

(22) Date de dépôt: **07.07.2022**

(74) Mandataire: **Nony**
11 rue Saint-Georges
75009 Paris (FR)

Fig.1

Description**Domaine technique**

[0001] La présente invention concerne le domaine des systèmes thermodynamiques pour la coproduction d'énergie électrique et d'énergie thermique, plus particulièrement de froid, à partir d'une source thermique à basse température.

[0002] Les applications de l'invention sont nombreuses parmi lesquelles on peut citer le domaine des systèmes stationnaires, avec des sources thermiques telles que les rejets thermiques de procédés industriels, le solaire thermique, la biomasse, la géothermie, les turbines à gaz.

Technique antérieure

[0003] Les politiques énergétiques actuelles posent le problème de la gestion de la fluctuation ou de l'intermittence des sources, mais aussi de la maîtrise de la variabilité des pics de demande énergétique et cela tout en valorisant des sources de chaleur de bas niveau thermique, typiquement de 80 à 150°C, telles que le solaire thermique, les chaleurs fatales abondantes mais de faible contenu exergetique.

[0004] En outre, une vigilance particulière est à porter à la production de froid et d'électricité, demandes énergétiques stationnaires en forte croissance et habituellement responsables de fortes émissions de gaz à effet de serre, en particulier lors des pics de demande.

[0005] Cette problématique est particulièrement prégnante pour le secteur de la mobilité car il est responsable d'une grande partie de la consommation énergétique et de l'émission de gaz à effet de serre tant pour la propulsion proprement dite que pour les systèmes embarqués (froid).

[0006] De fait, pour répondre à ces besoins, le cahier des charges fonctionnel des systèmes, que les inventeurs ont formulé, peut être résumé ainsi :

A/ pouvoir générer du froid à partir d'une source de chaleur à basse température, éventuellement fluctuante, voire intermittente;

B/ pouvoir produire de l'électricité à partir d'une source de chaleur à basse température, éventuellement fluctuante, voire intermittente ;

C/ pouvoir produire de façon concomitante du froid et de l'électricité à partir d'une source de chaleur à basse température, éventuellement fluctuante, voire intermittente;

D/ pouvoir réguler de manière très précise et efficace le rapport entre production de froid et production électrique, et ce de préférence de manière continue (fonction D0).

[0007] Aucun cycle thermodynamique en tant que tel ne peut, seul, atteindre l'ensemble de ces fonctionnalités.

[0008] Les systèmes à absorption ammoniac-eau ont des avantages déjà bien identifiés comme celui de permettre d'atteindre des températures négatives ainsi que d'utiliser des pressions supérieures à l'ambiante, en comparaison à des cycles à absorption H₂O-LiBr. Par ailleurs de tels systèmes ne comportent aucun fluide qui puisse contribuer à la destruction de la couche d'ozone ou à l'augmentation de l'effet de serre, comme c'est le cas de la plupart des fluides organiques utilisés dans la réfrigération.

[0009] Par ailleurs des systèmes hybrides de co-production d'électricité et de froid ont déjà été conceptualisés.

[0010] On connaît ainsi de la publication [1] un système de coproduction d'électricité et de froid avec échangeur interne. Pour ce faire, le fonctionnement du système est basé sur un cycle qui combine un cycle de Rankine et un cycle de production de froid par absorption. Les différents composants du système sont agencés en série dans un circuit fluide fermé. Le système décrit dans cette publication ne permet pas de faire varier les conditions de production d'électricité et de froid. La production de froid et la production d'électricité sont toujours simultanées.

[0011] On connaît également de la publication [2] et de la demande de brevet EP3748274A1, un système de production d'énergie thermique et d'énergie électrique comprenant un dispositif à absorption comprenant un absorbeur, un générateur, un condenseur, un évaporateur et un circuit fluide d'absorption apte à recevoir une solution de travail comprenant un fluide frigorigène et un absorbant, de préférence le couple ammoniac/eau (NH₃/H₂O), le circuit fluide reliant le générateur au condenseur, le condenseur à l'évaporateur, l'évaporateur à l'absorbeur et l'absorbeur au générateur, le système comprenant en outre un compresseur réversible de type turbomachine en combinaison avec un module de gestion de la circulation du fluide frigorigène de sorte à assurer dans un premier mode de fonctionnement une production d'énergie électrique alternativement avec une production de froid ou de chaleur, et dans un deuxième mode de fonctionnement pour assurer une production d'énergie électrique. Le système décrit est compact, avec un

nombre limité de composants et d'un coût réduit, qui permet en outre une intégration possible dans des applications non stationnaires.

[0012] En revanche, dans ce système selon la publication [2] et EP3748274A1, les fonctions B/ et D/ précitées ne sont pas forcément possibles du fait:

- de l'importance des fuites conduisant à des pertes pour de très petits débits dans un expandeur de type machine volumétrique, telle qu'un dispositif dénommé « scroll » en langage anglo-saxon ;
- du comportement hors nominal pour un expandeur de type turbomachine, par exemple une turbine axiale, qui implique une relation précise entre débit et pression d'entrée dans l'expandeur.

[0013] On connaît également du brevet ES2512990B1 un système de coproduction d'électricité et de froid comprenant, en plus des composants traditionnels d'un système mettant en œuvre un cycle à absorption un expandeur et un éjecteur agencé en aval de l'expandeur, qui n'a pas d'impact positif sur la production d'électricité. La fonction D/ n'est pas possible avec un système selon ES2512990B1. De plus, à la lecture de ce document, il ne ressort pas clairement comment le débit du fluide de travail est divisé entre production de froid et production électrique et s'il est possible d'en varier le rapport.

[0014] Par ailleurs, récemment des éjecteurs à section variable ont été utilisés dans des cycles à compression mécanique de vapeur, dans le but d'améliorer les performances de ces cycles hors du point nominal : voir par exemple la publication [3].

[0015] Il existe par conséquent un besoin de proposer un système de co-production de froid et d'électricité qui permette de répondre à l'ensemble des fonctions du cahier des charges tel qu'énoncé ci-avant, soit des fonctions A/ et D/ et de préférence en outre à la fonction D0/.

Exposé de l'invention

[0016] Pour ce faire, l'invention a pour objet un système de production de froid et d'énergie électrique comprenant :

- un désorbeur, appelé générateur,
- un condenseur,
- un évaporateur,
- un absorbeur,
- un circuit fluide d'absorption dans lequel circule un fluide de travail comprenant un fluide frigorigène et un absorbant, le circuit fluide reliant le générateur au condenseur, le condenseur à l'évaporateur, l'évaporateur à l'absorbeur et l'absorbeur au générateur,
- une turbine supersonique agencée sur le circuit fluide entre le générateur et l'absorbeur en dérivation du condenseur et de l'évaporateur, la turbine étant configurée pour actionner une génératrice électrique pour produire de l'électricité,
- au moins un éjecteur agencé sur le circuit fluide entre le générateur et la turbine.

[0017] Par « turbine supersonique », on entend ici et dans le cadre de l'invention, une turbine dont le régime en fonctionnement nominal est un écoulement supersonique à forte vitesse.

[0018] L'éjecteur peut être un éjecteur simple ou à section du col variable.

[0019] Par « éjecteur », on entend ici et dans le cadre de l'invention, un assemblage mécanique exploitant la dépression créée par l'effet Venturi et permettant de comprimer un fluide secondaire en le mélangeant à fluide primaire pressurisé, l'assemblage ne comportant pas de pièces mobiles transmettant d'énergie aux fluides.

[0020] Par « éjecteur à section du col variable », on entend ici et dans le cadre de l'invention un éjecteur dans lequel on peut faire varier les dimensions de l'éjecteur que sont principalement les diamètres de la section du col sonique et/ou du mélangeur.

[0021] Avantageusement, le fluide de travail comprend en tant que fluide frigorigène de l'ammoniac (NH_3) et en tant qu'absorbant de l'eau (H_2O). D'autres couples fluide frigorigène/absorbant peuvent convenir.

[0022] Selon une variante de réalisation avantageuse, le circuit fluide comprend un échangeur agencé sur une ligne fluide de dérivation, en dérivation de la connexion fluide entre l'évaporateur et l'absorbeur, la ligne de dérivation étant connectée à l'injecteur du fluide secondaire de l'éjecteur, de sorte que l'échangeur réchauffe le fluide secondaire

avant son entrée dans l'éjecteur.

[0023] De préférence, la turbine est configurée pour entraîner la pompe de circulation du fluide de travail.

[0024] Selon un mode de réalisation avantageux, le système comprend un rectifieur du fluide frigorigène, agencé entre le générateur et le condenseur.

5 **[0025]** Selon ce mode et une variante avantageuse, les flux des solutions dites riche et pauvre du fluide de travail sont séparés en sortie du générateur ou en sortie du rectifieur.

[0026] Selon une autre variante avantageuse, le fluide à la sortie de la pompe de circulation du fluide de travail est utilisé comme source froide du rectifieur.

10 **[0027]** Selon un autre mode de réalisation avantageux, le système comprend une ligne fluidique de dérivation entre l'éjecteur et l'absorbeur, de sorte à augmenter la pression du fluide de travail dans ce dernier.

[0028] Avantageusement, le système comprend en tant que source de chaleur une chaleur basse température avantageusement comprise entre 70°C et 150°C.

[0029] L'invention a encore pour objet, un procédé de production d'énergie électrique et d'énergie thermique mis en œuvre par un système tel que décrit précédemment comprenant :

- 15
- dans un premier mode de fonctionnement de production de froid seule, circulation du fluide de travail dans le circuit fluidique successivement au travers du générateur, du condenseur, de l'évaporateur puis de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur;
 - 20 - dans un deuxième mode de fonctionnement de production d'énergie électrique seule, circulation du fluide de travail dans le circuit fluidique successivement au travers du générateur, de la turbine supersonique associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur;
 - 25 - dans un troisième mode de fonctionnement de co-production de froid et d'énergie électrique, circulation d'une partie du fluide de travail dans le circuit fluidique successivement au travers du générateur, du condenseur, de l'évaporateur puis de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur et de l'autre partie du fluide de travail successivement au travers du générateur, de la turbine supersonique associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur;
 - 30 - dans un quatrième mode de fonctionnement de co-production de froid et d'énergie électrique avec un rapport régulé entre production de froid et production électrique, circulation d'une partie du fluide de travail dans le circuit fluidique successivement au travers du générateur, du condenseur, de l'évaporateur puis de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur et de l'autre partie du fluide de travail successivement au travers du générateur, de l'éjecteur, de la turbine supersonique associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur puis à nouveau dans le générateur.
- 35

[0030] L'invention a encore pour objet l'utilisation d'un système de production de froid et d'énergie électrique tel que décrit précédemment pour une production électrique d'une puissance supérieure à 100 kWe.

40 **[0031]** Ainsi, l'invention consiste essentiellement à partir d'un système de production d'électricité et de froid comme décrit dans la demande EP3748274A1 à choisir une turbine supersonique pour réduisant le débit de fuite et garantir l'efficacité de la production électrique, et y ajouter en amont un éjecteur simple ou à section variable, permettant d'augmenter de manière continue la production de froid tout en gardant l'efficacité de la production électrique.

[0032] Pour réaliser les différents modes de fonctionnement réalisant les fonctions A/, B/, C/, D/ et D0/, le système comprend un module de gestion du fluide du travail pilote un ensemble de vannes de réglages, deux vanne de détente dont l'ouverture est réglable et contrôle la vitesse de la pompe en fonction de la fluctuation de la source chaude ou des besoins.

[0033] L'éjecteur selon l'invention permet d'augmenter le débit traversant la partie froide du circuit du fluide de travail, et donc la puissance froide produite, tout en gardant une bonne efficacité de production électrique (fonction D/).

[0034] La fonction D0/ est assuré par un changement de la section de l'éjecteur de façon à en optimiser la performance pour chaque condition de fonctionnement.

50 **[0035]** De nombreuses applications peuvent être envisagées pour un système selon l'invention, parmi lesquelles on peut citer :

- en tant qu'applications stationnaires, la production de froid et d'électricité sur des sources de chaleur à basse température (rejets thermiques sur des procédés industriels, solaire thermique, biomasse, géothermie, turbines à gaz, réseaux) ;
- 55 - les applications de transport avec des moteurs à essence, diesel et turbine à gaz ;
- les applications de transport sur des véhicules hybrides et électriques avec des besoins de froid.

[0036] D'autres avantages et caractéristiques ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée, faite à titre illustratif et non limitatif, en référence aux figures suivantes.

Brève description des dessins

[0037]

[Fig 1] la figure 1 représente un schéma général d'un système selon l'invention.

[Fig 2] la figure 2 reprend le schéma du système selon la figure 1 fonctionnant suivant un mode de fonctionnement permettant la production de froid seule à partir d'une source thermique.

[Fig 3] la figure 3 reprend le schéma du système selon la figure 1 fonctionnant suivant un mode de fonctionnement permettant la production d'énergie électrique seule à partir d'une source thermique.

[Fig 4] la figure 4 reprend le schéma du système selon la figure 1 fonctionnant suivant un mode de fonctionnement permettant la co-production simultanée d'énergie électrique et de froid à partir d'une source thermique.

[Fig 5] la figure 5 reprend le schéma du système selon la figure 1 fonctionnant suivant un mode de fonctionnement permettant la co-production simultanée d'énergie électrique et de froid à partir d'une source thermique, avec la possibilité de régler le rapport entre production de froid et production électrique.

[Fig 6] la figure 6 représente un schéma avantageux d'agencement d'un éjecteur en amont d'une turbine supersonique dans un système selon l'invention.

Description détaillée

[0038] On précise que dans l'ensemble de la demande, les termes « entrée », « sortie », « amont », « aval » sont à comprendre en relation avec le sens de la circulation du fluide considéré au sein d'un système selon l'invention.

[0039] Également dans l'ensemble de la demande, l'expression « composant C1 fluidiquement raccordé à composant C2 » est synonyme de « C1 est en connexion fluidique avec C2 » ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe pas d'organe entre C1 et C2. Les expressions « agencée sur » ou « sur » sont synonymes de « raccordé fluidiquement à ».

[0040] Le terme « agencé sur », signifie « en connexion fluidique ».

[0041] Toutes les lignes fluidiques de connexion du circuit fluidique à absorption sont représentées dans l'ensemble des figures 1 à 5 par des traits pleins, sans référence numérique à des fins de clarté. Le sens de circulation du fluide au sein d'une ligne fluidique est indiqué par le sens de la flèche sur cette ligne.

[0042] L'ensemble des vannes de réglage qui fonctionnent en on/off pour réaliser les différents fonctionnements du système selon l'invention décrit en référence aux figures 1 à 5, n'est pas désigné par une référence numérique. En revanche, lorsqu'une vanne considérée est dans un état off pour réaliser l'un des fonctionnements du système, elle est indiquée par le symbole en forme de croix dans la figure considérée.

[0043] On entend par échange direct ou couplage direct que l'échange d'énergie thermique se fait directement sans circuit ou composant intermédiaire. L'échange direct dans le condenseur ou l'évaporateur se fait directement entre le fluide frigorigène et par exemple un flux d'air.

[0044] Le système de production d'énergie électrique et de froid selon l'invention, tel que représenté à la figure 1, comprend une machine à absorption et une source de chaleur de préférence une source de chaleur basse température avantageusement comprise entre 70°C et 150°C, comme de la chaleur fatale, pouvant être fluctuante, telle qu'une source solaire ou de chaleur fatale liée à la mise en route d'un moteur thermique ou de rejets industriels intermittents.

[0045] Une machine à absorption utilise comme solution de travail un mélange binaire, dont l'un des composants est plus volatil que l'autre, et constitue le fluide frigorigène. La solution de travail fluide frigorigène/absorbant est de préférence le couple ammoniac/eau ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$). Les concentrations du fluide de travail et de l'absorbant dans la solution de travail sont adaptées à la pression et la température du traitement d'air et inférieures à la concentration de cristallisation de la solution.

[0046] Le couple $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ est utilisable pour des applications de climatisation, mais aussi de réfrigération et il n'y a pas de cristallisation possible sur les plages de fonctionnement en pression et température. Par contre, pour ce couple, l'écart de pression de vapeur entre l'absorbant et le fluide frigorigène est faible. Il y a donc des traces d'eau emmenées avec la vapeur d'ammoniac en sortie du générateur 1 nécessitant parfois la présence d'un rectifieur 13.

[0047] La machine à absorption comprend un ensemble de quatre échangeurs principaux, à savoir un générateur 1, un condenseur 2, un évaporateur 3 et absorbeur 4, et de préférence au moins un échangeur secondaire. Les quatre

échangeurs secondaires illustrés à savoir un sous refroidisseur 6, un économiseur 8, un rectifieur 13, ou un échangeur 14, permettent d'améliorer les performances de la machine.

[0048] La machine à absorption comprend en outre au moins une pompe à solution 9 et une vanne de détente 10 d'une boucle 11 et une vanne de détente 12. La machine fonctionne à trois niveaux de température : un niveau de température basse correspondant à la production de froid à l'évaporateur 3, un niveau de température intermédiaire correspondant à la température de condensation du fluide frigorigène, mais également à celle d'absorption du fluide frigorigène par l'absorbant et un niveau de température élevé correspondant à la température motrice du générateur 1.

[0049] La machine à absorption comprend un circuit fluide à absorption 100 configuré pour assurer la connexion fluide des différents composants du système et en particulier de la machine à absorption. Le circuit fluide à absorption 100 est un circuit fermé destiné à recevoir la solution de travail.

[0050] La machine à absorption fonctionne à haute pression entre la pompe 9 en amont du générateur 1 et la vanne de détente 12, en aval du condenseur 2, et à basse pression entre la vanne de détente 2, en aval du condenseur 2 et la pompe 9 en amont du générateur 1.

[0051] Le générateur aussi communément appelé désorbeur 1 permet l'échange thermique entre la source de chaleur et le fluide de travail. Un tel générateur 1 comprend donc une entrée et une sortie de source chaude non représenté permettant l'apport de chaleur nécessaire à la vaporisation du fluide frigorigène de la solution de travail. Le générateur 1 est connecté fluidiquement au condenseur 2 et à l'absorbeur 4.

[0052] De préférence, un économiseur 8 décrit ci-après est agencé entre le générateur 1 et l'absorbeur 4 pour permettre l'entrée de la solution de travail dite riche dans le générateur 1 et la sortie de la solution de travail dite pauvre hors du générateur 1.

[0053] La vanne de détente 10 permet de détendre la pression de la solution de travail pauvre avant qu'elle soit transmise à l'absorbeur 4.

[0054] De préférence, un rectifieur 13 est agencé entre le générateur 1 et le condenseur 2. Le rectifieur 13 permet éventuellement de rectifier la solution de travail, en enlevant par condensation les traces d'eau entraînées avec le fluide de travail.

[0055] Le condenseur 2 permet de rejeter de la chaleur du fluide de travail vers une source à température intermédiaire, en condensant la vapeur de fluide frigorigène. Le condenseur 2 est connecté fluidiquement au générateur 1 et à l'évaporateur 3. La connexion fluide entre générateur 1 et condenseur 2 permet l'entrée de la vapeur de fluide frigorigène dans ce dernier. La vanne de détente 12 amène le fluide frigorigène à sa pression d'évaporation et permet donc la sortie depuis le condenseur 2 du fluide frigorigène à l'état liquide. Le condenseur 2 comprend également une source de refroidissement tel qu'une circulation d'air pour assurer son fonctionnement normal. Le changement de phase du fluide frigorigène de l'état vapeur à l'état liquide s'accompagne d'une libération de chaleur qui est transmise par exemple au flux d'air circulant. L'air réchauffé est évacué du système.

[0056] Le sous-refroidisseur 6 est agencé entre le condenseur 2 et l'évaporateur 3, et entre l'évaporateur 3 et l'absorbeur 4, et permet de sous-refroidir le fluide frigorigène en entrée de l'évaporateur 3 et de préchauffer le fluide frigorigène à l'état de vapeur en sortie de l'évaporateur 3. Le sous-refroidisseur 6 permet donc de réduire les dimensions du condenseur 2 et de l'évaporateur 3 et ainsi d'améliorer de manière notable les performances de la machine. De préférence, comme illustré, la vanne de détente 12 est agencée entre le sous-refroidisseur 6 et l'évaporateur 3.

[0057] L'évaporateur 3 permet de prélever de la chaleur à la source froide pour vaporiser le fluide frigorigène. L'évaporateur 3 est connecté fluidiquement au condenseur 2 et à l'absorbeur 4. Le changement de phase du fluide frigorigène de l'état liquide à l'état vapeur au sein de l'évaporateur 3 s'accompagne d'une transmission de chaleur de la source chaude à la sortie de l'évaporateur 3, au fluide frigorigène. Cette source chaude transmet des calories et voit ainsi sa température s'abaisser. L'évaporateur 3 est le lieu de la production de frigories.

[0058] L'absorbeur 4 permet d'échanger des calories entre le fluide de travail et une source à température intermédiaire, pour condenser la vapeur de fluide frigorigène issue de l'évaporateur 3. L'absorbeur 4 est connecté fluidiquement à l'évaporateur 3 et au générateur 1 par la boucle 11.

[0059] La pompe 9 de cette boucle 11 permet de mettre en circulation la solution de travail dans le circuit 100. Plus précisément, la pompe 9 est destinée à faire circuler la solution de travail riche de l'absorbeur 4 en direction du générateur 1. La pompe 9 consomme peu d'électricité.

[0060] Plus précisément encore, la pompe 9 est connectée fluidiquement à l'économiseur 8 au travers duquel la solution de travail riche est réchauffée avant d'être transmise au générateur 1. A contrario, l'économiseur 8 transmet de la chaleur de la solution pauvre issue du générateur 1 vers la solution riche issue de l'absorbeur 4. L'absorbeur 4 est raccordé fluidiquement au générateur 1 pour permettre l'entrée de la solution de travail pauvre issue du générateur 1 dans l'absorbeur 4.

[0061] La vanne de détente 10 est agencée entre le générateur 1 et l'absorbeur 4. Le changement de phase du fluide frigorigène de l'état vapeur à l'état liquide s'accompagne d'une libération de chaleur qui est transmise à une source de refroidissement tel qu'un flux d'air. L'air réchauffé est évacué du système.

[0062] Selon l'invention, une turbine supersonique 5 en tant qu'expandeur actionnant une génératrice est agencée

entre le générateur 1 et l'absorbeur 4, en dérivation du condenseur 2 et de l'évaporateur 3. Cette turbine supersonique 5 a un débit de fuite réduit et elle garantit l'efficacité de la production électrique.

[0063] Selon l'invention également, un éjecteur 50 simple ou à section variable est agencé permettant d'augmenter de manière continue la production de froid tout en gardant l'efficacité de la production électrique. L'éjecteur 50 peut être simple ou à section variable, comme détaillé par la suite. Un éjecteur simple 50 est optimisé pour un rapport donné entre la production de froid et production électrique (fonction D/), tandis un éjecteur 50 à section variable permet une régulation très précise et efficace pour tous les rapports entre production électrique et production de froid (fonction D0/).

[0064] La connexion hydraulique permet l'entrée du fluide frigorigène à l'état de vapeur depuis le générateur 1 directement dans la turbine 5 ou indirectement, en mode by-pass par l'éjecteur 50.

[0065] Un surchauffeur 7 est agencé entre le générateur 1 et la turbine 5, de préférence entre l'éjecteur 50 et la turbine pour permettre un échange thermique supplémentaire entre une source chaude non représentée et le fluide de travail afin d'obtenir une vapeur de meilleure qualité à l'entrée de la turbine 5.

[0066] La turbine 5 est raccordé fluidiquement à l'absorbeur 4 pour permettre la sortie du fluide frigorigène à l'état de vapeur détendue de la turbine 5 vers l'absorbeur 4 selon un mode de production d'énergie électrique.

[0067] L'échangeur 14 est agencé sur une ligne fluidique 15 en dérivation de la connexion fluidique entre l'évaporateur 3 et l'absorbeur 4. Cette ligne fluidique 15 est connectée à l'injecteur du fluide secondaire (entraîné) de l'éjecteur 50. Ainsi, l'échangeur 14 permet de réchauffer le fluide secondaire avant son entrée dans l'éjecteur 50.

[0068] La turbine supersonique 5 est avantageusement relié à une génératrice électrique qui permet de transformer l'énergie mécanique récupérée par la turbine 5 en électricité en produisant une puissance électrique W_{turb} .

[0069] Typiquement, la turbine supersonique 5 est configurée pour permettre une production électrique supérieure à 100kWe c'est-à-dire de moyenne puissance voir de grande puissance de 1MWe.

[0070] Le système selon l'invention comprend en outre un module de gestion de la circulation de la solution de travail au sein du circuit 100 et des différents composants du système qui viennent d'être décrits. Le module de gestion est configuré pour définir les conditions de fonctionnement du système en fonction des besoins en énergie et des fluctuations des sources, comme détaillé ci-après. Il peut s'agir d'une production de froid seule, ou de production d'énergie électrique, ou d'une co-production de froid et d'énergie électrique, en fonction des températures des sources, du prix de l'électricité...

[0071] Ce module de gestion comprend les vannes de réglages (vannes on/off non représentées), les deux vannes de détente 10, 12, dont l'ouverture est réglable et une unité de commande qui contrôle la vitesse de la pompe 9, afin de permettre un réglage fin des débits de circulation de la solution de travail et du fluide frigorigène pour la mise en œuvre des modes de fonctionnement du système en fonction de la fluctuation de la source chaude ou des besoins.

[0072] Le système et le module de gestion selon l'invention présentent l'avantage d'être compactes en ne nécessitant avantageusement que peu de composants supplémentaires tels des vannes, éventuellement des capteurs de températures et de pression, ce qui réduit les coûts et l'encombrement permettant au système selon l'invention d'être utilisé dans des applications mobile.

[0073] Les différentes puissances thermique et électrique des différents composants du système sont représentées sur les figures 1 à 5 par les symboles suivants :

$\dot{Q}_{\text{des}}$: puissance du générateur 1 ;

$\dot{Q}_{\text{cond}}$: puissance du condenseur 2 ;

$\dot{Q}_{\text{évap}}$: puissance de l'évaporateur 3 ;

$\dot{Q}_{\text{abs}}$: puissance de l'absorbeur 4 ;

W_{turb} : travail de la turbine supersonique 5;

$\dot{Q}_{\text{sub}}$: puissance du sous-refroidisseur 6 ;

$\dot{Q}_{\text{SH}}$: puissance du surchauffeur 7 ;

$\dot{Q}_{\text{SHX}}$: puissance de l'économiseur 8 ;

W_{pump} : travail de la pompe 9 de la solution de travail.

$\dot{Q}_{\text{rect}}$: puissance du rectifieur 13;

$\dot{Q}_{\text{HX}}$: puissance de l'échangeur 14.

[0074] Le fonctionnement du système pour une production de froid seule est montré à la figure 2. Le module de gestion de la circulation de la solution de travail déclenche une circulation de la solution de travail suivant un cycle à absorption classique. Pour ce faire, le module ferme les vannes de réglage sur la ligne fluide de part et d'autre de l'éjecteur 50 et de la turbine 5 ainsi que sur la ligne de dérivation 15 en amont de l'échangeur 14. La fonction A/ est ainsi réalisée.

[0075] On décrit maintenant le fonctionnement du système selon la figure 2 pour réaliser cette fonction A/.

[0076] Le fluide frigorigène de la solution de travail sort du générateur 1 et traverse le rectifieur 13 avant d'arriver dans le condenseur 2. Le fluide frigorigène ressort du condenseur 2 pour traverser le sous-refroidisseur 6, et la vanne de détente 12, avant d'arriver dans l'évaporateur 3. Le fluide frigorigène ressort de l'évaporateur 3 pour traverser le sous-refroidisseur 6 avant d'arriver dans l'absorbeur 4. Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail dite riche ressort de l'absorbeur 4 pour circuler dans la boucle 11.

[0077] Dans cette boucle 11, la solution de travail riche traverse successivement la pompe 9 et l'économiseur 8 avant d'arriver dans le générateur 1. La solution de travail pauvre ressort du générateur 1 pour traverser successivement l'économiseur 8 et la vanne de détente 10 avant d'arriver dans l'absorbeur 4. La production de froid se fait ainsi au niveau de l'évaporateur 3 lors de l'évaporation du fluide frigorigène qui s'accompagne d'un refroidissement de la source chaude. La source chaude refroidie peut ensuite être utilisée par exemple pour de la climatisation.

[0078] Le fonctionnement du système pour une production d'électricité seule est montré à la figure 3. Le module de gestion de la circulation de la solution de travail déclenche une circulation de la solution de travail suivant un cycle de Rankine, plus spécifiquement un cycle de Kalina. Pour ce faire, le module ferme les vannes de réglage sur la ligne fluide de part et d'autre de l'éjecteur 50, sur la ligne fluide entre le générateur 1 et le rectifieur 13 en aval de la dérivation de la ligne de la turbine 5 ainsi que sur la ligne entre l'évaporateur 3 et l'absorbeur 4 en amont de la dérivation de la ligne de la turbine 5. La fonction B/ est ainsi réalisée.

[0079] On décrit maintenant le fonctionnement du système selon la figure 3 pour réaliser cette fonction B/.

[0080] Le fluide frigorigène de la solution de travail sort du générateur 1 et traverse le surchauffeur 7 avant d'arriver dans la turbine 5. Le fluide frigorigène ressort de la turbine 5 pour déboucher dans l'absorbeur 4. Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail riche ressort de l'absorbeur 4 pour traverser la boucle 11 telle que décrite en référence à la figure 2 avant de retourner au niveau de générateur 1. L'électricité est produite par la turbine 5 relié à une génératrice électrique.

[0081] Le fonctionnement du système pour une production simultanée de froid et d'électricité est montré à la figure 4.

[0082] Le module de gestion de la circulation de la solution de travail déclenche une circulation de la solution de travail suivant un cycle à absorption et un cycle de production d'électricité. Pour ce faire, le module ferme uniquement les vannes de réglage sur la ligne fluide de part et d'autre de l'éjecteur 50. La fonction C/ est ainsi réalisée. Du fait de la mise en œuvre d'une turbine supersonique 5, le débit est une fonction du saut de pression amont-aval et ainsi le rapport entre les puissances froides et électriques produites est fixé et ne peut pas être changé.

[0083] On décrit maintenant le fonctionnement du système selon la figure 4 pour réaliser cette fonction C/.

[0084] A la sortie du générateur 1, le fluide frigorigène de la solution de travail est orienté partiellement vers la partie du circuit 100 mettant en œuvre un cycle de production de froid et partiellement vers l'autre partie mettant en œuvre un cycle de production d'électricité. Une partie du fluide frigorigène en sortie du générateur 1 est dérivé vers la turbine supersonique 5 tandis que l'autre partie circule vers le condenseur 2 en traversant en amont le rectifieur 13. Le fluide frigorigène ressort du condenseur 2 pour traverser le sous-refroidisseur 6 et la vanne de détente 12 avant d'arriver dans l'évaporateur 3. Le fluide frigorigène quitte l'évaporateur 3 pour traverser le sous-refroidisseur 6 avant d'arriver dans l'absorbeur 4. Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail riche ressort de l'absorbeur 4 pour circuler dans la boucle 11 et donc traverser successivement la pompe 9, l'économiseur 8 avant d'arriver dans le générateur 1. La solution de travail pauvre ressort du générateur 1 pour traverser successivement l'économiseur 8 et la vanne de détente 10 avant d'arriver dans l'absorbeur 4.

[0085] La partie du fluide frigorigène traversant la turbine supersonique 5 traverse en amont le surchauffeur 7. Le fluide frigorigène ressort alors comprimé de la turbine 5 pour déboucher dans l'absorbeur 4.

[0086] Au niveau de l'absorbeur 4 le fluide frigorigène en provenance de la turbine 5 et le fluide frigorigène en provenance de l'évaporateur 3 sont mélangés avant de traverser la boucle 11. Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail riche ressort de l'absorbeur 4 pour circuler dans la boucle 11 comprenant l'économiseur 8, la pompe 9 et le détendeur 10 telle que décrite en ci-dessus.

[0087] La production de froid se fait au niveau de l'évaporateur 3 lors de l'évaporation du fluide frigorigène qui s'accompagne d'un refroidissement de la source chaude. La source chaude refroidie peut ensuite être utilisée par exemple pour de la climatisation. L'électricité est produite par la turbine supersonique 5 reliée à une génératrice électrique.

[0088] Le fonctionnement du système pour une production simultanée de froid et d'électricité avec possibilité de réglage efficient du rapport entre ces deux productions est montré à la figure 5.

[0089] Le module de gestion de la circulation de la solution de travail déclenche une circulation de la solution de travail suivant un cycle à absorption et un cycle de production d'électricité avec un rapport entre les deux. Pour ce faire, le module ferme uniquement la vannes de réglage sur la ligne fluide en dérivation de celle de l'éjecteur 50 entre le

générateur 1 et la turbine 5 : ainsi tout le fluide de travail passe nécessairement dans l'éjecteur 50 avant de déboucher sur la turbine supersonique 5. La fonction D/ et de préférence D0/ (éjecteur à section du col variable) sont ainsi réalisées. L'éjecteur 50 permet d'augmenter le débit traversant la partie froide du circuit 100, et donc la puissance froide produite, tout en gardant une bonne efficacité de production électrique par la turbine 5. La fonction D0/ est assurée par le changement de la section de l'éjecteur à section du col variable de façon à en optimiser la performance pour chaque condition de fonctionnement.

[0090] On décrit maintenant le fonctionnement du système selon la figure 5 pour réaliser ces fonctions D/ et D0/.

[0091] A la sortie du générateur 1, le fluide frigorigène de la solution de travail est orienté partiellement vers la partie du circuit 100 mettant en œuvre un cycle de production de froid et partiellement vers l'autre partie mettant en œuvre un cycle de production d'électricité. Une partie du fluide frigorigène en sortie du générateur 1 est dérivée vers la turbine supersonique 5 tandis que l'autre partie circule vers le condenseur 2 en traversant en amont le rectifieur 13. Le fluide frigorigène ressort du condenseur 2 pour traverser le sous-refroidisseur 6 et la vanne de détente 12 avant d'arriver dans l'évaporateur 3. Le fluide frigorigène quitte l'évaporateur 3 pour traverser le sous-refroidisseur 6.

[0092] Une partie du fluide frigorigène est alors dérivée dans la ligne 15 et traverse l'échangeur 14 pour réchauffer le fluide qui est injecté en tant que fluide secondaire dans l'éjecteur 50.

[0093] L'autre partie du fluide frigorigène non dérivée dans la ligne 15 arrive dans l'absorbeur 4.

[0094] Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail riche ressort de l'absorbeur 4 pour circuler dans la boucle 11 et donc traverser successivement la pompe 9, l'économiseur 8 avant d'arriver dans le générateur 1. La solution de travail pauvre ressort du générateur 1 pour traverser successivement l'économiseur 8 et la vanne de détente 10 avant d'arriver dans l'absorbeur 4.

[0095] La partie du fluide frigorigène traversant la turbine supersonique 5 traverse en amont nécessairement l'éjecteur 50 qui en augmente le débit puis le surchauffeur 7. Le fluide frigorigène ressort alors comprimé de la turbine 5 pour déboucher dans l'absorbeur 4.

[0096] Au niveau de l'absorbeur 4 le fluide frigorigène en provenance de la turbine 5 et le fluide frigorigène en provenance de l'évaporateur 3 sont mélangés avant de traverser la boucle 11. Le fluide frigorigène est absorbé par l'absorbant et la solution de travail riche ressort de l'absorbeur 4 pour circuler dans la boucle 11 comprenant l'économiseur 8, la pompe 9 et le détendeur 10 telle que décrite en ci-dessus.

[0097] La production de froid augmentée par rapport à la figure 4 se fait au niveau de l'évaporateur 3 lors de l'évaporation du fluide frigorigène qui s'accompagne d'un refroidissement de la source chaude. La source chaude refroidie peut ensuite être utilisée par exemple pour de la climatisation. L'électricité est produite par la turbine supersonique 5 reliée à une génératrice électrique.

[0098] Un exemple de configuration type est fourni ci-après avec pour chaque composant du système:

- Générateur 1-Température source chaude : 100°C
- Rectifieur 13-Taux de rectification : 0,495
- Surchauffeur 7-Température à l'entrée de l'expandeur (fonctions B/, C/, D/ et D0/) : 120°C
- Condenseur 2-Température source intermédiaire : 30°C
- Evaporateur 3-Surchauffe : 5°C, Température source froide (fonction A/ et B/) : 5°C, Température source froide (fonction D/ et D0/) : 5°C
- Absorbeur 4-Température source intermédiaire : 30°C
- Pompe 9-Débit 350 kg/h, Rendement : 80 %
- Compresseur 5/Expandeur-Rendement : 50 %

[0099] Les tableaux 1 et 2 suivants illustrent les performances qu'il est possible d'atteindre avec cet exemple de configuration type pour les modes de fonctionnement permettant de réaliser les fonctions A/ à D0, le cas 3 étant celui comparatif

[0100] Les performances ont été calculées grâce à un modèle numérique développé avec le logiciel commercialisé sous l'acronyme EES (pour « Engineering Equation Solver ») dans lequel pour chaque composant les équations de conservation de l'énergie et de la masse sont formulées sous l'hypothèse de stationnarité.

[0101] Ces tableaux 1 et 2 résument donc à partir de différents cas 1 à 4, les différentes puissances, COP et rendements pour les fonctions A/ à D/ avec la configuration type.

[Tableau 1]

CAS	Température froid [°C]	Température source intermédiaire [°C]	Température générateur 1 [°C]	Débit Pompe [kg/h]	Puissance Absorbeur [kW]	Puissance Condenseur [kW]	Puissance Générateur 1 [kW]	Puissance froide [kW]	Puissance électrique de la turbine [kW]	COP [-]	Rendement de puissance du cycle	Rendement de second principe
1	5	30	100	350	15.99	10.86	18.35	10.35	0	0.56	0%	26.84%
2	5	30	100	350	16.87	4.57	18.32	4.35	0.54	0.56	4.9%	26.44%
3	5	30	100	350	16.9	6.463	18.33	6.159	0.1028	0.56	1.3%	18.83%
4	5	30	100	350	16.8	6.473	18.33	6.169	0.3174	0.56	4%	24.64%

[Tableau 2]

CAS	Pression haute [bar]	Pression basse [bar]	Pression entrée turbine [bar]	Débit vapeur générateur [kg/h]	Débit réfrigérant circuit de froid [kg/h]	Débit traité turbine [kg/h]	Ratio froid
1	13.43	4.27	13.43	34.33	31.87	0	1
2	13.43	4.27	13.43	34.24	13.41	19.8	0.422
3	13.43	4.27	9.33	34.27	18.96	13.84	0.596
4	13.43	4.27	11.22	34.27	18.99	16.77	0.597

[0102] Dans ces tableaux 1 et 2 :

CAS 1 : Seule production de froid à l'évaporateur (fonction A/).

CAS 2 : Productions simultanées de travail mécanique/électrique par la turbine et de froid à l'évaporateur (fonction C/).

CAS 3 : Régulation du rapport entre production de froid et production électrique en effectuant une lamination avant l'entrée dans la turbine.

CAS 4 : Régulation du rapport entre production de froid et production électrique en utilisant l'éjecteur selon l'invention.

[0103] Pour la production de froid seule et combinée à la production d'électricité (fonctions A/, C/, D/ et D0/), le COP est défini par l'équation (1).

[Equation 1]

$$COP = \frac{Q_{chaud}}{W_{turb} + W_{pump}} \quad (1)$$

où Q_{chaud} est la puissance, $\dot{Q}_{des}$ délivrée par la source de chaleur au niveau du générateur 1, sous forme de chaleur, W_{turb} la puissance électrique délivrée par la turbine 5, W_{pump} la puissance électrique consommée par la pompe 9.

[0104] Pour la production de froid seule et combinée à la production d'électricité (fonctions A/, C/, D/ et D0/) le rendement de seconde principe $\eta_{II, cycle}$ est défini par l'équation (2) :

[Equation 2]

$$\eta_{II, cycle} = \eta_{II, froid} \times r_s + \eta_{II, puissance} \times (1 - r_s) \quad (2)$$

avec

[Equation 3]

$$\eta_{II, froid} = \frac{COP}{COP_{Carnot}} \quad (3)$$

[Equation 4]

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e \times (T_g - T_c)}{T_g \times (T_c - T_e)} \quad (4)$$

[Equation 5]

$$COP = \frac{\dot{Q}_{Evap}}{(\dot{Q}_{gen} + \dot{W}_{pomp}) \times r_s} \quad (5)$$

[Equation 6]

$$\eta_{II, puissance} = \frac{\eta_I}{\eta_{Carnot}} \quad (6)$$

[Equation 7]

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_c}{T_g} \quad (7)$$

[Equation 8]

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{turb}}{(\dot{Q}_{gen} + \dot{W}_{pomp}) \times r_s + \dot{Q}_{SH}} \quad (8)$$

[0105] Où r_s est le rapport entre le débit passant par la partie froide du circuit et le débit produit par le générateur, T_e est la température externe à l'évaporateur, T_c la température externe au condenseur, T_g la température externe au générateur.

[0106] Pour mettre en exergue l'apport réalisé par un éjecteur 50 selon l'invention, les inventeurs ont fait la simulation avec une configuration comparative (cas 3), analogue à celle type de l'invention mais qui comporte en lieu et place d'un éjecteur une vanne de laminage. Dans cette configuration comparative, l'éjecteur 50, la ligne 15 et l'échangeur 14 sont donc supprimés et la vanne de laminage est agencée sur la ligne fluide entre le générateur 1 et le surchauffeur 7, en aval de la dérivation de la ligne vers le condenseur 2. Ainsi, dans cette configuration comparative (cas 3), le rapport entre production électrique et production de froid est réglé au moyen de la vanne de laminage.

[0107] En comparant les résultats des tableaux 1 et 2 entre le cas 4 (éjecteur selon l'invention) et le cas 3 (vanne de laminage), on constate que la mise en œuvre de l'éjecteur permet d'avoir presque la même production de puissance froide et une production électrique beaucoup plus importante qu'avec une vanne de laminage. Cela se traduit par un rendement de production électrique et un rendement global de second principe du cycle beaucoup plus élevés dans le cas d'utilisation de l'éjecteur par rapport à celle d'une vanne de laminage.

[0108] Cette production plus élevée est engendrée par les augmentations suivantes :

- augmentation du débit de fluide de travail au travers de la turbine 5 (16,77 kg/h avec éjecteur contre 13,84 kg/h sans éjecteur) ;
- augmentation de la pression à l'amont de la turbine 5 (11,22 bar avec éjecteur contre 9,335 bar sans éjecteur) ;
- augmentation du rendement de la turbine 5 (40% avec éjecteur contre 18,4 % sans éjecteur) ;

- augmentation de la teneur en ammoniac (0,969 avec éjecteur contre 0,963 sans éjecteur).

[0109] Néanmoins, l'utilisation d'un éjecteur implique une légère augmentation de la puissance thermique nécessaire à la surchauffe par l'échangeur 14.

[0110] L'éjecteur 50 selon l'invention est dimensionné au débit nominal sur la turbine 5 pour la production électrique (fonction D/). Un exemple d'agencement d'un éjecteur 50 en amont du surchauffeur 7 et de la turbine supersonique 5 est montré à la figure 6. Pour le dimensionnement il est nécessaire de dimensionner correctement la section critique du col sonique 51 de l'injecteur du fluide primaire, qui définit le débit critique traité par celui-ci, et sa section de sortie 53 qui définit la pression de sortie de l'injecteur et influence donc le rapport d'entraînement.

[0111] Un exemple de calcul réalisé avec le logiciel EES correspondant à la configuration de la figure 6 est détaillé dans le tableau 3.

[Tableau 3]

	Entrée d'injecteur primaire 51	Entrée d'injecteur secondaire 52	Sortie d'injecteur primaire 53	Sortie d'injecteur secondaire 53	Sortie du mélangeur 54	Sortie du diffuseur 55
Section (mm ²)	1.5	32	5	2,5	7.5	30
Pression du fluide (bar)	13	4	3,7	3.7	9,19	9,71
Température du fluide (°C)	100	43	25.43	38.2	81, 52	85.81

[0112] L'éjecteur 50 est dans cette configuration dimensionné de façon à avoir un débit critique de 10 kg/h et un petit rapport d'entraînement.

[0113] L'utilisation d'un éjecteur 50 à section variable permet de réguler de façon fine et efficace la production électrique pour différents régimes (fonction D0/).

[0114] D'autres variantes et améliorations peuvent être envisagées sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

[0115] En lieu et place d'une solution de travail consistant en le couple ammoniac/eau, on peut envisager d'utiliser dans le système selon l'invention des liquides ioniques.

[0116] Dans tous les modes de fonctionnement dans lesquels la turbine 5 fonctionne (fonctions B/, C/ D/ et D0/), la turbine peut ne pas être reliée à une génératrice électrique et produire du travail mécanique uniquement.

[0117] On peut prévoir de réaliser l'entraînement de la pompe 9 par la turbine 5 dans certains cas.

[0118] Les flux du fluide de travail peuvent être séparés en sortie de rectifieur 13, plutôt qu'en sortie de générateur 1 selon la configuration montrée en figure 1.

[0119] Pour le fonctionnement du rectifieur 13, on peut utiliser le fluide sortant de la pompe 9 comme source froide afin de rectifier l'ammoniac.

[0120] On peut ajouter une ligne fluide de dérivation pour augmenter la pression de l'absorbeur 4 depuis l'éjecteur 50.

[0121] Le système peut comprendre au moins un module de stockage de frigories associé à l'évaporateur 3. Le stockage de frigories permet ainsi un stockage d'énergie lorsque la source et le besoin ne sont pas concomitants. Les frigories stockées peuvent être déstockées sous forme de froid ou bien sous forme d'électricité en fonction des besoins. Le module de stockage de frigories peut être un système de stockage thermique par Matériau à Changement de Phase ou bien directement un stockage de fluide froid. Le module de stockage de frigories est associé à l'évaporateur 3 pour stocker des frigories lors du fonctionnement pour la production de froid. Avantageusement, le module de stockage de frigories est également associé à l'absorbeur 4 pour déstocker des frigories vers l'absorbeur 4 lorsqu'une source de refroidissement est souhaitée, c'est-à-dire notamment dans les différents modes de fonctionnement.

[0122] Le système peut comprendre un module de stockage de frigories associé à l'absorbeur 4 pour déstocker les frigories.

[0123] Le système peut comprendre aussi au moins un module de stockage de calories associé à l'absorbeur 4 ou associé au générateur 1 pour déstocker les calories.

[0124] Le système peut comprendre au moins un module de stockage d'électricité associé à la turbine supersonique 5 et plus spécifiquement à la génératrice électrique associée à la turbine 5. Le stockage d'électricité permet ainsi un stockage d'énergie lorsque la source et le besoin ne sont pas concomitants. L'électricité stockée peut être déstockée sous forme de froid ou bien sous forme d'électricité en fonction des besoins.

[0125] À titre d'exemple des batteries électriques peuvent être prévues.

Liste des références citées

[0126]

- 5 [1] : Gokmen Demirkaya, Ricardo Vasquez Padilla, Armando Fontalvo, Yee Yan Lim. « Thermal and Exergetic Analysis of the Goswami Cycle Integrated with Mid-Grade Heat Sources ». August 2017 Entropy 19(8):416. DOI: 10.3390/e19080416.
- 10 [2]: Voeltzel, N., Phan, H. T., Blondel, Q., Gonzalez, B., and Tauveron, N., 2020, "Steady and Dynamical Analysis of a Combined Cooling and Power Cycle," Therm. Sci. Eng. Prog., 19 (July), p. 100650.
- [3]: Elbel, S., and Hrnjak, P., 2008, "Experimental Validation of α Prototype Ejector Designed to Reduce Throttling Losses Encountered in Transcritical R744 System Operation," Int. J. Refrig., 31(3), pp. 411- 422.

15

Revendications

1. Système de production de froid et d'énergie électrique comprenant :

- 20 - un désorbeur, appelé générateur (1),
 - un condenseur (2),
 - un évaporateur (3),
 - un absorbeur (4),
 - un circuit fluide d'absorption (100) dans lequel circule un fluide de travail comprenant un fluide frigorigène et un absorbant, le circuit fluide (100) reliant le générateur (1) au condenseur (2), le condenseur (2) à l'évaporateur (3), l'évaporateur (3) à l'absorbeur (4) et l'absorbeur (4) au générateur (1),
 25 - une turbine supersonique (5) agencée sur le circuit fluide (100) entre le générateur (1) et l'absorbeur (4) en dérivation du condenseur (2) et de l'évaporateur (3), la turbine étant configurée pour actionner une génératrice électrique pour produire de l'électricité,
 30 - au moins un éjecteur (50) agencé sur le circuit fluide entre le générateur et la turbine.

2. Système selon la revendication 1, l'éjecteur étant un éjecteur simple ou à section du col variable.

35 3. Système selon la revendication 1 ou 2, le fluide de travail comprenant en tant que fluide frigorigène de l'ammoniac (NH_3) et en tant qu'absorbant de l'eau (H_2O).

40 4. Système selon l'une des revendications précédentes, le circuit fluide (100) comprenant un échangeur (14) agencé sur une ligne fluide de dérivation (15) en dérivation de la connexion fluide entre l'évaporateur (3) et l'absorbeur (4), la ligne de dérivation (15) étant connectée à l'injecteur du fluide secondaire de l'éjecteur (50) de sorte que l'échangeur (14) réchauffe le fluide secondaire avant son entrée dans l'éjecteur (50).

5. Système selon l'une des revendications précédentes, la turbine (5) étant configurée pour entraîner la pompe (9) de circulation du fluide de travail.

45 6. Système selon l'une des revendications précédentes, comprenant un rectifieur (13) du fluide frigorigène, agencé entre le générateur (1) et le condenseur (2).

7. Système selon la revendication 6, les flux des solutions dites riche et pauvre du fluide de travail étant séparés en sortie du générateur (1) ou en sortie du rectifieur (13).

50 8. Système selon la revendication 6 ou 7, le fluide à la sortie de la pompe (9) de circulation du fluide de travail étant utilisé comme source froide du rectifieur (13).

55 9. Système selon l'une des revendications précédentes, comprenant une ligne fluide de dérivation entre l'éjecteur (50) et l'absorbeur (4) de sorte à augmenter la pression du fluide de travail dans ce dernier.

10. Système selon l'une des revendications précédentes, comprenant en tant que source de chaleur une chaleur basse température avantageusement comprise entre 70°C et 150°C.

11. Procédé de production d'énergie électrique et d'énergie thermique mis en œuvre par un système selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant :

- dans un premier mode de fonctionnement de production de froid seule, circulation du fluide de travail dans le circuit fluide (100) successivement au travers du générateur (1), du condenseur (2), de l'évaporateur (3) puis de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1) ;
- dans un deuxième mode de fonctionnement de production d'énergie électrique seule, circulation du fluide de travail dans le circuit fluide (100) successivement au travers du générateur (1), de la turbine supersonique (5) associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1) ;
- dans un troisième mode de fonctionnement de co-production de froid et d'énergie électrique, circulation d'une partie du fluide de travail dans le circuit fluide (100) successivement au travers du générateur (1), du condenseur (2), de l'évaporateur (3) puis de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1) et de l'autre partie du fluide de travail successivement au travers du générateur (1), de la turbine supersonique (5) associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1) ;
- dans un quatrième mode de fonctionnement de co-production de froid et d'énergie électrique avec un rapport régulé entre production de froid et production électrique, circulation d'une partie du fluide de travail dans le circuit fluide (100) successivement au travers du générateur (1), du condenseur (2), de l'évaporateur (3) puis de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1) et de l'autre partie du fluide de travail successivement au travers du générateur (1), de l'éjecteur (50), de la turbine supersonique (5) associée à une génératrice électrique, de l'absorbeur (4) puis à nouveau dans le générateur (1).

12. Utilisation d'un système de production de froid et d'énergie électrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 pour une production électrique d'une puissance supérieure à 100 kWe.

[Fig 1]

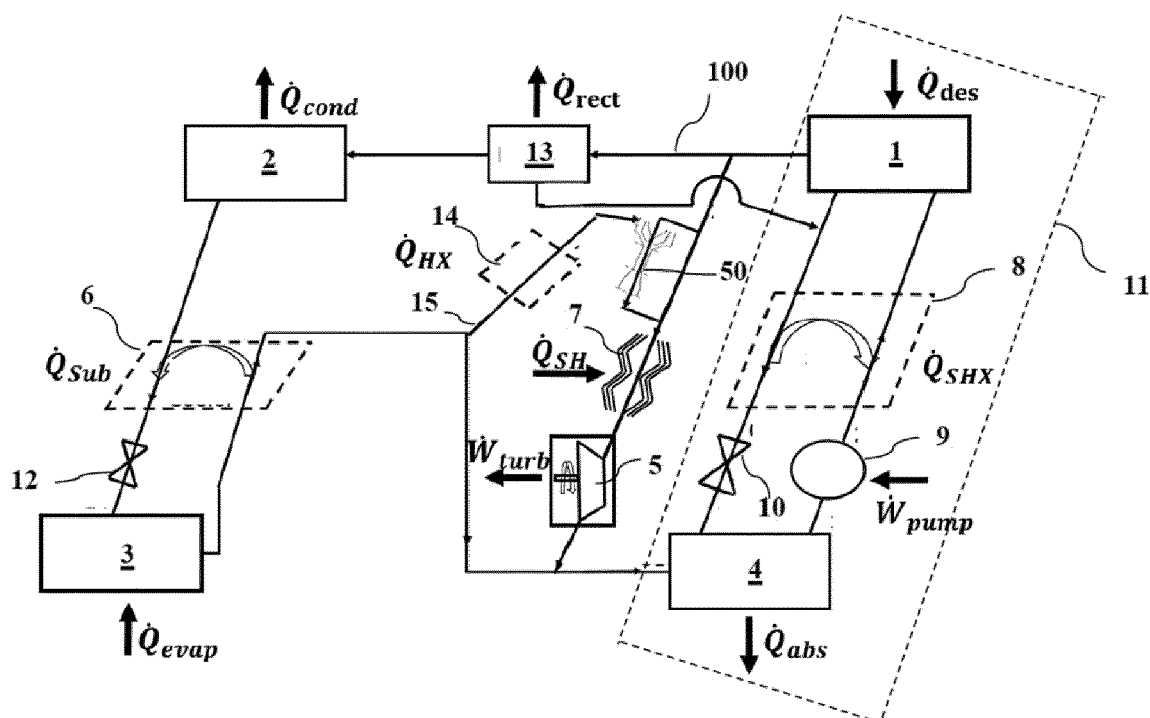


Fig.1

[Fig 2]

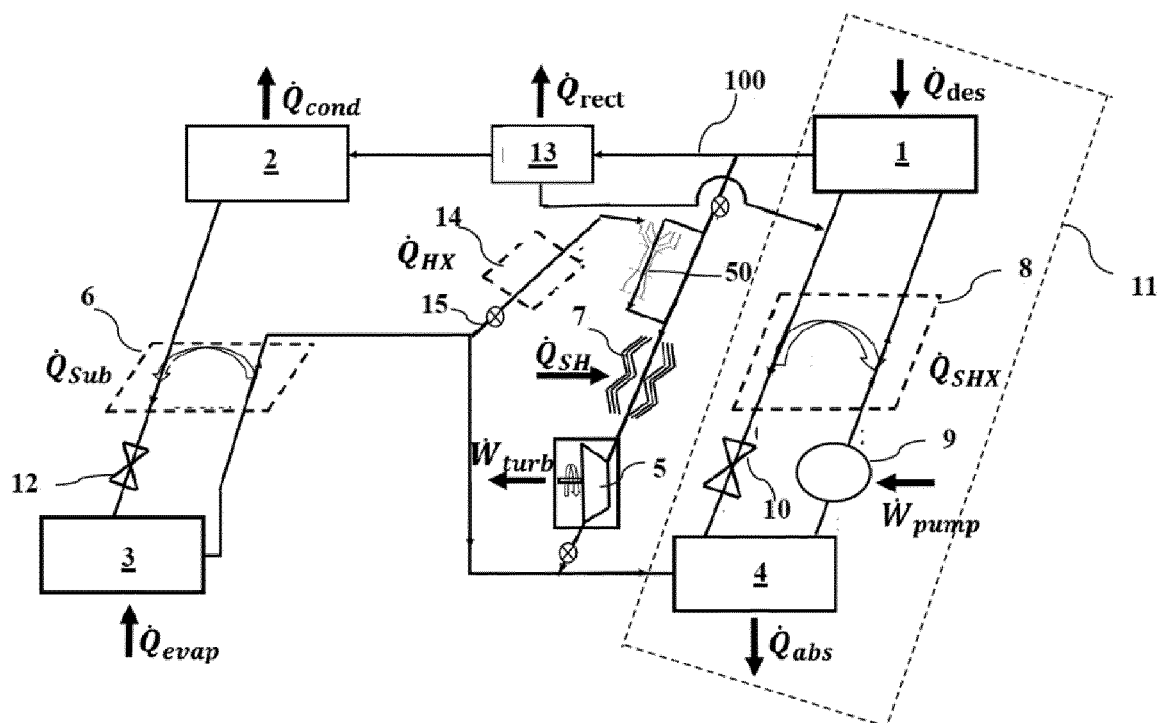


Fig.2

[Fig 3]

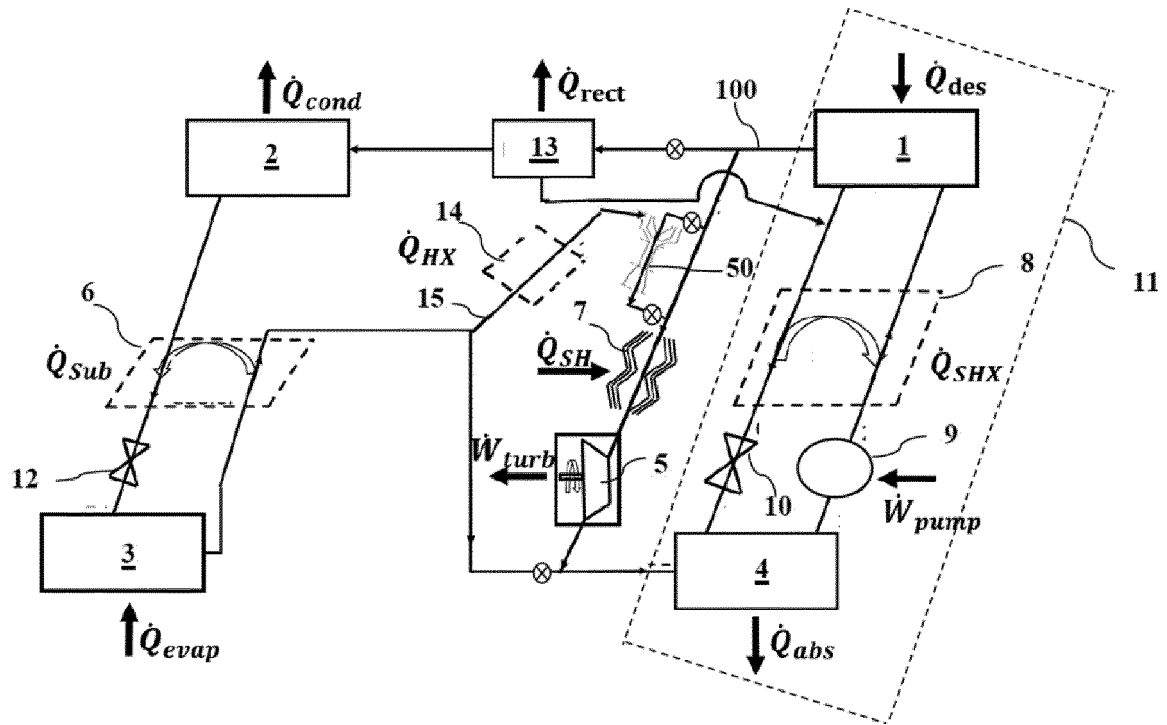


Fig.3

[Fig 4]

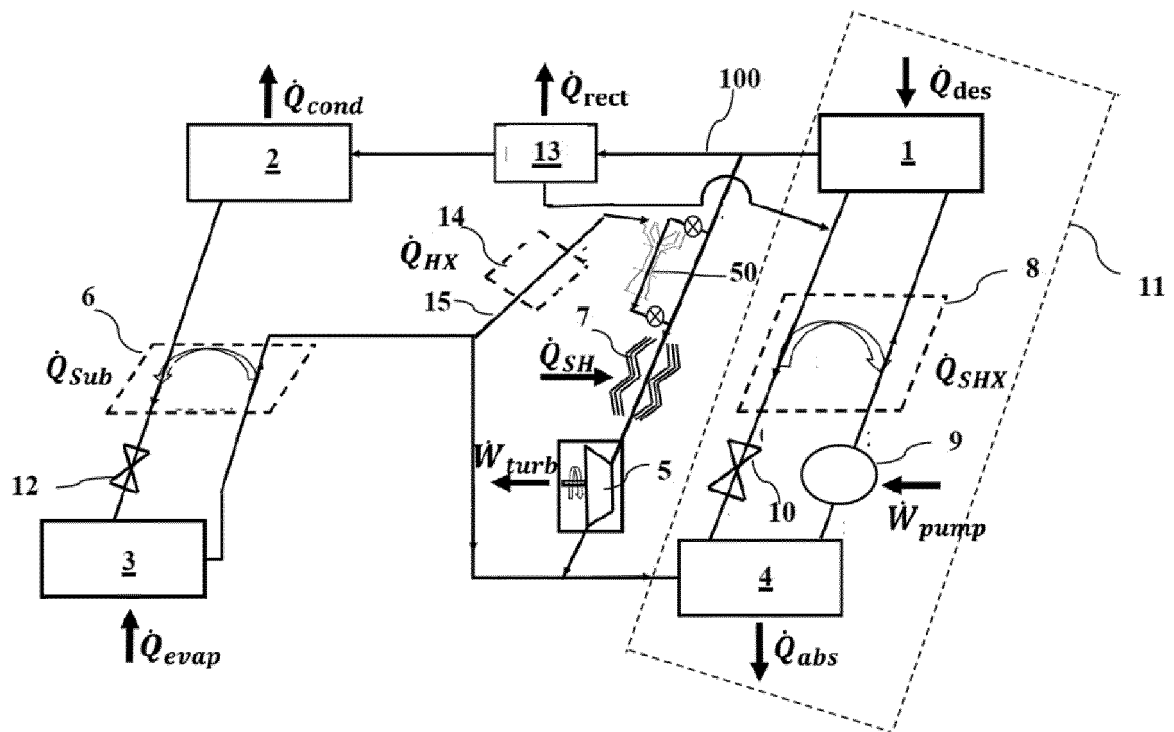


Fig.4

[Fig 5]

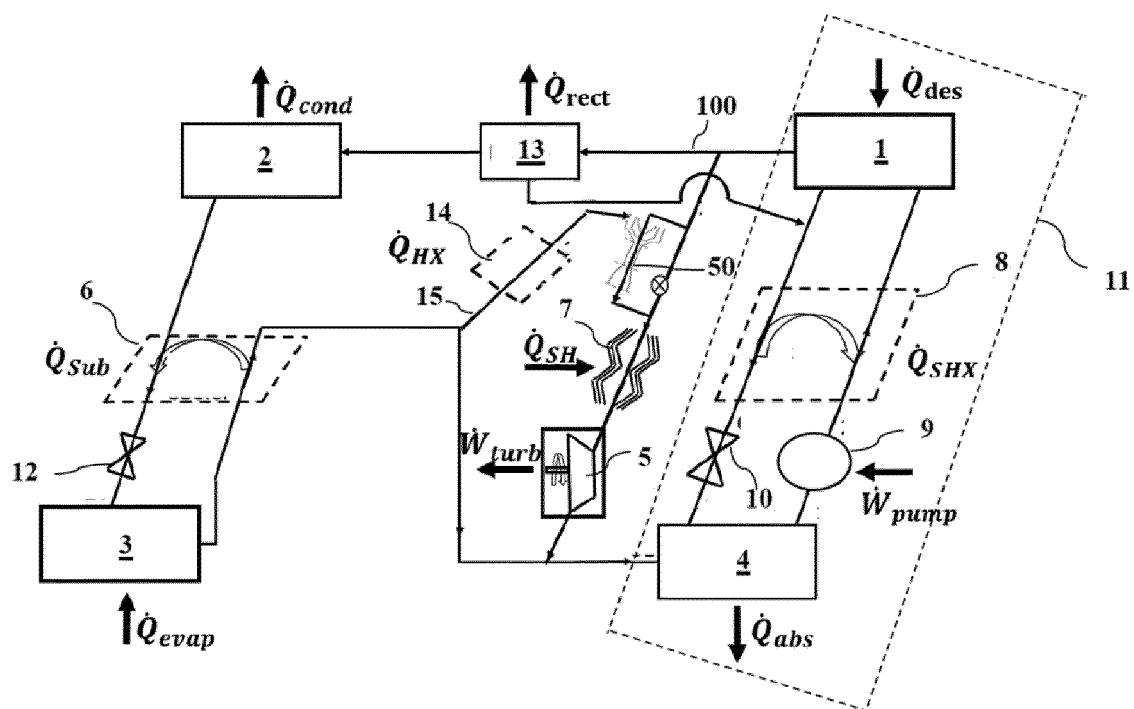


Fig.5

[Fig 6]

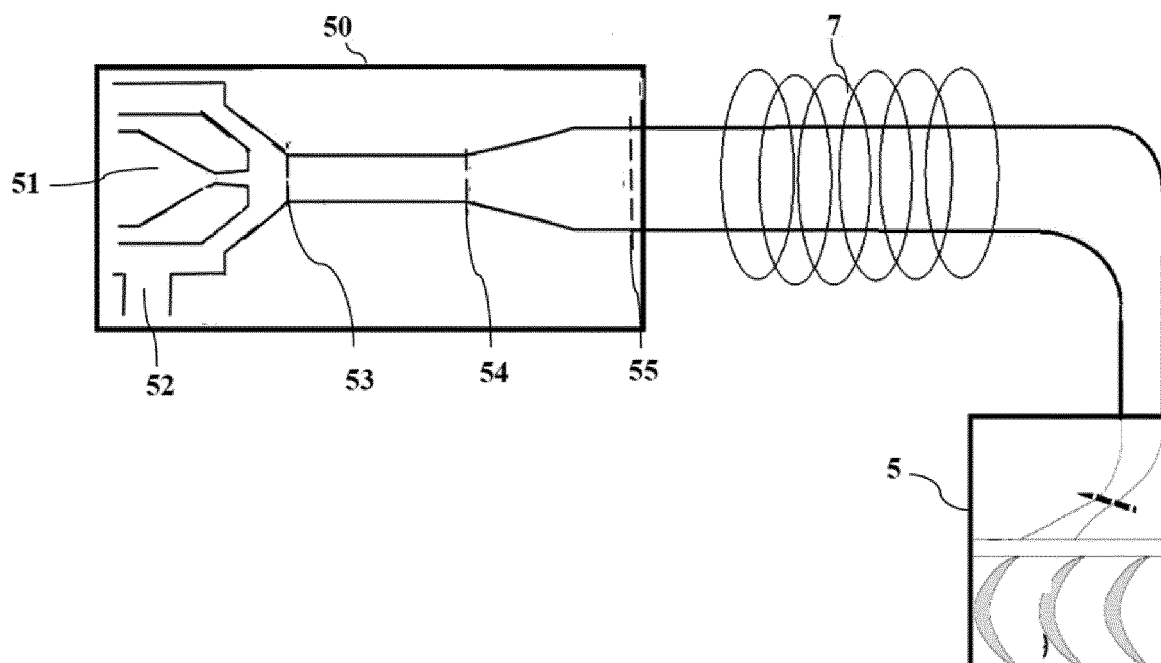


Fig.6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 18 3504

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	EP 3 748 274 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 9 décembre 2020 (2020-12-09) * alinéa [0056] * * figures 1-5 *	1-12	INV. F25B15/04
A	EP 3 748 137 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 9 décembre 2020 (2020-12-09) * figures 1-5 * * alinéa [0054] *	1-12	
A	AYOU DEREJE S. ET AL: "An overview of combined absorption power and cooling cycles", RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, vol. 21, 1 mai 2013 (2013-05-01), pages 728-748, XP055897934, US ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2012.12.068 * le document en entier *	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) F25B
A,D	ES 2 512 990 B1 (UNIV ROVIRA I VIRGILI [ES]) 18 septembre 2015 (2015-09-18) * figures 3,4 *	1-12	
A	AT 511 823 A4 (BECKMANN GEORG DR [AT]) 15 mars 2013 (2013-03-15) * figures 1-3 *	1-12	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 11 novembre 2022	Examineur Dezso, Gabor
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 18 3504

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

11-11-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3748274 A1	09-12-2020	EP 3748274 A1	09-12-2020
		FR 3097039 A1	11-12-2020
EP 3748137 A1	09-12-2020	EP 3748137 A1	09-12-2020
		FR 3097038 A1	11-12-2020
ES 2512990 B1	18-09-2015	AUCUN	
AT 511823 A4	15-03-2013	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 3748274 A1 [0011] [0012] [0031]
- ES 2512990 B1 [0013]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **GOKMEN DEMIRKAYA ; RICARDO VASQUEZ PADILLA ; ARMANDO FONTALVO ; YEE YAN LIM.** Thermal and Exergetic Analysis of the Goswami Cycle Integrated with Mid-Grade Heat Sources. *Entropy*, Août 2017, vol. 19 (8), 416 [0126]
- **VOELTZEL, N. ; PHAN, H. T. ; BLONDEL, Q. ; GONZALEZ, B. ; TAUVERON, N.** Steady and Dynamical Analysis of a Combined Cooling and Power Cycle,. *Therm. Sci. Eng. Prog.*, Juillet 2020, vol. 19, 100650 [0126]
- **ELBEL, S. ; HRNJAK, P.** Experimental Validation of α Prototype Ejector Designed to Reduce Throttling Losses Encountered in Transcritical R744 System Operation,. *Int. J. Refrig.*, 2008, vol. 31 (3), 411-422 [0126]