

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
7 janvier 2010 (07.01.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/001071 A2

(51) Classification internationale des brevets :
F25B 29/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/051311

(22) Date de dépôt international :
3 juillet 2009 (03.07.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0854525 3 juillet 2008 (03.07.2008) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : 2F2C
[FR/FR]; ZI Bombe, F-43700 Saint Germain Laprade
(FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) :
GOURGOILLAT, Jean-Marc [FR/FR]; La Chaud de
Rougeac, F-43800 Rosieres (FR).

(74) Mandataire : LE CACHEUX, Samuel; Lavoix, 62, rue
de Bonnel, F-69448 Lyon Cedex 03 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : FACILITY FOR COOLING AT LEAST ONE ITEM OF FURNITURE AND/OR A REFRIGERATING CHAMBER
AND FOR HEATING AT LEAST ONE ROOM, AND AIR HEAT EXCHANGER FOR THIS FACILITY

(54) Titre : INSTALLATION DE RÉFRIGÉRATION D'AU MOINS UN MEUBLE ET/OU UNE CHAMBRE FRIGORIFIQUE
ET DE CHAUFFAGE D'AU MOINS UN LOCAL, ET ÉCHANGEUR DE CHALEUR À AIR POUR CETTE INSTALLATION

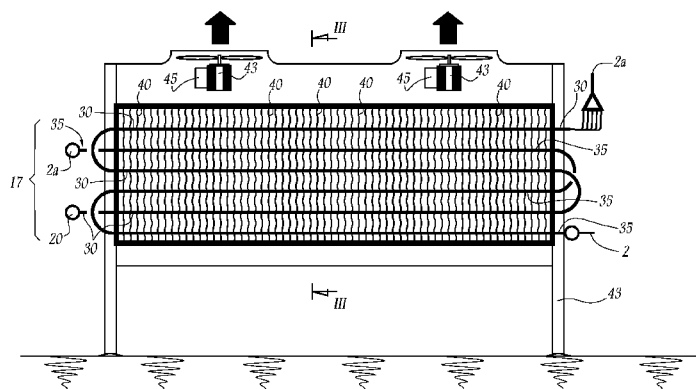


Fig.2

(57) Abstract : The air exchanger comprises at least one tubular circuit for evaporating a refrigerant and thermally conducting fins (40) fastened to the tubular evaporation circuit and at least one tubular circuit (35) for condensing a refrigerant, which is connected via thermally conducting fins (40) to the evaporation circuit.

(57) Abrégé : L'échangeur à air comprend au moins un circuit tubulaire d'évaporation d'un fluide frigorigène et des ailettes (40) thermiquement conductrices solidaires du circuit tubulaire d'évaporation ainsi qu'au moins un circuit tubulaire de condensation (35) d'un fluide frigorigène relié par des ailettes (40) thermiquement conductrices au circuit d'évaporation.

WO 2010/001071 A2

**Installation de réfrigération d'au moins un meuble et/ou une
chambre frigorifique et de chauffage d'au moins un local, et
échangeur de chaleur à air pour cette installation**

5 La présente invention concerne le domaine technique des installations frigorifiques utilisées pour assurer la réfrigération de produits divers et notamment de produits alimentaires.

 Dans le domaine ci-dessus, il est connu de mettre en œuvre, notamment dans les grandes surfaces alimentaires, une installation
10 frigorifique comprenant des circuits haute et basse pression de fluide frigorigène raccordés à une ou plusieurs unités de réfrigération telle qu'une armoire ou une vitrine réfrigérée ou encore une chambre froide. L'installation frigorifique comprend en outre un groupe de compression qui aspire le fluide frigorigène du circuit basse pression et
15 le refoule comprimé dans le circuit haute pression. L'installation comprend par ailleurs, en aval du groupe de compression, un condenseur extérieur au niveau duquel le fluide frigorigène est refroidi avant d'être redirigé vers l'unité de réfrigération ou un réservoir de stockage intermédiaire. Une telle installation donne pleinement
20 satisfaction en ce qui concerne sa fonction de conservation à des températures de consigne basses de produits fragiles ou de denrées alimentaires. Toutefois, la dissipation à l'extérieur de la chaleur extraite au niveau des unités de réfrigération et résultant du travail du groupe de compression constitue une perte sèche d'énergie qui,
25 compte tenu des coûts de l'énergie et des impératifs de développement durable, n'est pas satisfaisante.

 Afin de remédier à cet inconvénient de gaspillage d'énergie, une demande EP 0 431 797 a proposé d'adapter, dans un aérotherme, un circuit de condensation alimenté en fluide frigorigène haute pression gazeux de manière à en récupérer la chaleur pour chauffer des locaux.
30 Cependant, l'installation proposée par la demande EP 0 431 797 ne

permet pas de disposer de suffisamment de chaleur pour assurer, seule, un chauffage satisfaisant en hiver.

Une demande EP 1 921 401 a alors proposé une installation frigorifique dont la chaleur extraite est récupérée pour assurer le chauffage d'un accumulateur de chaleur qui est en relation avec un circuit d'eau de chauffage central et/ou un circuit d'eau chaude sanitaire. L'installation, selon la demande EP 1 921 401, comprend en outre un évaporateur extérieur qui permet, durant la période hivernale, de prélever à l'extérieur la chaleur supplémentaire nécessaire pour satisfaire les besoins de chauffage. Pendant la période estivale, la chaleur extraite par l'installation selon EP 1 921 401 est évacuée en majeure partie au niveau d'un condenseur extérieur totalement indépendant de l'évaporateur extérieur. Si cette installation permet d'obtenir un complément de chaleur dans des conditions satisfaisantes par un fonctionnement en pompe à chaleur, elle présente toutefois l'inconvénient de ne pas offrir une puissance suffisante pour couvrir les besoins de chauffage des locaux de sorte qu'il est prévu des moyens de chauffage électrique complémentaire ce qui pénalise les performances environnementales de l'installation. De plus, cette installation prévoit un dégivrage de l'évaporateur extérieur par inversion de cycle ce qui affecte également les performances de l'installation dans la mesure où la conception de l'évaporateur extérieur doit alors résulter d'un compromis entre ses modes de fonctionnement en évaporateur et en condenseur. Enfin, la demande EP 1 921 401 prévoit de placer l'échangeur de chaleur intérieur pour le chauffage en série avec le condenseur extérieur et en amont de ce dernier, ce qui pénalise le rendement énergétique de l'installation et impose la mise en œuvre d'une quantité importante de fluide frigorigène liquide pour remplir le circuit en aval de l'échangeur de chaleur lorsque le fluide frigorigène est intégralement condensé dans ce dernier.

Ainsi, il est apparu le besoin d'un nouveau type d'installation frigorifique qui permette, d'une part, d'assurer une récupération d'une partie au moins de la chaleur disponible au niveau du fluide frigorigène pour chauffer des locaux et, d'autre part, d'éventuellement compléter cet apport de chaleur dans des conditions économiquement et écologiquement satisfaisantes et qui présente, par ailleurs, à puissance électrique absorbée équivalente des performances supérieures à celles des installations frigorifiques connues ainsi que des coûts de maintenance moindres.

10 Afin d'atteindre cet objectif, l'invention concerne une installation frigorifique à fluide frigorigène comprenant au moins :

- des circuits haute pression et basse pression,
- une unité de réfrigération comprenant au moins un évaporateur disposé dans un meuble ou une chambre frigorifique et raccordé aux circuits haute et basse pression,
- 15 – une unité de climatisation comprenant au moins un échangeur qui est disposé à l'intérieur d'un local et qui comprend au moins un condenseur raccordé aux circuits haute et basse pression,
- une unité extérieure comprenant au moins un échangeur à air qui est disposé à l'extérieur et qui comprend un circuit de condensation
- 20 raccordé aux circuits haute et basse pression,
- un groupe de compression principal raccordé aux circuits haute et basse pression,
- un groupe de compression auxiliaire raccordé aux circuits haute et basse pression,
- 25 – une unité de commande qui pilote au moins le fonctionnement de l'installation.

Selon l'invention, l'unité frigorifique est caractérisée en ce que :

- l'échangeur à air de l'unité extérieure comprend :

- un circuit tubulaire d'évaporation adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène basse pression et raccordé aux circuits haute et basse pression,
- des ailettes thermiquement conductrices reliant le circuit tubulaire d'évaporation et le circuit tubulaire de condensation en étant solidaire des circuits tubulaires d'évaporation et de condensation, le circuit tubulaire de condensation étant adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène haute pression et dimensionné pour dissiper l'intégralité de la chaleur résultant du maintien, au niveau de chaque unité de réfrigération, des températures de consigne lorsque il règne à l'extérieur une température estivale,
- l'unité de commande est adaptée pour placer l'installation :
 - soit dans un mode de fonctionnement de réfrigération pure, dans lequel la puissance de tous les groupes de compression est disponible pour de l'extraction de chaleur uniquement au niveau de chaque unité de réfrigération,
 - soit dans un mode de fonctionnement mixte, réfrigération/pompe à chaleur, dans lequel la puissance du groupe de compression auxiliaire est disponible pour de l'extraction de chaleur au niveau de l'unité extérieure et la puissance de chaque autre groupe de compression est disponible pour de l'extraction de chaleur au niveau de chaque unité de réfrigération,
- les groupes de compression sont dimensionnés pour que leurs puissances cumulées soient suffisantes pour maintenir, au niveau de chaque unité de réfrigération, les températures de consigne lorsque il règne à l'extérieur une température estivale et que l'installation est en mode de réfrigération pure.

Une telle installation frigorifique selon l'invention est particulièrement adaptée au refroidissement des unités de réfrigération et au chauffage d'un local avec la chaleur récupérée au niveau des unités de réfrigération et résultant de la compression du

fluide frigorigène. A cet égard, la mise en œuvre d'un groupe de compression auxiliaire permet, lorsque la chaleur récupérée au niveau des unités de réfrigération n'est pas suffisante pour chauffer le local de façon satisfaisante, de prélever à l'extérieur la chaleur manquante et nécessaire pour atteindre le niveau de chauffage satisfaisant.

Selon l'invention, l'échangeur de chaque unité de climatisation peut être de toute nature appropriée. Ainsi, l'échangeur de chaque unité de climatisation, ou de certaines unités seulement, peut être un échangeur permettant le chauffage d'un liquide caloporteur, tel que par exemple mais non exclusivement, l'eau d'un circuit de chauffage, ou encore de l'eau sanitaire. L'échangeur de chaque unité de climatisation, ou de certaines unités seulement, peut également être un échangeur de chaleur à air également appelé aérotherme. La mise en œuvre d'un tel échangeur à air présente l'avantage de chauffer directement l'air sans mise en œuvre d'un fluide caloporteur intermédiaire et permet de disposer d'un rendement optimal et de simplifier la mise en œuvre et l'exploitation de l'installation frigorifique selon l'invention. Bien entendu, l'installation selon l'invention est aussi susceptible de mettre en œuvre plusieurs unités de climatisation ayant des types d'échangeurs différents.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'une unité extérieure conçue pour permettre, tout à la fois, une évacuation totale de la chaleur en été et une récupération de chaleur d'appoint en hiver avec des circuits reliés par des ailettes permet d'obtenir une unité extérieure à double fonction compacte.

Diverses formes de réalisation de l'installation peuvent être envisagées. Ainsi les circuits haute et basse pression peuvent comprendre un circuit haute pression principal, un circuit haute pression secondaire et un circuit basse pression principal. L'évaporateur de l'unité de climatisation sera alors alimenté en fluide frigorigène par le circuit haute pression principal via un détendeur et

raccordé au circuit basse pression principal. Le circuit d'évaporation de l'unité extérieure sera alimenté par le circuit haute pression principal via un détendeur et raccordé à un circuit basse pression auxiliaire tandis que le circuit de condensation de l'unité extérieure est raccordé
5 au circuit haute pression principal en amont des évaporateurs. Le groupe de compression principal aspirera le fluide frigorigène du circuit basse pression principal et refoulera le fluide frigorigène comprimé dans le circuit haute pression principal tandis que le groupe de compression auxiliaire aspire le fluide frigorigène du circuit basse
10 pression auxiliaire et refoulera le fluide frigorigène comprimé dans le circuit haute pression principal.

L'installation peut également comprendre une vanne d'isolation pilotée pour ouvrir ou fermer la communication entre le circuit basse pression auxiliaire et le circuit d'évaporation de l'échangeur extérieur,
15 ainsi qu'un circuit de dérivation qui raccorde le circuit basse pression principal au circuit basse pression secondaire et qui est équipé d'une vanne de dérivation pilotée pour ouvrir ou fermer le circuit de dérivation. L'unité de commande est alors adaptée pour :

- dans le mode de fonctionnement de réfrigération pure, fermer la
20 vanne d'isolation et ouvrir la vanne de dérivation, de sorte que la puissance du groupe de compression auxiliaire est disponible pour de l'extraction de chaleur uniquement au niveau de chaque l'unité de réfrigération,
- dans le mode de fonctionnement mixte, réfrigération / pompe à
25 chaleur, ouvrir la vanne d'isolation et fermer la vanne de dérivation, de sorte que la puissance du groupe de compression auxiliaire est disponible pour de l'extraction de chaleur au niveau de l'unité extérieure.

Selon une variante de l'invention, l'unité de commande est
30 adaptée pour passer du mode de fonctionnement mixte au mode de

fonctionnement de réfrigération pure et inversement en fonction des besoins de réfrigération.

Il doit être noté que la surface importante du circuit de condensation, résultant de son dimensionnement pour l'évacuation de chaleur en été, permet d'obtenir une très grande efficacité pour un dégivrage de l'unité extérieure lors de son fonctionnement en mode mixte. A cet effet, selon une variante de réalisation de l'invention, l'installation comprend des moyens de dégivrage de l'échangeur de l'unité extérieure adaptés pour assurer, dans le cadre du fonctionnement en mode mixte de l'installation, l'alimentation temporaire du circuit de condensation de l'unité extérieure. La mise en œuvre de tels moyens de dégivrage permet de préserver l'efficacité de l'échangeur thermique extérieur notamment lorsque ce dernier est utilisé comme source de chaleur en période hivernale. L'utilisation du circuit de condensation, conçu pour supporter les hautes pressions, du fluide frigorigène permet d'éviter de recourir à un dégivrage par inversion de cycle au niveau du circuit d'évaporation ce qui présente l'avantage, d'une part, de ne pas devoir dimensionner le circuit d'évaporation pour les hautes pressions, d'autre part, d'éviter de soumettre le circuit d'évaporation au choc thermique résultant d'un passage rapide d'une température négative à une température positive, par exemple, supérieure à 30° et, par ailleurs, d'éviter les risques d'aspiration de liquide lors du redémarrage en pompe à chaleur. De plus, les ailettes reliant les circuits de condensation et d'évaporation amortissent les différences de dilation entre les circuits de condensation et d'évaporation lors des phases de dégivrage réduisant ainsi les contraintes mécaniques subies par ces circuits. L'invention permet, par séparation des circuits d'évaporation et de condensation de l'unité extérieure, d'optimiser leur dimensionnement pour leur régime de fonctionnement nominal avec des pertes de charge correctes, des vitesses de fluide maîtrisées permettant un bon

retour d'huile ce qui contribue aux performances de l'ensemble de l'installation frigorifique.

Selon une caractéristique de l'invention, l'installation comprend :

- des moyens d'évaluation du givre sur l'échangeur extérieur,
 - 5 – au moins une vanne pilotée d'alimentation du circuit de condensation de l'échangeur à air,
- et l'unité de commande est adaptée pour piloter en ouverture d'une vanne d'alimentation du circuit de condensation lorsque le givre sur l'échangeur dépasse un certain seuil.

10 Selon l'invention, la détection du givre peut être réalisée de différentes manière comme par exemple en surveillant la charge d'un moteur de ventilation forcée de l'échangeur pour déduire de l'augmentation de la charge du moteur une apparition de givre sur l'échangeur. Selon une autre forme de réalisation, les moyens
15 d'évaluation du givre comprennent des moyens de mesure de l'humidité de l'air en entrée et en sortie de l'échangeur.

Selon une caractéristique de l'invention, l'unité de commande est adaptée pour commander une inversion du sens de fonctionnement d'un ventilateur extracteur équipant l'échangeur extérieur en fin de
20 dégivrage de ce dernier. Cette inversion de rotation permet d'obtenir un séchage optimal de l'échangeur de l'unité extérieure.

Selon un mode de réalisation, l'installation peut être adaptée à des activités nécessitant plusieurs niveaux de froid telles que, par exemple, des activités où il est nécessaire de conserver des produits
25 frais à des températures positives ainsi que des produits congelés à des températures négatives. L'installation frigorifique selon l'invention comprend alors:

- un circuit basse pression secondaire de fluide frigorigène,
- une unité frigorifique secondaire comprenant au moins un
30 évaporateur disposé dans un meuble ou un local frigorifique et

alimenté en fluide frigorigène par le circuit haute pression principal via un détendeur et raccordé au circuit basse pression secondaire,

- un groupe de compression secondaire qui aspire le fluide frigorigène du circuit basse pression secondaire et qui refoule le fluide frigorigène comprimé dans le circuit haute pression principal,

l'unité de commande étant adaptée pour piloter le fonctionnement du groupe de compression secondaire.

La mise en œuvre du groupe de compression secondaire refoulant le fluide frigorigène comprimé dans le même circuit principal haute pression que les autres groupes de compression permet d'utiliser l'intégralité de l'énergie thermique récupérée par l'ensemble des groupes de compression pour assurer le chauffage du ou des locaux dans lesquels sont situés les aérothermes.

Selon une caractéristique de l'invention, la puissance de groupe de compression auxiliaire n'est pas suffisante pour assurer le refroidissement du local dans des conditions de température extérieure estivales.

Selon un mode de réalisation de l'invention, au moins un aérotherme de l'unité de climatisation est adapté pour être réversible et fonctionner en condenseur ou en évaporateur, et l'installation comprend des moyens pour alimenter en fluide frigorigène chaque aérotherme fonctionnant en évaporateur.

Selon une variante de ce mode de réalisation, le groupe de compression auxiliaire possède une puissance suffisante pour assurer le refroidissement du local avec une température extérieure estivale.

L'invention concerne aussi un échangeur à air pour une installation frigorifique conforme à l'invention, cet échangeur à air comprend :

- un circuit tubulaire de condensation adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène haute pression,

- un circuit tubulaire d'évaporation adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène basse pression,
 - des ailettes thermiquement conductrices reliant le circuit tubulaire d'évaporation et le circuit tubulaire de condensation en étant
- 5 solidaires des circuits tubulaires d'évaporation et de condensation.

Selon l'invention le circuit de condensation présente une puissance d'échange suffisante pour assurer l'évacuation de chaleur en période estivale, c'est-à-dire que la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation est supérieure ou égale à la valeur

10 absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire d'évaporation.

L'échangeur selon l'invention présente l'avantage de disposer d'un circuit d'évaporation distinct du circuit de condensation de sorte que chacun de ces circuits est parfaitement dimensionné pour assurer de façon optimale sa fonction de condenseur ou d'évaporateur à la

15 différence d'un échangeur de chaleur dont le circuit serait adapté pour avoir un fonctionnement mixte soit en condenseur soit en évaporateur. La conception de l'échangeur selon l'invention lui permet donc d'obtenir un rendement énergétique optimal. Par ailleurs, la mise en œuvre d'ailettes communes aux circuits d'évaporation et de

20 condensation permet d'optimiser les échanges thermiques en phase de dégivrage dont la durée peut alors être raccourcie par rapport au temps de dégivrage dans le cadre d'un mode de construction qui consisterait à simplement juxtaposer l'un au dessus de l'autre un condenseur et un évaporateur. De plus, comme cela a été dit

25 précédemment, les ailettes assurent un amortissement mécanique des phénomènes de dilatation différentielle lors des phases de dégivrages.

Selon une caractéristique de l'invention, la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation possède une valeur comprise entre 1 à 5 fois à la valeur absolue de la puissance thermique du

30 circuit tubulaire d'évaporation.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la surface d'échange du circuit tubulaire de condensation présente entre 50 % et 80 % de la somme des surfaces d'échange des circuits tubulaires de condensation et d'évaporation.

5 Selon un mode de réalisation de l'échangeur à air, en conditions normales d'utilisation le circuit de condensation est situé en partie au moins en dessous du circuit d'évaporation. Cette disposition permet de mettre à profit les phénomènes de convection pour accélérer le dégivrage du circuit d'évaporation. Selon un autre mode de réalisation
10 de l'échangeur, les circuits de condensation et d'évaporation comprennent des boucles ou des nappes de tubes et certaines boucles ou nappes du circuit d'évaporation sont superposées et intercalées entre des boucles ou nappes du circuit de condensation.

 Selon une forme de réalisation de l'échangeur, les ailettes
15 possèdent une orientation sensiblement verticale.

 Selon une variante de l'invention, les circuits d'évaporation et de condensation possèdent des tubes principaux rectilignes qui sont inclinés de quelques degrés par rapport à l'horizontale, ce qui favorise le ruissellement de l'eau.

20 Selon une autre variante de l'invention, le circuit de condensation comprend au moins une nappe de tube qui forme la première nappe de tube en partant du bas de l'échangeur. Cette première nappe de tube forme de manière avantageuse une surface sur laquelle une partie de l'eau présente dans l'air se condensera ou se déposera, se
25 réduisant ainsi la charge de l'air circulant dans l'échangeur et réduisant donc la vitesse d'apparition de givre sur le circuit d'évaporation.

 Selon une caractéristique de l'invention, l'échangeur de chaleur comprend au moins un ventilateur électrique assurant une circulation
30 forcée de l'air dans l'échangeur.

Bien entendu les différentes caractéristiques, variantes, formes et modes de réalisation de l'installation et/ou de l'échangeur peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

Par ailleurs, diverses autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description effectuée en référence aux dessins annexés qui illustrent des exemples non limitatifs de réalisation d'un échangeur à air et d'installations frigorifiques selon l'invention.

La figure 1 est une vue schématique d'une installation frigorifique selon l'invention.

La figure 2 est une coupe longitudinale d'un échangeur de chaleur selon l'invention susceptible d'être mis en œuvre dans le cadre de l'installation illustrée à la figure 1.

La figure 3 est une coupe transversale de l'échangeur selon la ligne III-III de la figure 2.

La figure 4 est une vue schématique d'une autre forme de réalisation d'une installation frigorifique selon l'invention.

Une installation frigorifique selon l'invention, telle qu'illustrée à la figure 1 et désignée dans son ensemble par la référence 1, comprend un circuit haute pression principal 2 de fluide frigorigène sur lequel est disposé un réservoir haute pression 3 à partir duquel s'étend une branche 2_a d'alimentation en fluide frigorigène haute pression d'au moins une et généralement plusieurs unités de réfrigération principales R_p. Une telle unité de réfrigération R_p comprend au moins un évaporateur disposé dans un meuble ou une chambre frigorifique. Cet évaporateur est alors alimenté en liquide frigorigène par le circuit haute pression principal 2a via un détendeur. L'évaporateur est en outre raccordé à un circuit basse pression principal 4. L'installation frigorifique 1 comprend également au moins une ou selon l'exemple

illustré trois unités de climatisation 5 disposées à l'intérieur d'un ou plusieurs locaux. Selon l'exemple illustré, chaque unité de climatisation comprend au moins un échangeur à air ou aérotherme équipé d'au moins un condenseur 6 qui est raccordé au circuit haute pression principal 2 en amont des évaporateurs des unités de réfrigération R_p et, selon l'exemple illustré, en amont également du réservoir 3 de fluide frigorigène haute pression. L'installation 1 comprend en outre un groupe de compression principal 10 qui aspire le fluide frigorigène du circuit basse pression principal 4 pour le refouler comprimé dans le circuit haute pression principal 2 en amont des condenseurs 6, du réservoir haute pression 3 et, bien entendu, des évaporateurs qu'il alimente. Le groupe de compression principal 10 comprend au moins un et, selon l'exemple illustré, trois compresseurs 11 raccordés en parallèle aux circuits haute pression 2 et basse pression 4. Le fonctionnement de le groupe de compression 10 est alors piloté par une unité de commande 12.

Telle qu'ainsi constituée, l'installation frigorifique fonctionne de la manière suivante.

Chaque unité de réfrigération principale R_p étant pourvue d'un dispositif autonome de régulation, elle commande l'ouverture d'une vanne alimentant son évaporateur en fluide frigorigène haute pression via un détendeur autant que de besoin pour maintenir en son sein une température de consigne. Le fonctionnement de l'unité de réfrigération induit une augmentation de pression dans le circuit basse pression principal 4 que l'unité de commandes 12 détecte pour déclencher le fonctionnement du groupe de compression principale 10 qui aspire alors le fluide frigorigène basse pression dans un état gazeux basse pression pour le refouler à l'état gazeux haute pression dans le circuit haute pression principal 2. En sortie du groupe de compression principal 10, le fluide frigorigène se trouve au sein du circuit haute pression principal 2 à l'état gazeux et à une température élevée de

l'ordre de 60° à 80° C. L'invention se propose alors d'utiliser la chaleur du fluide frigorigène haute pression gazeux pour chauffer un ou plusieurs locaux par l'intermédiaire des aérothermes 5 dont les condenseurs 6 sont alimentés par des vannes 13 pilotées par l'unité de commandes 12. Ainsi, l'intégralité de la chaleur récupérée au niveau des unités de réfrigération est utilisée pour chauffer les locaux. En sortie des condenseurs le fluide frigorigène sera à l'état liquide haute pression. Pour faciliter la compréhension les parties du circuit principal haute pression dans lesquelles le fluide frigorigène haute pression est à l'état gazeux sont référencées 2 tandis que les parties où le fluide frigorigène est principalement à l'état liquide sont référencées 2_a.

La chaleur récupérée au niveau des unités de réfrigération peut, dans certains cas notamment en période hivernale, ne pas être suffisante pour chauffer les locaux à une température de consigne acceptable voire confortable. Par période hivernale, il faut entendre une période pendant laquelle la température extérieure moyenne est inférieure à 18°C. L'invention propose alors de prélever à l'extérieur la chaleur ou les calories manquantes. A cet effet il est mis en œuvre une unité extérieure 15 comprenant au moins un échangeur de chaleur 17 qui comprend un circuit d'évaporation 18 raccordé au circuit haute pression principal 2 via un détendeur 19. Le circuit d'évaporation 18 est également raccordé à un circuit basse pression auxiliaire 20 qui alimente un groupe de compression auxiliaire 21. Le groupe de compression auxiliaire 21 comprend au moins un et, selon l'exemple illustré, deux compresseurs 22 qui sont raccordés en parallèle au circuit basse pression auxiliaire 20 et au circuit haute pression principal 2. Le groupe de compression auxiliaire 20 aspire alors via le circuit basse pression auxiliaire 20 le fluide frigorigène à l'état gazeux en provenance de l'évaporateur 18 de l'échangeur 17 pour le comprimer et le refouler dans le circuit principal 2. Le groupe de compression auxiliaire 20 est alors pilotée par l'unité de

commandes 12 qui module le fonctionnement d'un seul ou des deux compresseurs 22 en fonction des besoins. Ainsi, le groupe de compression auxiliaire 21 et l'échangeur extérieur 5 fonctionnent en pompe à chaleur et prélèvent au niveau de l'air extérieur la chaleur
5 complémentaire nécessaire pour maintenir la température de consigne dans les locaux au moyen des unités de climatisation 5. Ainsi, l'installation frigorifique selon l'invention permet d'assurer seule, dans un mode de fonctionnement mixte réfrigération/ pompe à chaleur, d'une part le refroidissement des unités de réfrigération et, d'autre
10 part, le chauffage des locaux. Un tel mode de fonctionnement mixte permet donc de réaliser de sérieuses économies d'énergie pour le chauffage des locaux.

Dans la mesure où la température à la surface de l'évaporateur 18 est négative compte tenu de la détente du fluide frigorigène en son
15 sein, au bout d'un certain temps de fonctionnement, l'évaporateur 16 sera recouvert du givre provenant de la condensation et du gel de l'eau présente dans l'atmosphère extérieure. Il est donc nécessaire d'assurer un dégivrage du condenseur 18 de façon régulière.

L'invention propose de réaliser ce dégivrage en utilisant la chaleur
20 du fluide frigorigène comprimé en sortie des groupes de compression. A cet effet, l'invention propose d'associer un condenseur 25 à l'évaporateur 18. Le condenseur 25 alimenté en gaz frigorigène haute pression par le circuit principal haute pression 2 en y étant raccordé, d'une part, en aval des groupes de compression et, d'autre part, en
25 amont du réservoir 3 et des évaporateurs des unités de réfrigération principales R_p . Selon une forme préférée de réalisation et comme cela ressort des figures 2 et 3, l'évaporateur 18 comprend un circuit tubulaire 30 d'évaporation du fluide frigorigène formé par des nappes de tube 32 comprenant des tubes principaux rectilignes comme le
30 montre plus particulièrement la figure 2. De la même manière, le condenseur 25 comprend un circuit tubulaire de condensation du fluide

frigorigène qui est constitué par des nappes 35 de tubes 36 possédant des tubes principaux rectilignes comme le montre la figure 2. Les circuits tubulaires 30 et 35 sont alors reliés entre eux par des ailettes thermiquement conductrices 40 qui présentent, selon l'exemple illustré, une orientation sensiblement verticale. La liaison thermique par conduction assurée par les ailettes 40 qui sont communes aux circuits d'évaporation 30 et de condensation 35 garantie une très grande efficacité du dégivrage. Afin d'optimiser encore la qualité des échanges thermiques et donc l'efficacité du dégivrage selon la forme de réalisation illustrée, les nappes de tubes des circuits de condensation 35 et d'évaporation 30 sont superposées et intercalées les unes entre les autres. De plus, selon l'exemple illustré, la première nappe de l'échangeur 17 en partant du bas est formée par des tubes du circuit de condensation de manière à former une surface de condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air lors du fonctionnement de l'unité extérieure 15. Enfin, il pourra être remarqué que de manière habituelle pour l'homme du métier, l'échangeur 17 est situé à l'intérieur d'un châssis carrossé 41 équipé en partie haute d'au moins un et, selon l'exemple illustré, de deux ventilateurs 43 forçant la circulation de l'air à l'intérieur de l'unité extérieure 15. De plus, afin de favoriser l'élimination de l'eau liquide résultant du dégivrage ou de la condensation, les parties rectilignes des tubes et les ailettes pourront être inclinées par rapport à l'horizontale respectivement la verticale d'un angle α de quelques degrés, par exemple de 3° à 5°. Cette inclinaison pourra être obtenue par l'inclinaison de l'ensemble du châssis.

Dans le mode de fonctionnement mixte exposé ci-dessus, il peut également être prévu, lorsque la température extérieure est particulièrement basse, une compression étagée du fluide frigorigène provenant de l'évaporateur de l'échangeur extérieur. A cet effet, l'installation peut comprendre une dérivation 55 raccordant la sortie

du groupe de compression auxiliaire 21 en amont de l'aspiration du groupe de compression principal 10 par l'intermédiaire d'un robinet à pression constante 56 piloté par l'unité 12.

Par ailleurs, lors du fonctionnement de l'installation en mode mixte, le condenseur 25 est utilisé régulièrement pour assurer le dégivrage de l'évaporateur 18. Ce fonctionnement régulier peut être assuré selon un intervalle de temps prédéfini indépendamment de l'apparition éventuelle de givre sur l'évaporateur 18 ou au contraire en fonction des besoins en cas d'apparition effective de givre ou de la prévision de l'apparition de givre.

A cet effet, l'installation frigorifique 1 peut mettre en œuvre des moyens d'évaluation du givre. De tels moyens d'évaluation du givre peuvent être formés de toute manière appropriée. Par exemple, les moyens d'évaluation du givre peuvent comprendre des moyens de surveillance de la charge des ventilateurs 43 qui lorsque cette dernière dépasse un seuil prédéterminé en déduisent l'apparition de givre. En effet, le givre se déposant sur les tubes 30 et les ailettes 40 va obstruer progressivement l'échangeur 17 y rendant plus difficile la circulation de l'air de sorte que la charge des ventilateurs 43 augmente.

Les moyens de détection de givre peuvent également comprendre un système qui mesure l'hydrométrie de l'air d'entrée et de sortie de l'unité extérieure 15 pour en déduire l'apparition éventuelle de givre. Les moyens d'évaluation du givre peuvent également comprendre un système de mesure de l'hydrométrie et de la température de l'air extérieur pour en fonction de ces dernières, prévoir l'apparition du givre. Bien entendu, les moyens d'évaluation du givre sont raccordés à l'unité de commande 12 qui, lorsque cela est nécessaire, déclenche un cycle de dégivrage.

Pendant un tel cycle de dégivrage, l'unité 12 commande l'alimentation du condenseur 25 en fluide frigorigène haute pression

chaud. Cette alimentation est assurée par une branche du circuit principal haute pression 2 commandé par un robinet 46 piloté par l'unité 12. Le robinet 46 permet alors l'admission dans le circuit d'alimentation du condenseur 25 de gaz frigorigène haute pression en provenance directe des groupes de compression 10 et 21. Afin d'éviter un choc thermique trop important au niveau de l'échangeur 17, il peut également être prévu une ligne de dérivation 47 permettant un prélèvement de liquide frigorigène haute pression en aval du réservoir 3. Cette dérivation 47 est alors commandée par un robinet 48 piloté par l'unité 12. La commande des robinets 46 et 48 permet alors d'assurer un mélange entre du gaz haute pression en provenance des groupes de compression et du fluide haute pression en provenance du réservoir 3 pour moduler la température du fluide au sein du condenseur 25 pour amener le condenseur et les ailette progressivement d'une température négative à une température positive plus élevée mais inférieure à la température du gaz frigorigène comprimé en sortie des groupes de compression. Ainsi, l'unité 12 pourra maintenir la température du fluide frigorigène d'alimentation du condenseur 25 à des valeurs de l'ordre de 40° à 60° tandis que la température maximale en sortie des groupes de compression est de l'ordre de 80°C. Une telle montée progressive de la température évite de faire subir à l'échangeur 15 un choc thermique trop important.

Lorsque le dégivrage est fini, l'unité 12 peut également commander le fonctionnement des ventilateurs 41 de manière à souffler vers le bas l'air extérieur pour contribuer au séchage de l'échangeur 17.

Dans le mode de fonctionnement mixte de réfrigération/pompe à chaleur précédemment décrit, le groupe de compression auxiliaire 21 est utilisé pour extraire de la chaleur du milieu extérieur. Toutefois, selon l'invention, lorsqu'il n'est plus nécessaire de chauffer les locaux

comme par exemple en période estivale, le groupe de compression auxiliaire 21 pourra être utilisé en renfort du groupe de compression principal pour comprimer le gaz frigorigène en provenance des unités de réfrigération R_p . A cet effet, l'installation frigorifique comprend un

5 circuit de dérivation 50 reliant le circuit basse pression principal 4 au circuit basse pression auxiliaire 20 par l'intermédiaire d'un robinet commandé 51 par l'unité 12. Le circuit basse pression auxiliaire 20 comprend également en amont de la jonction avec la dérivation 50 un robinet 52 commandé par l'unité 12. Ainsi, dans un mode de

10 fonctionnement qui pourra être qualifié de réfrigération pure, l'unité 12 commande la fermeture du robinet 52 et l'ouverture du robinet 51 ainsi que le fonctionnement du groupe de compression auxiliaire 21 en fonction des besoins. La puissance de ce dernier sera alors disponible pour la réfrigération, le condenseur 25 étant en outre dimensionné

15 pour permettre l'évacuation à l'extérieur de la chaleur extraite au niveau des unités de réfrigération R_p . Il sera donc compris que la puissance du condenseur 25 est alors supérieure ou égale à la puissance de l'évaporateur 18. La puissance thermique du circuit tubulaire de condensation 25 peut par exemple posséder une valeur

20 comprise entre 1 à 5 fois à la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire d'évaporation 18. Ce rapport de puissance peut être obtenu en réalisant l'échangeur 17 de l'unité extérieure 15 de manière que la surface d'échange du circuit tubulaire de condensation 25 présente entre 50 % et 80 % de la somme des

25 surfaces d'échange des circuits tubulaires de condensation 25 et d'évaporation 18.

Par ailleurs, en mode de réfrigération pure, les robinets 45 et 47 seront fermés et l'alimentation du condenseur 25 sera assurée par un robinet 53 à pression constante commandée par l'unité 12. De plus,

30 dans ce mode de fonctionnement dit de réfrigération pure, l'évaporateur 18 ne sera pas alimenté en fluide frigorigène et la vanne

et le robinet 19 sera donc fermé. La faculté de l'installation selon l'invention à fonctionner en mode mixte ou en mode de réfrigération pure permet de dimensionner les groupes de compression principal 10 et auxiliaire 21 avec une puissance cumulée juste suffisante pour
5 assurer une réfrigération optimale en période estivale. Par période estivale, il faut entendre une période pendant laquelle la température moyenne en journée est supérieure à 18°C. Dans la mesure où en période hivernale, la puissance nécessaire pour assurer une réfrigération adaptée est inférieure à celle nécessaire en période
10 estivale, la puissance résiduelle disponible au niveau du groupe de compression auxiliaire 21 peut avantageusement être utilisée, en période hivernale, pour un fonctionnement en pompe à chaleur pour le chauffage des locaux.

Selon l'exemple décrit en relation avec la figure 1, l'unité de
15 réfrigération comprend uniquement des circuits principaux basse et haute pression qui alimentent des unités de réfrigération fonctionnant dans des mêmes gammes de températures, soit positives soit négatives. Cependant, une installation de réfrigération conforme à l'invention peut devoir alimenter des unités de réfrigération à
20 température positive et des unités de réfrigération à température négative. A cet effet et comme le montre la figure 4, une installation conforme à l'invention peut également comprendre au moins une unité frigorifique secondaire R_s comprenant au moins un évaporateur disposé dans un meuble ou un local frigorifié alimenté en fluide
25 frigorigène par le circuit haute pression principal 2 en aval du réservoir 3. L'évaporateur de l'unité de réfrigération secondaire R_s est raccordé à un circuit basse pression secondaire 60 qui alimente un groupe de pression secondaire 61 aspirant le fluide frigorigène du circuit basse pression secondaire 60 pour refouler dans le circuit haute
30 pression principale 2. Le groupe de compression secondaire 61 comprend alors au moins et, selon l'exemple, deux compresseurs 62

qui sont pilotés par l'unité de commande 12. Le fonctionnement de l'installation frigorifique selon l'invention comprenant un tel circuit basse pression secondaire 60 et un groupe de compression secondaire 61 est alors sensiblement analogue à celui décrit précédemment pour ce qui concerne les modes de fonctionnement mixte et de réfrigération pure.

Il sera noté que selon l'exemple illustré figure 4, l'installation frigorifique comprend un échangeur à liquide 63 raccordé d'une part au circuit haute pression 2 en parallèle avec les échangeurs 5 et d'autre part à un circuit 64 de circulation d'un liquide caloporteur. L'échangeur à liquide 63, dont l'alimentation est contrôlée par une vanne 65 pilotée par l'unité de commande UC, permet alors un chauffage du liquide du circuit 64.

Il sera en outre remarqué que le condenseur 25 est placé sur le circuit principal haute pression 2 en parallèle avec les échangeurs 6 et/ou 63. Ainsi, selon les phases de fonctionnement, il est possible de vider la phase liquide du fluide frigorigène des parties de circuit non utilisées par l'intermédiaire de lignes d'aspiration 67 et 68 commandées par des vannes 68 et 69 pilotées par l'unité 12. Les lignes d'aspiration 67 et 68 sont de plus raccordées, via un organe de détente 70, au circuit basse pression principal 4 juste en amont du groupe de compression principal 10. Cette disposition permet de réduire la quantité de fluide frigorigène mise en œuvre par l'installation par rapport aux installations où aucune vidange partielle de la phase liquide n'est possible.

Bien entendu, diverses autres modifications peuvent être apportées à l'invention dans le cadre des revendications.

REVENDICATIONS

1. Installation frigorifique à fluide frigorigène comprenant au moins :
- 5 – des circuits haute pression (2) et basse pression (4),
- une unité de réfrigération (R_p) comprenant au moins un évaporateur disposé dans un meuble ou une chambre frigorifique et raccordé aux circuits haute et basse pression (2,4),
- une unité de climatisation (5) comprenant au moins un échangeur
- 10 qui est disposé à l'intérieur d'un local et qui comprend au moins un condenseur (6) raccordé aux circuits haute et basse pression (2,4),
- une unité extérieure (15) comprenant au moins un échangeur à air (17) qui est disposé à l'extérieur et qui comprend un circuit tubulaire de condensation (25,35) raccordé aux circuits haute et
- 15 basse pression (2,4),
- un groupe de compression principal (10) raccordé aux circuits haute et basse pression (2,4)
- un groupe de compression auxiliaire (21) raccordé aux circuits haute et basse pression (2,4),
- 20 – une unité de commande (12) qui pilote le fonctionnement de l'installation frigorifique,
- caractérisée en ce que :
- l'échangeur à air de l'unité extérieure (15) comprend :
- un circuit tubulaire d'évaporation (18,30) adapté pour être
- 25 alimenté uniquement en fluide frigorigène basse pression et raccordé aux circuits haute et basse pression,
- des ailettes (40) thermiquement conductrices reliant le circuit tubulaire d'évaporation (18,30) et le circuit tubulaire de condensation (25,35) en étant solidaire des circuits tubulaires
- 30 d'évaporation et de condensation,

dimensionné pour dissiper l'intégralité de la chaleur résultant du maintien, au niveau de chaque unité de réfrigération, des températures de consigne lorsque il règne à l'extérieur une température estivale,

- 5 – l'unité de commande (12) est adaptée pour placer l'installation :
 - soit dans un mode de fonctionnement de réfrigération pure, dans lequel la puissance de tous les groupes de compression est disponible pour de l'extraction de chaleur uniquement au niveau de chaque unité de réfrigération,
 - 10 – soit dans un mode de fonctionnement mixte, réfrigération/pompe à chaleur, dans lequel la puissance du groupe de compression auxiliaire est disponible pour de l'extraction de chaleur au niveau de l'unité extérieure et la puissance de chaque autre groupe de compression est disponible pour de l'extraction de chaleur au
 - 15 niveau de chaque unité de réfrigération,
 - les groupes de compression sont dimensionnés pour que leurs puissances cumulées soient suffisantes pour maintenir, au niveau de chaque unité de réfrigération, les températures de consigne lorsque il règne à l'extérieur une température estivale et que l'installation
 - 20 est en mode de réfrigération pure.
2. Installation frigorifique selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'unité de commande (12) est adaptée pour passer du mode de fonctionnement mixte au mode de fonctionnement de réfrigération pure et inversement en fonction des besoins de réfrigération.
- 25 3. Installation frigorifique selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que l'unité de commande est adaptée pour, en mode de fonctionnement mixte, piloter l'alimentation du circuit de condensation(25,35) de l'unité extérieure (15) afin d'assurer un dégivrage de l'unité extérieure (15).
- 30 4. Installation frigorifique selon la revendication 3, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens d'évaluation du givre sur l'échangeur, et

en ce que l'unité de commande (12) est adaptée pour piloter en l'alimentation du circuit de condensation (25,35) lorsque le givre sur l'échangeur dépasse un certain seuil.

5 5. Installation frigorifique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- un circuit basse pression secondaire (60) de fluide frigorigène,
- une unité frigorifique secondaire (R_s) comprenant au moins un évaporateur disposé dans un meuble ou un local frigorifique et alimenté en fluide frigorigène par le circuit haute pression et
- 10 raccordé au circuit basse pression secondaire (60),
- un groupe de compression secondaire (61) qui aspire le fluide frigorigène du circuit basse pression secondaire (60) et qui refoule le fluide frigorigène comprimé dans le circuit haute pression (2),

et en ce que l'unité de commande (12) est adaptée pour piloter le

15 fonctionnement du groupe de compression secondaire.

6. Installation frigorifique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation de l'échangeur à air est supérieure ou égale à la valeur absolue de la puissance thermique du circuit

20 tubulaire d'évaporation de l'échangeur à air.

7. Installation frigorifique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation de l'échangeur à air possède une valeur comprise entre 1 à 5 fois à la valeur absolue de la puissance thermique du circuit

25 tubulaire d'évaporation de l'échangeur à air.

8. Installation frigorifique selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée la surface d'échange du circuit tubulaire de condensation de l'échangeur à air présente entre 50 % et 80 % de la somme des surfaces d'échange des circuits tubulaires de condensation et

30 d'évaporation.

9. Echangeur extérieur à air pour une installation frigorifique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qui comprend :

- un circuit tubulaire de condensation (25,35) adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène haute pression,
- 5 – un circuit tubulaire d'évaporation (18,30) adapté pour être alimenté uniquement en fluide frigorigène basse pression,
- des ailettes (40) thermiquement conductrices reliant le circuit tubulaire d'évaporation (18,30) et le circuit tubulaire de condensation (25,35) en étant solidaire des circuits tubulaires
- 10 d'évaporation et de condensation,

la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation étant supérieure ou égale à la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire d'évaporation.

10. Echangeur extérieur à air selon la revendication 9, caractérisé en ce que, la puissance thermique du circuit tubulaire de condensation possède une valeur comprise entre 1 à 5 fois à la valeur absolue de la puissance thermique du circuit tubulaire d'évaporation.

11. Echangeur extérieur à air selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que la surface d'échange du circuit tubulaire de condensation présente entre 50 % et 80 % de la somme des surfaces d'échange des circuits tubulaires de condensation et d'évaporation.

12. Echangeur de chaleur selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que les circuits de condensation (25,35) et d'évaporation (18,30) comprennent des boucles ou des nappes de tubes et en ce que certaines boucles ou nappes du circuit d'évaporation (18,30) sont superposées et intercalées entre des boucles ou nappes du circuit de condensation (25,35).

13. Echangeur de chaleur selon l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que les ailettes (40) possèdent une orientation sensiblement verticale.

14. Echangeur de chaleur selon l'une des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que le circuit de condensation (25,35) comprend au moins une nappe de tube qui forme la première nappe de tube en partant du bas de l'échangeur.

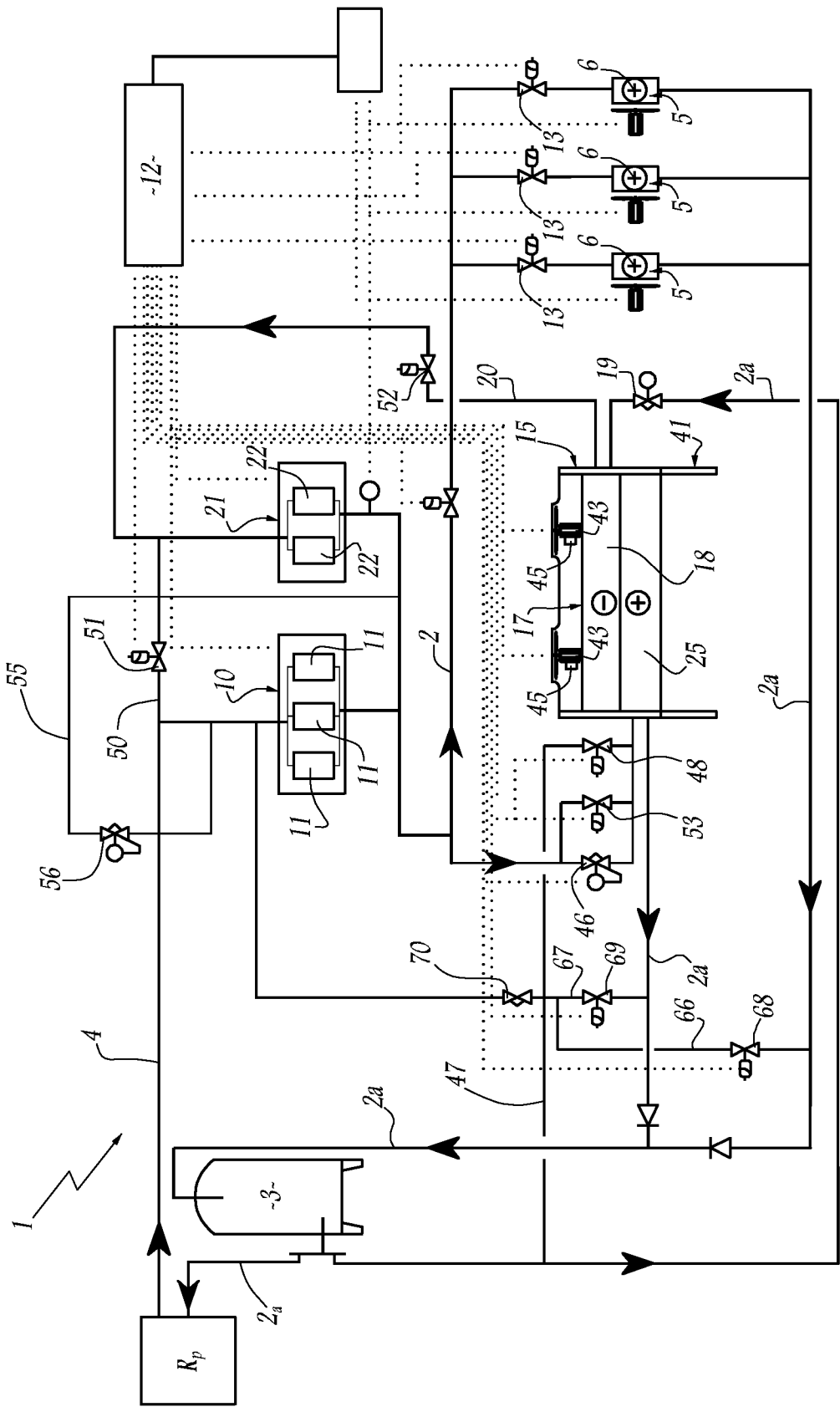


Fig. 1

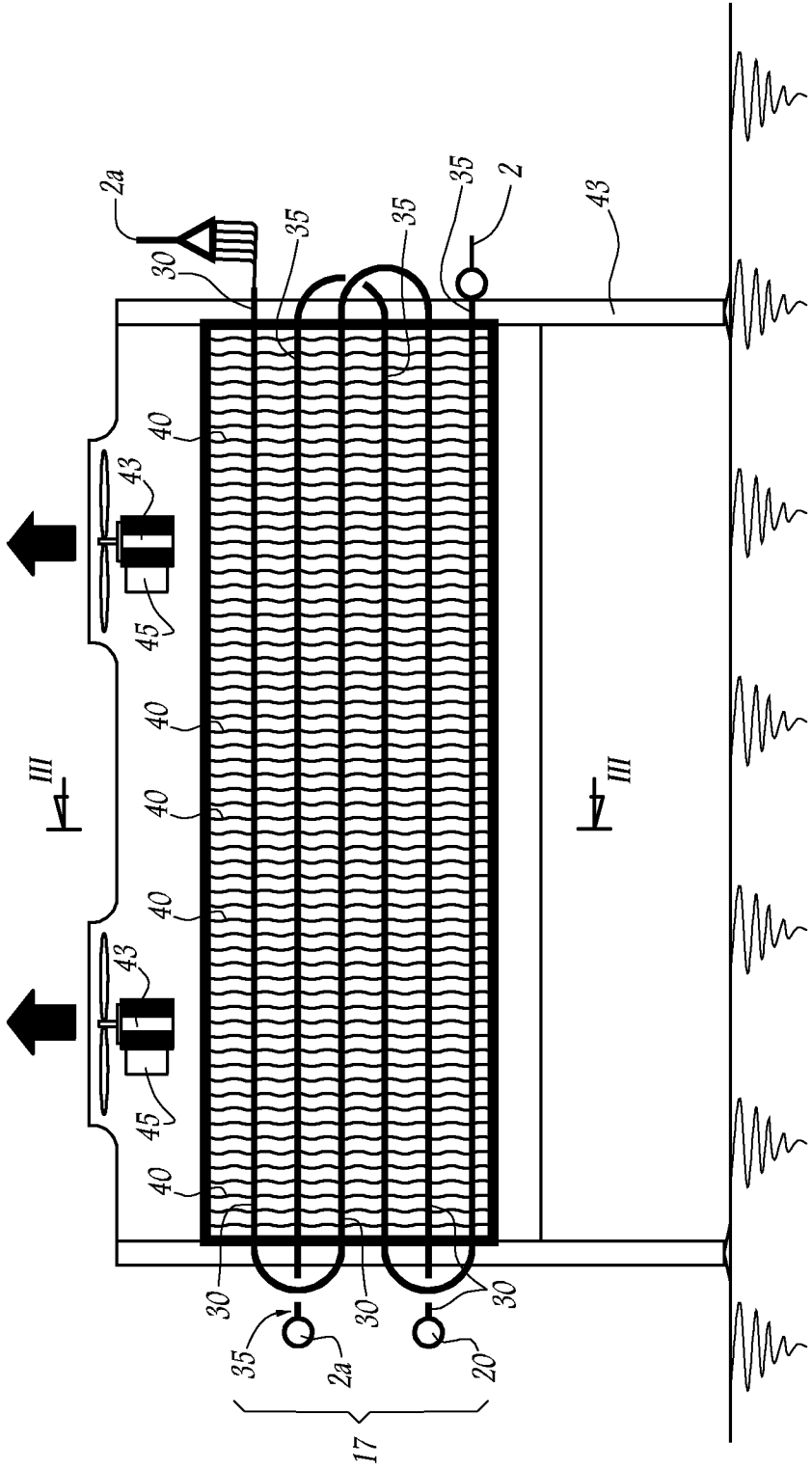
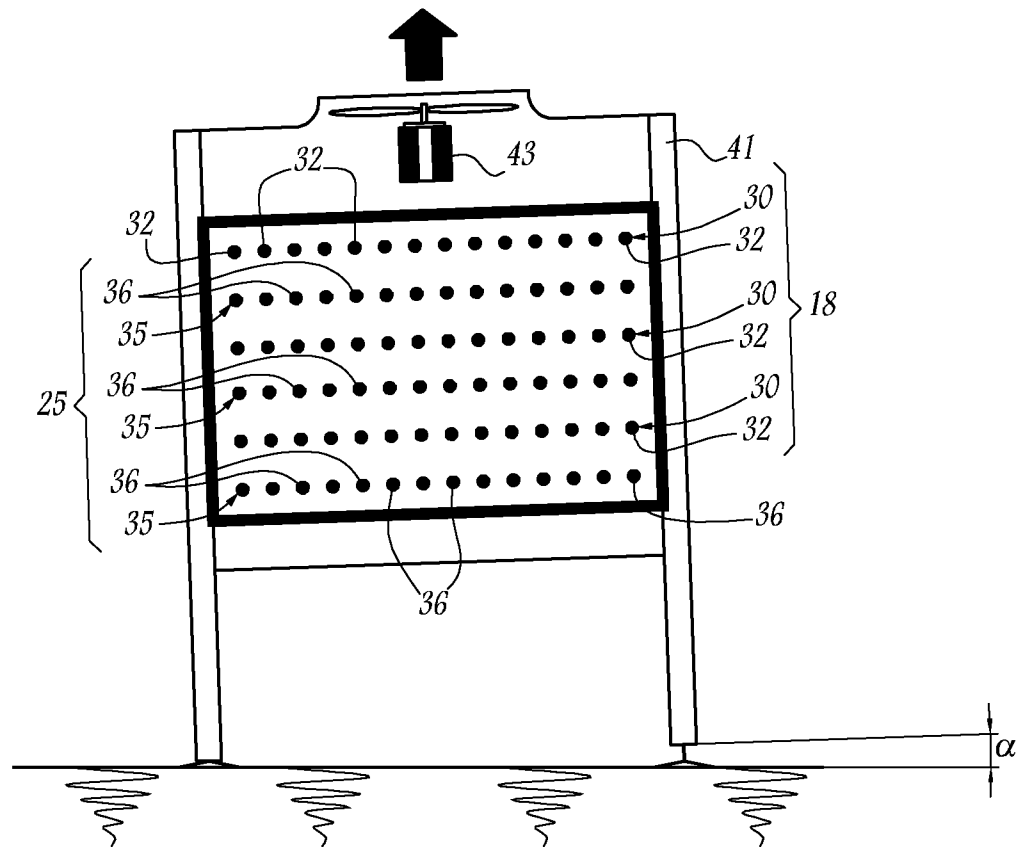


Fig. 2

3/4

*Fig.3*

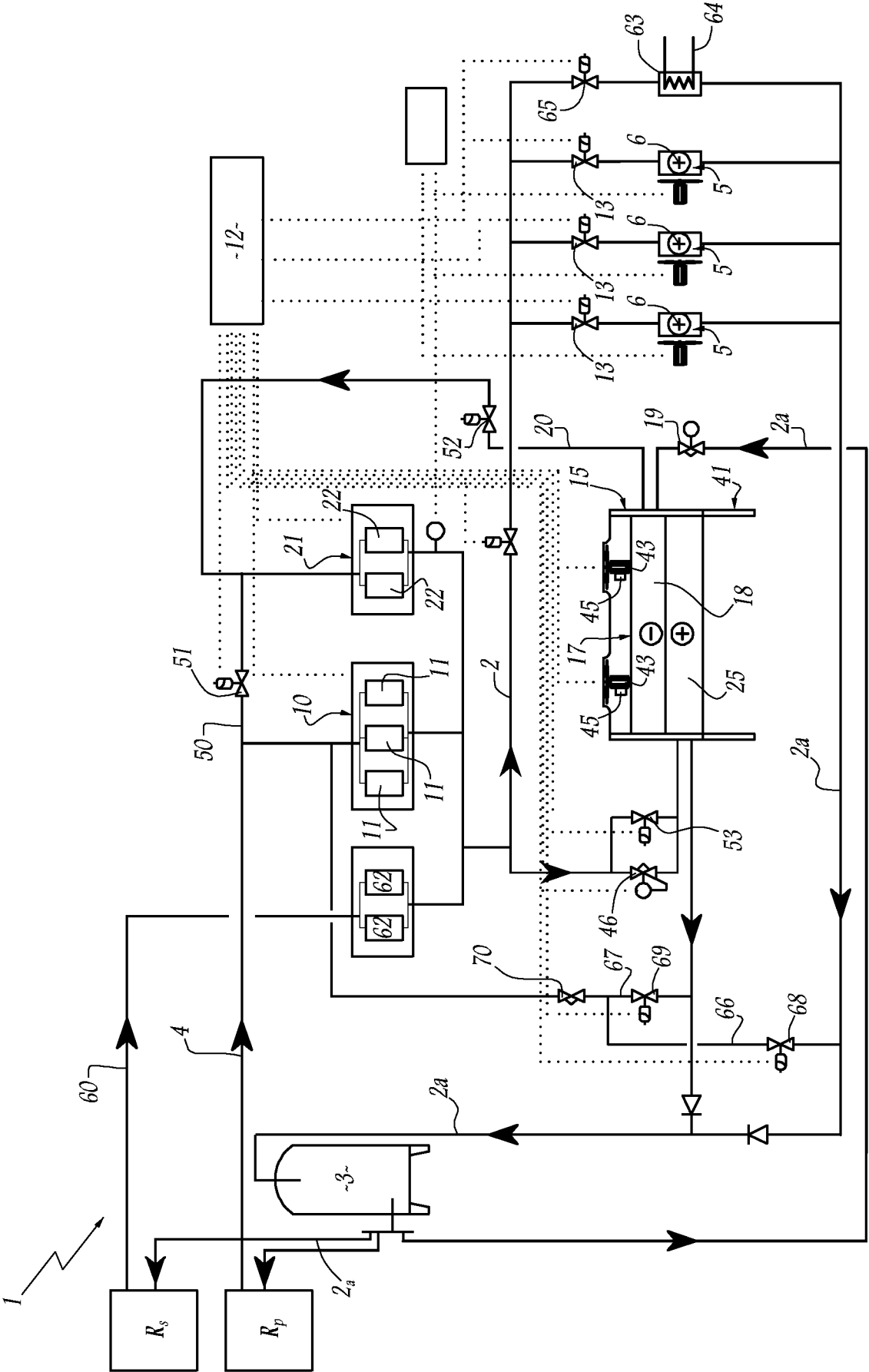


Fig. 4