



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
09.08.2023 Bulletin 2023/32

(21) Numéro de dépôt: **23155385.0**

(22) Date de dépôt: **07.02.2023**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

F24D 11/02 ^(2006.01) **F24D 17/02** ^(2006.01)
F24D 19/10 ^(2006.01) **F24F 5/00** ^(2006.01)
F24H 15/223 ^(2022.01) **F24H 15/429** ^(2022.01)
F25B 13/00 ^(2006.01) **F24D 3/08** ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F24D 3/08; F24D 11/0214; F24D 17/00;
F24D 17/02; F24D 19/1072; F24F 5/0096;
F24H 15/223; F24H 15/429; F25B 29/003;
F25B 30/02; F25B 49/02; F24D 2200/11;
F24D 2200/12; F24D 2220/08; F25B 25/005;

(Cont.)

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(30) Priorité: **08.02.2022 FR 2201080**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: **VASSET, Nicolas**
38054 Grenoble (FR)

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

(54) **PROCÉDÉ DE COMMANDE DU FONCTIONNEMENT D'UNE THERMOFRIGOPOMPE**

(57) Procédé de commande du fonctionnement d'une thermofrigopompe.

Procédé de commande du fonctionnement d'une thermofrigopompe (10) reliée à des ballons tampons de chaud (22) et de froid (24), capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième de

production combinée de froid et de chaud, le déclenchement des différents modes s'effectuant à un instant donné t en fonction des températures des ballons tampons mesurées et d'au moins une information représentative d'un besoin futur de production de chaud ou de froid pour les ballons tampons.

[Fig 1]

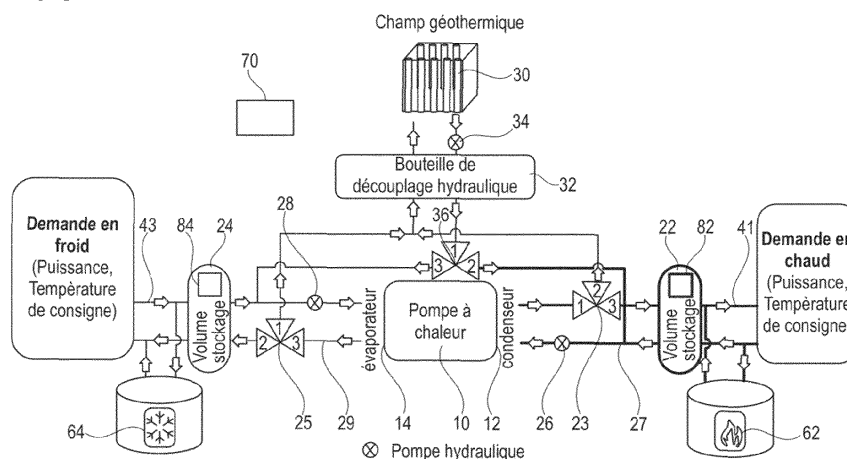


Fig.1

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
(Cont.)
F25B 30/06; F25B 2339/047; F25B 2600/01

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des thermofrigopompes. Elle concerne plus particulièrement un procédé de commande du fonctionnement de telles thermofrigopompes.

Technique antérieure

[0002] Dans l'objectif de satisfaire une demande simultanée en chaleur et en froid pour un consommateur, il est connu de recourir à un système de production basé sur une pompe à chaleur de type eau/eau, capable simultanément de chauffer un flux hydraulique à l'une de ses interfaces, c'est-à-dire au passage entre les bornes du condenseur de la pompe et de refroidir un second flux hydraulique sur une deuxième interface, c'est-à-dire au passage entre les bornes de l'évaporateur de la pompe. Lorsque les productions de chaleur et de froid sont valorisées pour satisfaction d'une demande, on se réfère à la pompe à chaleur comme une «*thermofrigopompe*».

[0003] Pour satisfaire les demandes de chaleur et de froid, la thermofrigopompe alterne entre différents modes de production exclusifs les uns des autres, à savoir : (i) production de chaud seul, (ii) production de froid seul, et (iii) production simultanée de chaleur et de froid, ce dernier mode étant appelé «*mode thermofrigopompe*».

[0004] Classiquement, le déclenchement d'un des trois modes ci-dessus s'effectue en comparant la température instantanée mesurée dans les ballons tampons auxquels la pompe est reliée à des seuils prédéfinis pour chaque ballon tampon.

[0005] Cependant, cette méthode de contrôle basée sur la mesure instantanée de la température des ballons tampon ne donne pas entière satisfaction. Dépendante des charges relatives en chaleur et en froid, celle-ci a tendance à ne privilégier aucun des trois modes, récupérant uniquement des informations des capteurs à un instant donné et agissant en conséquence. Pour des demandes simultanées en chaleur et en froid, il n'est alors pas rare de voir la production alterner entre le premier mode et le deuxième mode. Or, il est souhaitable d'un point de vue énergétique ainsi que pour limiter le nombre de déclenchements de la pompe à chaleur, que le mode thermofrigopompe soit privilégié.

[0006] US10378805 B2 décrit une méthode de contrôle prédictif par modèles (MPC) pour déterminer une consigne de température optimale pour le fonctionnement d'une pompe à chaleur. La pompe à chaleur est utilisée en combinaison avec un système de chauffage par résistance électrique. Ce document décrit uniquement la production de chaleur.

[0007] US7905103 décrit le contrôle d'un système de réfrigération utilisant la prédiction de charge future pour notamment optimiser les allumages/extinctions des compresseurs. Ce document se rapporte uniquement à la

production de froid.

[0008] CN 105937823 B décrit le contrôle d'une pompe à chaleur appliqué au chauffage d'une serre, par prédiction de la demande associée à l'utilisation d'un historique récent. Ce document décrit uniquement la production de chaleur.

[0009] Les solutions proposées dans les documents ci-dessus ne concernent pas la production combinée de chaud et de froid et ne répondent pas au problème de l'optimisation du fonctionnement d'une thermofrigopompe.

[0010] Il existe par conséquent un besoin pour améliorer le pilotage d'une pompe à chaleur de type thermofrigopompe, afin d'en améliorer les performances, notamment l'efficacité énergétique, tout en s'adaptant au mieux aux besoins des utilisateurs.

Exposé de l'invention

[0011] L'invention répond à ce besoin grâce à un procédé de commande du fonctionnement d'une thermofrigopompe reliée à des ballons tampons de chaud et de froid, capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième de production combinée de froid et de chaud, le déclenchement des différents modes s'effectuant à un instant donné t en fonction des températures des ballons tampons mesurées et d'au moins une information représentative d'un besoin futur de production de chaud ou de froid pour les ballons tampons.

[0012] Le pilotage de la thermofrigopompe tient alors compte non seulement de la mesure instantanée de la température dans les ballons tampons, mais aussi du besoin futur de production de chaud ou de froid. Le procédé selon l'invention permet ainsi de sélectionner le mode de production le plus judicieux sur le plan énergétique ; de plus, l'invention, peut permettre de diminuer le nombre d'heures de fonctionnement et/ou le nombre de démarrages de la thermofrigopompe par rapport à une méthode de contrôle classique, ce qui retarde le vieillissement de ses composants.

[0013] Le ou les indicateurs sont de préférence générés à partir de l'observation du fonctionnement passé de la thermofrigopompe sur une fenêtre temporelle qui est avantageusement de durée relativement courte, comme détaillé dans la suite.

Thermofrigopompe

[0014] La thermofrigopompe est de préférence une pompe à chaleur de type eau/eau.

[0015] Par «*source thermique*», il faut comprendre une source suffisamment stable en température. La source thermique est de préférence un champ géothermique. D'autres sources peuvent être utilisées, par exemple : un lac, un aquifère, ou encore un réseau d'anergie.

[0016] La pompe à chaleur est de préférence une pompe à chaleur dite à six tubes. Par «*pompe à chaleur à*

six tubes », on entend une pompe à chaleur potentiellement connectée sur les circuits aller et retour à la source thermique, au ballon tampon froid ou au ballon tampon chaud. Une telle pompe à chaleur permet, grâce à un jeu de vannes pilotées d'avoir recours à différentes configurations hydrauliques suivant le besoin, par modification dynamique du schéma de production. Cette modification dynamique peut être effectuée en actionnant des vannes à trois voies présentes entre la pompe à chaleur et les différents ballons tampons ainsi qu'entre la pompe à chaleur et la source thermique.

[0017] Les différents modes de production de la thermofrigopompe sont mutuellement exclusifs à un instant donné dans le cas de pilotage le plus classique. La thermofrigopompe alterne donc entre les différents modes de production pour parvenir à satisfaire une demande en chaleur et/ou en froid donnée.

[0018] La demande en chaleur correspond par exemple à une demande en eau chaude sanitaire et/ou à une demande de chauffage.

[0019] La demande en froid correspond par exemple à une demande de climatisation, de rafraîchissement, et/ou à une demande en eau glacée, notamment dans le cadre de processus industriels, par exemple dans des laboratoires, ou encore pour des hôpitaux.

Utilisateurs

[0020] Les utilisateurs du froid et/ou du chaud produits peuvent correspondre à des bâtiments résidentiels ou tertiaires tels que des hôpitaux, des sites industriels, des laboratoires, ou encore des musées.

Besoin futur

[0021] Le besoin futur de production de chaud ou de froid peut être prédit par estimation d'au moins une valeur future de la température dans le ballon tampon correspondant et par comparaison de la ou des valeurs de température estimées avec au moins une température de consigne de production de chaud ou de froid.

[0022] Dans un mode de réalisation préféré, le besoin futur de production de chaud ou de froid est estimé à partir de l'observation passée de la température dans le ballon tampon correspondant.

[0023] Dans ce mode de réalisation, le besoin futur de chaud ou de froid peut être estimé par :

- détermination d'une fonction temporelle représentative de l'évolution dans le temps de la température dans le ballon tampon correspondant, sur la base l'observation passée de la température dans ledit ballon,
- estimation d'au moins une valeur future de la température dans le ballon tampon correspondant sur un horizon temporel futur, à partir de la fonction temporelle, et par
- comparaison de la ou les valeurs de température

ainsi estimées avec au moins une température de consigne de production de chaud ou de froid.

[0024] La ou les valeurs de température estimées correspondent avantageusement à la ou aux valeurs prises par la fonction temporelle sur l'horizon temporel futur.

[0025] La fonction temporelle est avantageusement choisie pour approcher au mieux l'évolution de la température observée sur un horizon temporel passé.

[0026] La fonction temporelle peut être une fonction polynomiale de degré supérieur ou égal à 1, de préférence de degré égal à 1. L'utilisation de la fonction polynomiale de degré 1 permet une implémentation légère et facilitée sur un contrôleur physique.

[0027] La fonction temporelle peut être déterminée par une méthode de régression sur l'observation passée.

[0028] La régression est de préférence linéaire et est de préférence effectuée par ajustement affine ou encore par une méthode des moindres carrés. En variante, la régression linéaire est effectuée par une autre méthode que celle des moindres carrés, telle que la méthode du maximum de vraisemblance ou la méthode d'inférence bayésienne.

[0029] La fonction temporelle peut encore être obtenue par une méthode de régression non linéaire, telle que les réseaux de neurones, l'interpolation par splines, ou encore une méthode à noyaux.

[0030] Les valeurs des horizons temporels passé et futur sont avantageusement liées au dimensionnement hydraulique de l'ensemble, notamment l'inertie des ballons tampons et la dynamique de température associée.

[0031] A titre d'exemple, l'horizon temporel futur est compris entre 5 min et 3 h, mieux entre 5 min et 1 h, encore mieux entre 10 min et 30 min, notamment de 15 min environ.

[0032] L'horizon temporel passé est par exemple compris entre 5 min et 3 h, mieux entre 5 min et 1 h, encore mieux entre 10 min et 30 min, notamment de 15 min environ. Cet horizon temporel passé inclut de préférence ledit instant donné t.

[0033] De préférence, les horizons passé et futur présentent des largeurs sensiblement identiques.

Températures de consigne

[0034] Les températures de consigne de production de chaud et de froid, désignées respectivement par $T_{sp,hot}$ et $T_{sp,cold}$, peuvent être déterminées par des lois conventionnelles, appelées « lois d'eau ».

[0035] Par « loi d'eau », on entend une fonction de régulation qui établit une relation entre la température de la thermofrigopompe et la température extérieure. La loi d'eau permet d'obtenir la température de consigne de froid ou de chaud $T_{sp,hot}$ et $T_{sp,cold}$ pour la thermofrigopompe connaissant la température extérieure.

[0036] Les valeurs des températures de consigne de chaud et de froid dépendent du besoin des consommateurs.

[0037] A titre d'exemple non limitatif, la température de consigne de production de chaud $T_{sp, hot}$ peut être supérieure à 30°C, notamment supérieure à 50°C.

[0038] Par exemple, la température de consigne de production de froid $T_{sp, cold}$ est inférieure à 20°C, de préférence inférieure à 10°C, d'autres valeurs étant bien entendu possibles en fonction du besoin.

[0039] De préférence, le ballon tampon chaud fonctionne dans une plage de température incluant, notamment centrée sur, la température de consigne de production de chaud $T_{sp, hot}$, et comprise par exemple entre $T_{sp, hot} - dT$ et $T_{sp, hot} + dT$. Le paramètre dT correspond à un paramètre d'hystérésis de température dans le ballon tampon chaud et peut être compris entre 0,1 °C et 10 °C, par exemple 2 °C environ. En variante, les valeurs d'hystérésis de part et d'autre de $T_{sp, hot}$ sont différentes.

[0040] De manière similaire, le ballon tampon fonctionne de préférence dans une plage de température incluant, notamment centrée sur, la température de consigne de production de froid $T_{sp, cold}$, et comprise par exemple entre $T_{sp, cold} - dT'$ et $T_{sp, cold} + dT'$. Le paramètre dT' correspond à un paramètre d'hystérésis de température dans le ballon tampon froid et peut être compris entre 0,1 °C et 10 °C, par exemple 2 °C environ. En variante, les valeurs d'hystérésis de part et d'autre de $T_{sp, cold}$ sont différentes.

[0041] De préférence, la comparaison d'une valeur donnée avec la température de consigne de production de froid ou de chaud est effectuée en tenant compte de l'hystérésis de température dans le ballon tampon correspondant, comme cela apparaîtra plus loin.

Indicateurs

[0042] La mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut faire intervenir le calcul d'au moins deux indicateurs booléens : Un premier indicateur, dit « *hotprod* », dont au moins un état dépend au moins de l'information représentative d'un besoin futur de production de chaud et un deuxième indicateur, dit « *coldprod* », dont au moins un état dépend au moins de l'information représentative d'un besoin futur de production de froid.

[0043] L'avantage d'utiliser des indicateurs booléens est de simplifier la mise en oeuvre de l'invention, en facilitant son implantation sur un contrôleur pilotant le fonctionnement de la thermofrigopompe.

[0044] De préférence, le premier indicateur *hotprod* prend un premier état booléen à l'instant t indiquant un besoin de produire du chaud lorsque :

- a) la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon chaud est inférieure à la température de consigne de production de chaud $T_{sp, hot}$ à l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment inférieure à $T_{sp, hot} - dT$, ou
- b) la ou les valeurs de température futures estimées dans le ballon tampon chaud sont inférieures à la température de consigne de production de chaud à

l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment inférieures à $T_{sp, hot} - dT$.

[0045] Autrement, c'est-à-dire lorsqu'aucune des conditions a) et b) n'est vérifiée, le premier indicateur *hotprod* prend un deuxième état booléen indiquant l'absence de besoin de production de chaud.

[0046] On parle d'un besoin actuel de production de chaud lorsque la condition a) est vérifiée.

[0047] On parle d'un besoin futur de production de chaud lorsque la condition b) est vérifiée.

[0048] De préférence, le deuxième indicateur *coldprod* prend un premier état booléen à l'instant t indiquant un besoin de produire du froid quand :

c) la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon froid est supérieure à la température de consigne de production de froid $T_{sp, cold}$ à l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment supérieure à $T_{sp, cold} + dT'$, ou

d) la ou les valeurs de températures futures estimées dans le ballon tampon froid sont supérieures à la température de consigne de production de froid $T_{sp, cold}$ à l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment supérieures à $T_{sp, cold} + dT'$.

[0049] Autrement, c'est-à-dire lorsqu'aucune des conditions c) et d) n'est vérifiée, le deuxième indicateur *coldprod* prend un deuxième état booléen indiquant l'absence de besoin de production de froid.

[0050] De manière similaire au premier indicateur *hotprod*, on peut parler d'un besoin actuel de production de froid lorsque la condition c) est vérifiée.

[0051] De même, on peut parler d'un besoin futur de production de froid lorsque la condition d) est vérifiée.

[0052] De tels indicateurs permettent d'estimer si, tout en restant dans les gammes de fonctionnement, c'est-à-dire en respectant les bornes limites de fonctionnement en température, il est préférable sur le plan énergétique de déclencher un mode de production particulier alors qu'une décision basée sur une méthode de contrôle classique aurait pu ne pas le faire.

Déclenchement des modes

[0053] Lorsque la thermofrigopompe est préalablement à l'arrêt, le déclenchement à l'instant t de l'un des trois modes de fonctionnement précités peut être commandé comme suit :

Le premier mode est de préférence déclenché lorsque la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon chaud est inférieure à la température de consigne de production de chaud à l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment inférieure à $T_{sp, hot} - dT$, et que le deuxième indicateur *coldprod* indique l'absence de besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de froid.

[0054] Le deuxième mode est de préférence déclen-

ché lorsque la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon froid est supérieure à la température de consigne de production de froid à l'hystérésis de température dans ledit ballon près, notamment $T_{sp, cold} + dT'$, et que le premier indicateur *hotprod* indique l'absence de besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de chaud.

[0055] Le troisième mode est de préférence déclenché lorsque les indicateurs *hotprod* et *coldprod* indiquent en même temps un besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de chaud et froid, respectivement.

[0056] Lorsque la thermofrigopompe fonctionne selon l'un des trois modes de production précités, le fonctionnement de celle-ci peut s'arrêter à un instant t' lorsque :

- la thermofrigopompe fonctionne en premier mode de production de chaud seul et la température mesurée à cet instant t' dans le ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$,
- la thermofrigopompe fonctionne en mode de production de froid seul et la température mesurée à cet instant t' dans le ballon tampon froid est inférieure à $T_{sp, cold} - dT'$, ou
- la thermofrigopompe est en mode de production simultanée de chaud et de froid et la température mesurée à l'instant t' dans le ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$ ou la température mesurée dans le ballon tampon froid est inférieure à $T_{sp, cold} - dT'$.

[0057] La mesure des températures dans les ballons tampons chaud et froid est de préférence effectuée à l'aide de capteurs respectifs installés sur ces ballons tampons. Les capteurs sont de préférence à thermocouple.

[0058] Le procédé selon l'invention peut être implémenté sur un contrôleur physique, notamment un contrôleur physique d'un système de production comportant la thermofrigopompe et les ballons tampons. Un tel contrôleur comporte par exemple un microcontrôleur, ou tout autre composant capable de réaliser les fonctions recherchées.

[0059] L'invention a encore pour objet un système de production de chaud et de froid, notamment pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, comportant :

- une thermofrigopompe capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième de production combinée de froid et de chaud,
- au moins deux ballons tampons froid et chaud reliés à la thermofrigopompe, et
- un contrôleur configuré pour commander le déclenchement des modes de fonctionnement de la thermofrigopompe à un instant donné t en fonction des températures des ballons tampons mesurées et d'au moins une information représentative d'un besoin futur de production de chaud ou de froid pour les ballons tampons.

[0060] De préférence, les ballons tampons comportent chacun au moins un capteur de température.

[0061] De préférence, le système comporte une pluralité de vannes, notamment à trois voies, disposées entre la pompe à chaleur et les ballons tampons ainsi qu'entre la pompe à chaleur et une source thermique. La présence de ces vannes permet d'avoir différentes configurations hydrauliques suivant le besoin, en fonction du mode de production, par modification dynamique du schéma de production du système.

[0062] Le contrôleur peut comporter un ou plusieurs processeurs et une mémoire dans laquelle est mémorisé un ensemble d'instructions à exécuter par le ou les processeurs. Le contrôleur peut être équipé d'interfaces appropriées pour commander les éléments du système de production de froid et de chaud, notamment les vannes du système, et recevoir des données de température de divers capteurs.

Brève description des dessins

[0063] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'un exemple non limitatif de mise en oeuvre de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé sur lequel :

[Fig 1] représente schématiquement et partiellement un exemple de système de production mettant en oeuvre une pompe à chaleur de type « thermofrigopompe »,

[Fig 2], [Fig 3] et [Fig 4] illustrent le fonctionnement de la thermofrigopompe en mode de production de chaleur seul, de froid seul et en mode de production simultanée, respectivement,

[Fig 5] illustre la durée de fonctionnement cumulée selon les différents modes de production (en heures) de la thermofrigopompe avec un pilotage classique sur une année, et

[Fig 6] est une vue analogue à la figure 5 avec un procédé de commande selon l'invention.

Description détaillée

[0064] Le procédé selon l'invention permet de commander le fonctionnement d'une thermofrigopompe, en utilisant des indicateurs permettant d'indiquer un besoin futur de froid ou de chaud.

[0065] La figure 1 illustre un exemple de système de production utilisant une thermofrigopompe 10. Celle-ci est connue en elle-même, et comporte un condenseur et un évaporateur.

[0066] Dans l'exemple illustré, le système de production est un système de production d'eau chaude et d'eau froide, notamment d'eau glacée.

[0067] L'eau chaude produite a par exemple une température supérieure à 40°C et peut être utilisée pour des besoins en eau chaude sanitaire et/ou de chauffage, ou toute autre température imposée par les besoins.

[0068] L'eau froide produite, notamment glacée, a par exemple une température inférieure à 20°C, notamment inférieure à 10°C, ou toute autre température imposée par les besoins. L'eau froide, notamment glacée, est par exemple utilisée pour répondre aux besoins en climatisation, et/ou de production d'eau glacée, notamment dans le cadre de processus industriels ou encore dans des hôpitaux.

[0069] De manière connue, la thermofrigopompe 10 est capable simultanément de chauffer un flux hydraulique sur une interface 12, au passage entre deux bornes du condenseur de la pompe, et de refroidir un second flux hydraulique sur une deuxième interface 14, au passage entre deux bornes de l'évaporateur de la pompe.

[0070] Comme illustré à la figure 1, une source de chaleur 30 est connectée à la thermofrigopompe via une bouteille de découplage hydraulique 32. Le système comporte en outre une pompe hydraulique 34 en aval de la source thermique 30 et en amont de la bouteille hydraulique 32 et une vanne à trois voies 34 disposée entre la bouteille hydraulique 32 et la thermofrigopompe 34. Dans cet exemple, la source thermique est un champ géothermique, mais d'autres sources, telles qu'un aquifère, un lac ou une boucle d'énergie, peuvent être utilisées.

[0071] Le système comporte en outre des auxiliaires de production de froid 62 et de chaud 65. Ces auxiliaires de production sont bien entendu optionnels, mais typiques de ces installations pour assurer une redondance en cas de défaut d'opération du système de production principal. Dans l'exemple illustré, les auxiliaires de production 62 et 64 correspondent à un groupe de froid et à une chaudière à gaz, respectivement.

[0072] Le système comporte également deux ballons tampons 22 et 24, correspondant à des volumes de stockage hydraulique, respectivement de chaud et de froid, comportant chacun au moins un capteur de température 82 ou 84, par exemple à thermocouple.

[0073] Les ballons tampons 22 et 24 sont respectivement reliés à la thermofrigopompe via des vannes à trois voies 23 et 25. Ces dernières sont par ailleurs reliées à la source thermique 30.

[0074] Le ballon tampon 22 est également relié à la thermofrigopompe 10 par un tuyau 27 assurant le retour de l'eau provenant dudit ballon vers la pompe à chaleur 10, en traversant une pompe hydraulique 26.

[0075] De manière similaire, le ballon tampon 24 est en outre relié à la thermofrigopompe 10 à l'aide d'un tuyau 29 assurant le retour de l'eau provenant dudit ballon 24 vers la pompe à chaleur 10, en traversant une pompe hydraulique 28.

[0076] Dans l'exemple illustré, le ballon tampon chaud fonctionne dans une plage de température centrée sur une température de consigne de production de chaud $T_{sp, hot}$ et comprise entre $T_{sp, hot} - dT$ et $T_{sp, hot} + dT$.

[0077] De manière similaire, le ballon tampon fonctionne de préférence dans une plage de température centrée sur la température de consigne de production de froid

$T_{sp, cold}$ et comprise entre $T_{sp, cold} - dT$ et $T_{sp, cold} + dT$.

[0078] Les températures de consigne sont habituellement déterminées par les lois d'eau classiques. Le paramètre dT correspond à un paramètre d'hystérésis de température dans les ballons tampons et peut être compris entre 0,1 °C et 10 °C, par exemple 2 °C environ.

[0079] Le contenu des ballons tampons 22 et 24 est utilisé pour la transmission de puissance thermique à travers des échangeurs à des circuits secondaires 41 et 43 à destination des utilisateurs. L'utilisation des ballons tampons permet d'ajouter une inertie thermique aux circuits de production et d'éviter le phénomène de court-circuit de la pompe à chaleur.

[0080] Comme mentionné précédemment, la thermofrigopompe 10 est capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième mode de production combinée de froid et de chaud.

[0081] La figure 2 illustre les connectivités hydrauliques dans le cas du fonctionnement de la thermofrigopompe en mode de production de chaud seul. Les flèches 51 et 53 correspondent aux flux utiles : Les flèches 53 correspondent à la circulation hydraulique en contact avec l'interface 14 de la thermofrigopompe. Les flèches 51 correspondent à la circulation hydraulique en contact avec l'interface 12 de la thermofrigopompe. Les demandes des utilisateurs en chaleur et en froid sont représentées à droite. Dans ce mode de fonctionnement, l'énergie frigorifique est évacuée vers la source thermique 30.

[0082] La figure 3 illustre les connectivités hydrauliques dans le cas du fonctionnement de la thermofrigopompe en mode de production de froid seul. Dans ce mode de production, l'énergie calorifique est évacuée vers la source thermique 30.

[0083] La figure 4 illustre les connectivités hydrauliques dans le cas du fonctionnement de la thermofrigopompe en mode de production simultanée. Dans ce cas, la source de chaleur 30 est momentanément déconnectée du système de production.

[0084] Afin de contrôler le déclenchement des modes précités, le système comporte en outre une unité de contrôle 70. Ce dernier permet de commander les vannes à trois voies du système de production. Celles-ci sont opérées en mode 'tout-ou-rien' et de manière synchronisée pour activer l'un ou l'autre des modes souhaités.

[0085] Le contrôleur est configuré pour déterminer les besoins en utilisant les capteurs thermocouples des ballons tampons, des températures de consigne ainsi que des indicateurs de prédiction de la demande, comme sera détaillé ci-après.

[0086] Le déclenchement d'un mode de fonctionnement par l'unité de commande à un instant donné t_i fait de préférence intervenir des indicateurs booléens *hotprod* et *coldprod* dont au moins un état respectif renseigne respectivement sur un besoin de production de chaud et de froid.

[0087] Ces indicateurs booléens sont obtenus respectivement en estimant une fonction temporelle représen-

tative de l'évolution dans le temps de la température dans le ballon tampon chaud et le ballon tampon froid.

[0088] Dans l'exemple illustré, chaque fonction temporelle est une fonction affine $f(T)=at+b$, où T désigne la température à l'instant t . Chaque fonction affine $f(T)$ est calculée par régression linéaire à partir des valeurs de la température du ballon correspondant, observées sur un horizon passé comportant l'instant t_i [$t_i - \Delta t_{\text{past}}$, t_i].

[0089] Une fois les fonctions temporelles calculées, celles-ci sont utilisées pour estimer une ou plusieurs valeurs futures de la température dans les ballons tampons sur un horizon futur [t_i , $t_i + \Delta t_{\text{futur}}$]. On a par exemple $\Delta t_{\text{past}} = \Delta t_{\text{futur}} = 15$ min.

A partir des valeurs de température ainsi estimées, on calcule les indicateurs *hotprod* et *coldprod* de préférence comme suit :

Indicateur *hotprod*

[0090]

- L'indicateur *hotprod* prend un premier état booléen, désigné par « VRAI (TRUE en anglais) » ou « 1 » indiquant un besoin de production de chaud, si l'une des deux propositions suivantes est vraie:

o la température mesurée dans le ballon chaud est en dessous de la différence $T_{\text{sp,hot}} - dT$ entre la température de consigne de production de chaud $T_{\text{sp,hot}}$ et le paramètre dT de l'hystérésis de température dans le ballon tampon chaud 22, ou

o la ou les valeurs futures estimées pour la température dans le ballon tampon chaud 22 sur l'horizon futur sont en dessous de la différence $T_{\text{sp,hot}} - dT$ entre la température de consigne de production de chaud $T_{\text{sp,hot}}$ et le paramètre dT de l'hystérésis de température dans le ballon tampon chaud 22;

- autrement *hotprod* prend un deuxième état booléen, désigné par « FAUX (FALSE en anglais) » ou « 0 », le deuxième état booléen indiquant l'absence de besoin de production de chaud.

Indicateur *coldprod*

[0091]

- L'indicateur *coldprod* prend un premier état booléen, désigné par « VRAI (TRUE en anglais) » ou « 1 », si l'une des deux propositions suivantes est vraie:

o la température mesurée dans le ballon tampon froid 24 est supérieure à la somme $T_{\text{sp,cold}} + dT$ de la température de consigne de production de froid $T_{\text{sp,cold}}$ et le paramètre dT de l'hystérésis de température dans le ballon tampon froid 24;

o la ou les valeurs futures estimées pour la température dans le ballon tampon froid sur l'horizon futur sont supérieures à la somme $T_{\text{sp,cold}} + dT$ de la température de consigne de production de froid $T_{\text{sp,cold}}$ et le paramètre dT de l'hystérésis de température dans le ballon tampon froid 24;

- Autrement, *coldprod* prend un deuxième état booléen, désigné par « FAUX (FALSE en anglais) » ou « 0 », ce deuxième état indiquant l'absence de besoin de production de froid.

[0092] A l'instant t_i , le fonctionnement de la thermofrigopompe 10 lorsque celle-ci est à l'arrêt est le suivant : Lorsque la température mesurée à l'instant t_i dans le ballon tampon chaud est inférieure à $T_{\text{sp,hot}} - dT$ et que l'indicateur *coldprod* retourne l'état booléen FAUX ou 0, c'est-à-dire indique l'absence de besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de froid, alors le premier mode de production de chaud seul est déclenché.

[0093] Lorsque la température mesurée à l'instant t_i dans le ballon tampon froid 24 est supérieure à $T_{\text{sp,cold}} + dT$ et que l'indicateur *hotprod* retourne l'état booléen FAUX ou 0, autrement dit indique l'absence de besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de chaud, alors le deuxième mode de production de froid est déclenché.

[0094] Lorsque chacun des indicateurs *hotprod* et *coldprod* retourne l'état booléen VRAI ou 1, c'est-à-dire indiquent respectivement un besoin, notamment actuel et/ou futur, de production de chaud et de froid alors le troisième mode de production simultanée de chaud et de froid est déclenché.

[0095] Lorsque la thermofrigopompe est en fonctionnement, celle-ci peut s'arrêter à un instant t' pour une durée minimale de δt secondes si

- elle est en premier mode de production et la température mesurée à cet instant t' dans le ballon tampon chaud est supérieure à $T_{\text{sp,hot}} + dT$,
- elle est en deuxième mode de production et la température mesurée à cet instant t' dans le ballon tampon froid est inférieure à $T_{\text{sp,cold}} - dT$, ou
- elle est en troisième mode de production et la température mesurée dans le ballon tampon chaud à l'instant t' est supérieure à $T_{\text{sp,hot}} + dT$ ou la température mesurée dans le ballon tampon froid est inférieure à $T_{\text{sp,cold}} - dT$.

Exemple comparatif

[0096] Le procédé selon l'invention a été mis en oeuvre sur un modèle numérique représentatif d'un système de production d'eau chaude et froide, impliquant la thermofrigopompe 10 connectée au champ géothermique 30.

[0097] Les figures 5 et 6 illustrent le temps de fonction-

nement cumulé en heures de la thermofrigopompe en appliquant un pilotage par contrôle classique et un pilotage par le procédé de commande selon l'invention, respectivement. Les courbes a, b et c correspondent aux durées de fonctionnement selon le premier mode de production de chaleur seul, le deuxième mode de production de froid seul et le troisième mode de production simultanée de chaud et de froid, respectivement.

A) Pilotage par contrôle classique

[0098] Le pilotage de la thermofrigopompe par contrôle classique utilisé est le suivant

Premier mode de production de chaud

[0099] Le premier mode de production de chaud seul est déclenché à un instant t si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- la température mesurée du ballon tampon chaud est inférieure à $T_{sp, hot} - dT$
- La température du ballon tampon froid est inférieure à $T_{sp, cold} + dT$.

Deuxième mode de production de froid

[0100] Le deuxième mode de production de froid seul est déclenché, si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- la température mesurée du ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} - dT$,
- la température du ballon tampon froid est supérieure à $T_{sp, cold} + dT$.

Troisième mode de production simultanée de chaud et de froid

[0101] Le troisième mode de production simultanée de froid et de chaud, si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- la température mesurée du ballon tampon chaud est inférieure à $T_{sp, hot} - dT$,
- la température du ballon tampon froid est supérieure à $T_{sp, cold} + dT$.

[0102] Lorsque la thermofrigopompe fonctionne selon l'un des trois modes ci-dessus, celle-ci se met en arrêt pour une durée minimale de δt secondes lorsque :

- la thermofrigopompe est en premier mode de production et la température mesurée du ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$,
- la thermofrigopompe est en deuxième mode de production et la température mesurée du ballon tampon d'eau glacée est inférieure à $T_{sp, cold} - dT$,

- la thermofrigopompe est en troisième mode de production et :

- Soit la température mesurée du ballon tampon froid est inférieure à $T_{sp, cold} - dT$
- Soit la température mesurée du ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$.

B) Pilotage avec le procédé selon l'invention

[0103] Le pilotage de la thermofrigopompe selon l'invention est le suivant :

Premier mode de production de chaud

[0104] Le premier mode de production de chaud seul est déclenché à un instant t si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- la température mesurée du ballon tampon chaud est inférieure à $T_{sp, hot} - dT$, et
- l'indicateur COLDPROD retourne le booléen FALSE.

Deuxième mode de production de froid

[0105] Le deuxième mode de production de froid seul est déclenché, si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- l'indicateur HOTPROD retourne le booléen FALSE, et
- la température du ballon tampon froid est supérieure à $T_{consigne, cold} + dT$.

Troisième mode de production simultanée de chaud et de froid

[0106] Le troisième mode de production simultanée de froid et de chaud, si :

- la thermofrigopompe est actuellement arrêtée,
- l'indicateur HOTPROD retourne le booléen TRUE, et
- l'indicateur COLDPROD retourne le booléen TRUE.

[0107] Lorsque la thermofrigopompe fonctionne selon l'un des trois modes ci-dessus, celle-ci se met en arrêt pour une durée minimale de δt secondes lorsque

- la thermofrigopompe est en premier mode de production et la température mesurée du ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$
- la thermofrigopompe est en deuxième mode de production et la température mesurée du ballon tampon d'eau glacée est inférieure à $T_{sp, cold} - dT$
- la thermofrigopompe est en troisième mode de production et :

- Soit la température mesurée du ballon tampon froid est inférieure à $T_{sp, cold} - dT$,
- Soit la température mesurée du ballon tampon chaud est supérieure à $T_{sp, hot} + dT$.

[0108] Pour les deux pilotages, la valeur du paramètre dT d'hystérésis utilisée est de 2°C.

[0109] Les figures 5 et 6 fournissent des indicateurs macroscopiques sur l'opération annuelle du système, notamment les durées d'usage de chaque mode de production au cours de l'année. On observe que l'utilisation du troisième mode de production simultanée augmente sensiblement lorsque le fonctionnement de la thermofrigopompe 10 est commandé selon le procédé selon l'invention. La durée d'usage de ce troisième mode passe par exemple de 82 h pour un pilotage classique à 436 h lorsque le procédé selon l'invention est mis en oeuvre, soit une augmentation de 430% environ. Le procédé selon l'invention favorise donc le troisième mode de production au détriment des autres modes de production.

[0110] Si l'on prend l'exemple du contexte économique français de l'année 2020 pour les prix de l'électricité et du gaz, un gain opérationnel de 5% peut être obtenu lorsque le procédé selon l'invention est mis en oeuvre. En outre, le fonctionnement de la thermofrigopompe 10 est réduit de l'ordre de 300 h sur l'année sans augmenter le nombre de démarrages nécessaires, ce qui permet de retarder le vieillissement de celle-ci.

[0111] L'exemple comparatif qui vient d'être décrit démontre quantitativement que le procédé selon l'invention, en favorisant par défaut le mode de production 'thermofrigopompe' vis-à-vis des autres modes de fonctionnement, permet des gains significatifs sur le fonctionnement du système. Alors que l'implémentation des estimateurs est la plus simple possible dans l'exemple illustré, les gains sont notables.

[0112] L'invention n'est pas limitée à l'exemple qui vient d'être décrit.

Par exemple, la fonction temporelle peut être estimée autrement que par une régression linéaire.

Revendications

1. Procédé de commande du fonctionnement d'une thermofrigopompe (10) reliée à des ballons tampons de chaud (22) et de froid (24), capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième de production combinée de froid et de chaud, le déclenchement des différents modes s'effectuant à un instant donné t en fonction des températures des ballons tampons mesurées et d'au moins une information représentative d'un besoin futur de production de chaud ou de froid pour les ballons tampons.

2. Procédé de commande selon la revendication 1, le

besoin futur de production de chaud ou de froid étant prédit par estimation d'au moins une valeur future de la température dans le ballon tampon correspondant (22 ; 24) et par comparaison de la ou des valeurs estimées avec au moins une température de consigne de production de chaud ou de froid.

3. Procédé de commande selon la revendication 1 ou 2, le besoin futur de production de chaud ou de froid étant estimé à partir de l'observation passée de la température dans le ballon tampon correspondant.

4. Procédé de commande selon la revendication précédente, le besoin futur de chaud ou de froid étant estimé par :

- détermination d'une fonction temporelle représentative de l'évolution dans le temps de la température dans le ballon tampon correspondant sur la base de l'observation passée de la température dans ledit ballon,
- estimation d'au moins une valeur future de la température dans le ballon tampon correspondant sur un horizon temporel futur à partir de la fonction temporelle, et
- comparaison de la ou les valeurs de température ainsi estimées avec au moins une température de consigne de production de chaud ou de froid.

5. Procédé de commande selon la revendication 4, la fonction temporelle étant déterminée par une méthode de régression sur l'observation passée, la fonction temporelle étant de préférence une fonction polynomiale de degré supérieur ou égal à 1, de préférence de degré égal à 1.

6. Procédé de commande selon l'une des revendications 4 et 5, l'horizon temporel futur étant compris entre de 5 min et 3 h, mieux entre 5 min et 1 h, encore mieux entre 10 min et 30 min.

7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 6, l'observation passée étant effectuée sur un horizon temporel passé compris entre 5 min et 3 h, mieux entre 5 min et 1 h, encore mieux entre 10 min et 30 min, l'horizon passé comportant de préférence ledit instant donné t.

8. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, comportant le calcul d'un premier indicateur booléen, dit « *hotprod* », dont au moins un état dépend au moins de l'information représentative d'un besoin futur de produire du chaud et d'un deuxième indicateur booléen, dit « *coldprod* », dont au moins un état dépend au moins de l'information représentative d'un besoin futur de produire du froid.

9. Procédé de commande selon la revendication précédente, le premier indicateur *hotprod* prenant à l'instant t un premier état booléen indiquant un besoin de produire du chaud lorsque :

a) la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon chaud est inférieure à la température de consigne de production de chaud à une hystérésis de température dans le ballon tampon chaud près, ou
b) la ou les valeurs de température futures estimées dans le ballon tampon chaud sont inférieures à la température de consigne de production de chaud à ladite hystérésis près, le premier indicateur prenant autrement, c'est-à-dire lorsqu'aucune des conditions a) et b) n'est vérifiée, un deuxième état booléen indiquant l'absence de besoin de production de chaud.

10. Procédé de commande selon la revendication 8 ou 9, le deuxième indicateur *coldprod* prenant à l'instant t un premier état booléen indiquant un besoin de produire du froid lorsque :

c) la température mesurée à l'instant t dans le ballon froid est supérieure à la température de consigne de production de froid à une hystérésis de température dans ledit ballon tampon près, d) la ou les valeurs de températures estimées dans le ballon tampon froid sont supérieures à la température de consigne de production de froid à ladite hystérésis près, le deuxième indicateur prenant autrement, c'est-à-dire lorsqu'aucune des conditions c) et d) n'est vérifiée, un deuxième état booléen indiquant l'absence de besoin de production de froid.

11. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, la thermofrigopompe étant préalablement à l'arrêt ; le premier mode étant déclenché lorsque la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon chaud (22) est inférieure à la température de consigne de production de chaud à l'hystérésis de température dans ledit ballon près et que le deuxième indicateur *coldprod* indique l'absence de besoin de production de froid.

12. Procédé selon l'une des revendications 8 à 11, la thermofrigopompe étant préalablement à l'arrêt, le deuxième mode étant déclenché lorsque la température mesurée à l'instant t dans le ballon tampon froid (24) est supérieure à la température de consigne de production de froid à l'hystérésis de température dans ledit ballon près et que le premier indicateur *hotprod* indique l'absence de besoin de production de chaud.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, la thermofrigopompe étant préalablement à l'arrêt, le troisième mode étant déclenché lorsque les indicateurs *hotprod* et *coldprod* indiquent en même temps un besoin de production de chaud et de froid, respectivement.

14. Système de production de chaud et de froid, notamment pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant :

- Une thermofrigopompe (10) capable d'opérer selon au moins un premier mode de production de chaud seul, un second de production de froid seul et un troisième de production combinée de froid et de chaud,
- Au moins deux ballons tampons froid et chaud (22 ; 24) reliés à la thermofrigopompe (10), et
- un contrôleur (70) configuré pour commander le déclenchement des modes de fonctionnement de la thermofrigopompe à un instant donné t en fonction des températures des ballons tampons mesurées et d'au moins une information représentative d'un besoin futur de production de chaud ou de froid pour les ballons tampons.

[Fig 1]

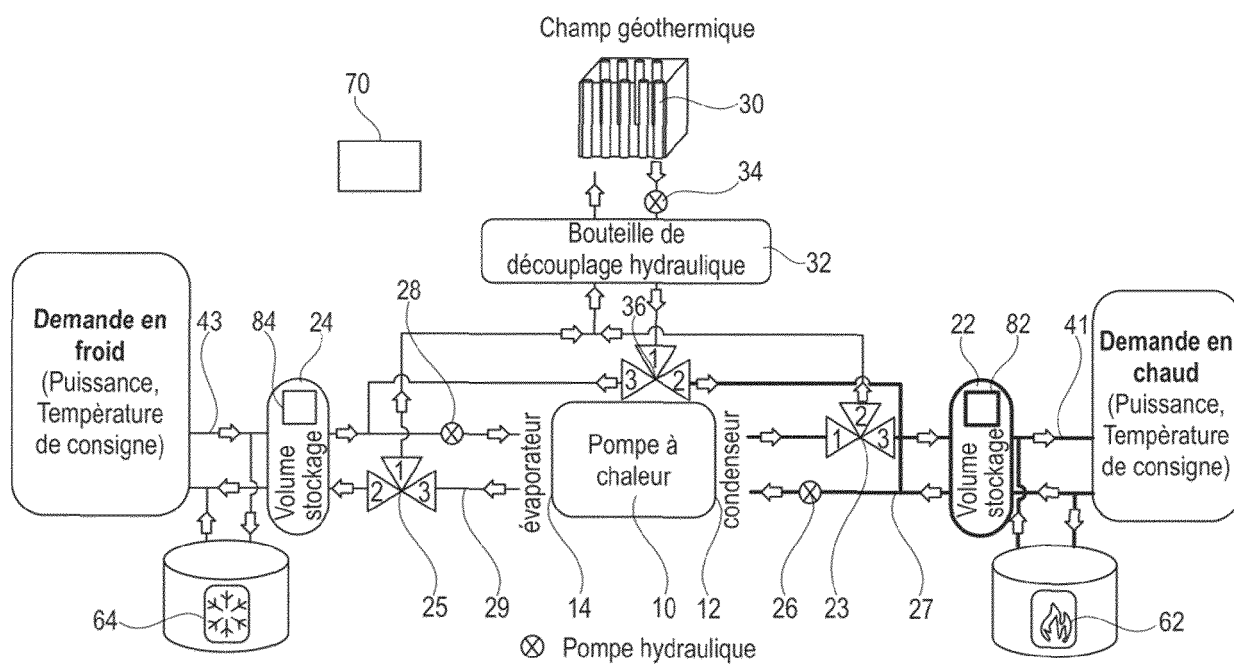


Fig. 1

[Fig 2]

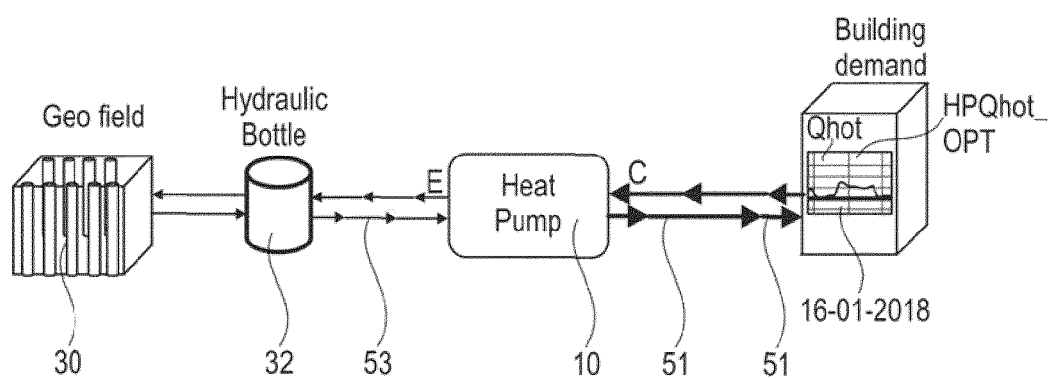


Fig. 2

[Fig 3]

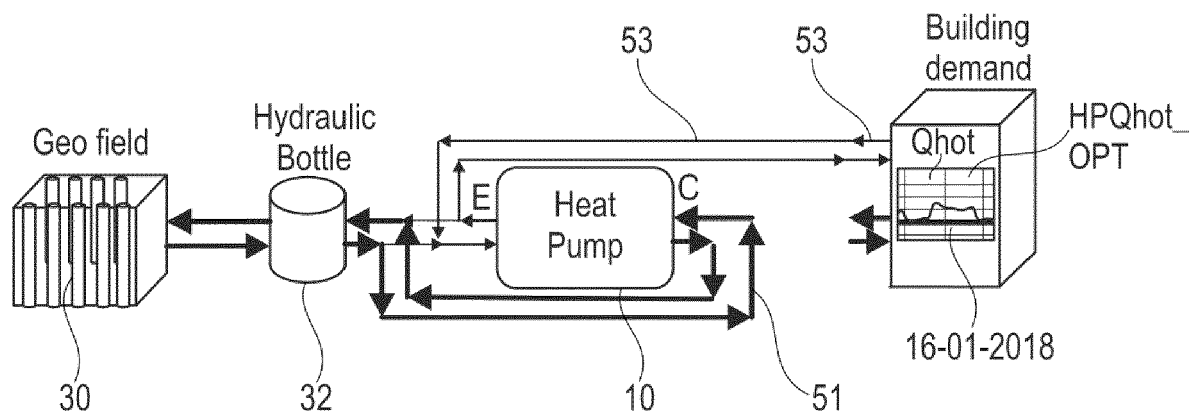


Fig. 3

[Fig 4]

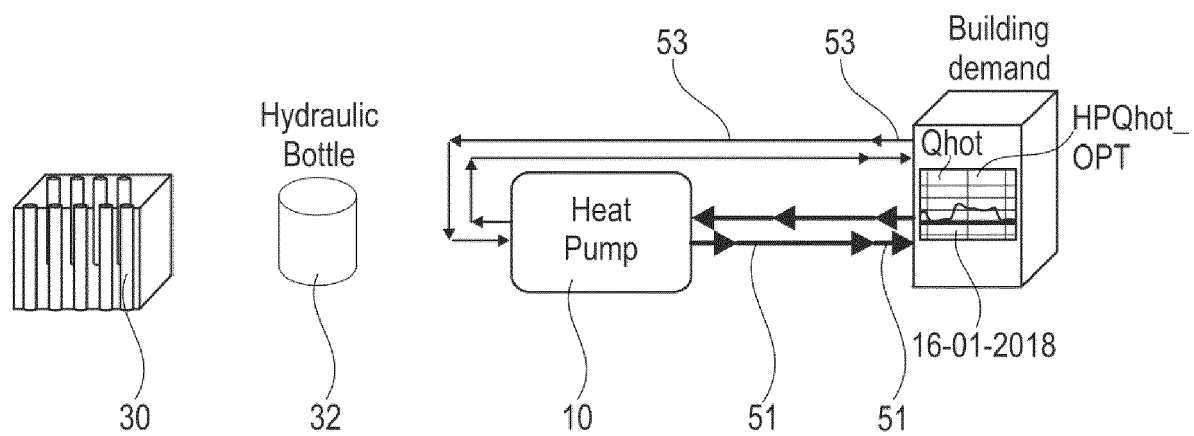


Fig. 4

[Fig 5]

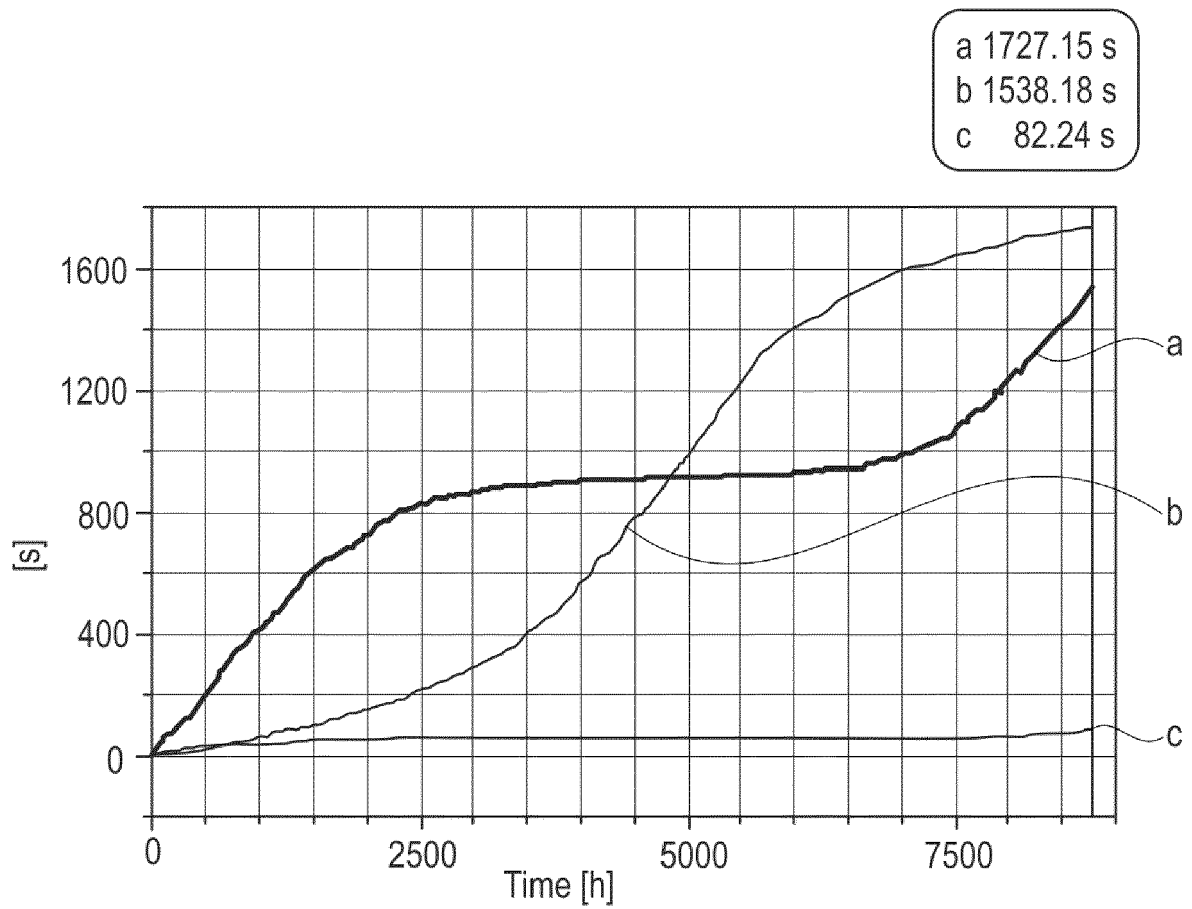


Fig. 5

[Fig 6]

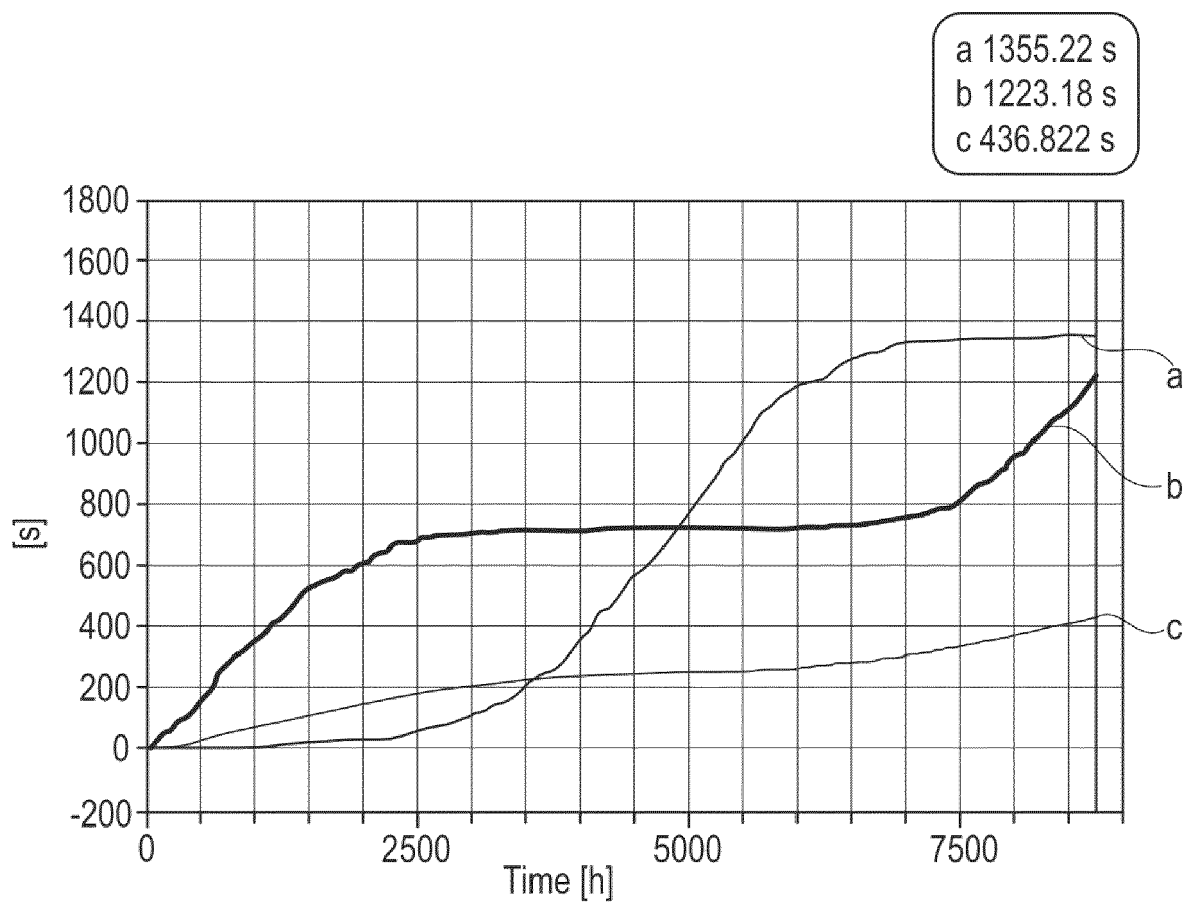


Fig. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 15 5385

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 3 009 071 A1 (ASS POLE CRISTAL [FR]; UNIVERSTE DE RENNES I [FR] ET AL.) 30 janvier 2015 (2015-01-30) * page 13, ligne 19 - page 29, ligne 11; figures 10,11 *	1-14	INV. F24D11/02 F24D17/02 F24D19/10 F24F5/00 F24H15/223 F24H15/429 F25B13/00
A	WO 2011/058383 A2 (SUNAMP LTD [GB]; FIELD JOHN [GB]; BISSELL ANDREW [GB]) 19 mai 2011 (2011-05-19) * page 65, alinéa 5 - page 66, alinéa 3; figure 4 *	1-14	ADD. F24D3/08
A	WO 2019/204943 A1 (GLOVER MICHAEL [CA]; ALLEN GREGORY [CA]) 31 octobre 2019 (2019-10-31) * alinéas [0015] - [0101]; figures 12,13 *	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F24D F25B F24F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		20 mars 2023	Hoffmann, Stéphanie
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 23 15 5385

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.

20-03-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3009071 A1	30-01-2015	EP 3027978 A1	08-06-2016
		FR 3009071 A1	30-01-2015
		WO 2015015104 A1	05-02-2015
WO 2011058383 A2	19-05-2011	CN 102695924 A	26-09-2012
		CN 105202959 A	30-12-2015
		CN 105222204 A	06-01-2016
		CN 105222632 A	06-01-2016
		CN 105222633 A	06-01-2016
		CN 105241122 A	13-01-2016
		DK 2502004 T3	02-01-2018
		EP 2502004 A2	26-09-2012
		ES 2653566 T3	07-02-2018
		KR 20120117984 A	25-10-2012
		US 2012227926 A1	13-09-2012
		US 2018195741 A1	12-07-2018
		US 2020217518 A1	09-07-2020
		US 2022390186 A1	08-12-2022
		WO 2011058383 A2	19-05-2011
WO 2019204943 A1	31-10-2019	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

- US 10378805 B2 [0006]
- US 7905103 B [0007]
- CN 105937823 B [0008]