 2 absorbe à la température la plus haute (T_3).

Ceci est dû à la différence de pression qui règne dans les différents bacs.

Dans les coordonnées P et T , la réaction d'absorption-désorption a pour équation : $\text{Log } P = a - b/T$. La figure 8 nous montre comment le cycle de l'hydrogène est possible avec deux hydrures.

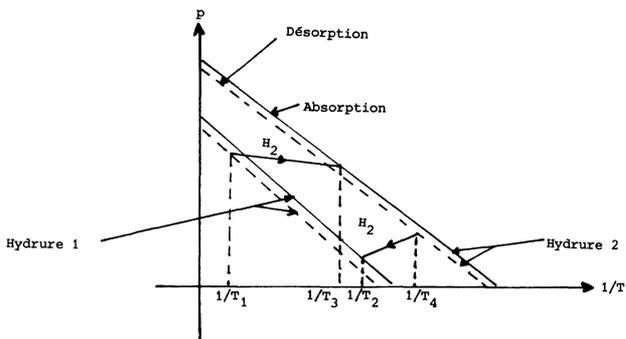


Fig. 8. — Cycle de l'hydrogène entre 2 hydrures.

3.1.1 Application à Themis. — Pour le cycle Themis défini précédemment, le couple d'hydrures doit avoir les caractéristiques suivantes :

— Hydrure 1 :

- désorption à 500 °C,
- absorption à 300 °C environ (compte tenu de l'écart de l'échangeur).

Le Mg_2Ni remplit ces conditions à des pressions respectivement de 100 bars et 3 bars.

— Hydrure 2 :

- absorption à 300 °C environ,
- désorption à 145 °C (température de soudage choisie : 180 °C).

Cette température peut être différente, comme nous l'avons déjà dit.

Cet hydrure est pour l'instant inconnu.

Voici le diagramme (P, T) correspondant :

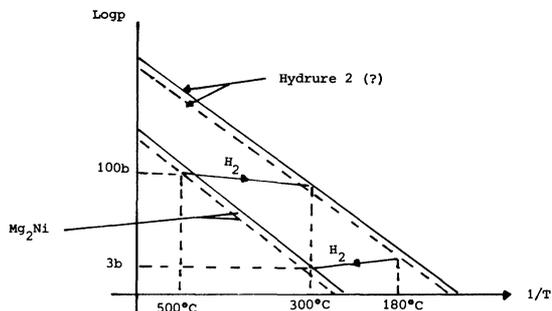


Fig. 9. — Cycle de l'hydrogène pour la pompe à hydrures adaptée à la centrale solaire Themis.

3.2 CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT. —

Vu les pressions qui règnent dans les différents éléments (notamment dans les enceintes où Mg_2Ni désorbe et où l'hydrure 2 absorbe, il règne 100 bars) ainsi que la nature solide pulvérulent de l'hydrure, nous ne pouvons transporter facilement l'hydrure du désorbeur à l'absorbeur ou réciproquement.

Le principe est donc d'utiliser chaque hydrure alternativement comme absorbeur ou comme désorbeur dans le même bac.

Par association de 2 bacs identiques pour chaque hydrure, ce cycle alternatif *deux temps* permet tout de même une production continue d'hydrogène et de chaleur; chaque bac est muni de 2 échangeurs qui permettent, l'un de chauffer pour désorber, l'autre de récupérer la chaleur de l'absorption. Le schéma global montre ce principe.

Mais d'autre part, il faut prévoir un temps de réchauffage ou de refroidissement de l'hydrure (1 ou 2) à sa température de désorption.

La pompe devient alors une machine à 4 temps dont la période est :

$$T = 2(t_1 + t_2)$$

Ce système présente en effet l'avantage de conserver comme fluide de travail la vapeur d'eau, que l'on connaît parfaitement, tout en utilisant des températures plus hautes thermodynamiquement efficaces.

Au prix de l'énergie actuel et futur, le surcroît en matériel n'est pas un obstacle. Par contre des recher-

ches sont nécessaires, tant dans la conception, améliorable du point de vue thermodynamique, que dans la création des hydrures *à la demande*. Ce n'est qu'à ce prix que des calculs précis de rendement pourront être faits. L'amélioration des cycles de toutes les centrales à vapeur est en jeu.

Bibliographie

- [1] ALEFELD, G., *A metal hydrogen heat pump as topping process for power generation*, Universität München 8046 Garching W. Germany.
 - [2] WOLF, S., *Hydrogen Sponge Heat Pump*, Naval Underwater Systems Center Newport Rhode Island 02840.
 - [3] GRUEN, D. M., MENDELSON, M. H. and SHEFT, I., *Metal Hydrides as Chemical heat pumps*, Chemistry division, Argonne National Laboratory Argonne, 1260439 U.S.A.
 - [4] LAURENT, B., *Etude d'une pompe à absorption à hydrures pour l'amélioration du rendement d'un cycle à vapeur*, Proiet THEM CNRS-EDF DER Chatou, octobre 78.
-