



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
07.12.2016 Bulletin 2016/49

(51) Int Cl.:
F24H 9/20 (2006.01) **F24D 17/00 (2006.01)**
F24D 19/10 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16171629.5**

(22) Date de dépôt: **27.05.2016**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **BEEKER-ADDA, Nathanaël**
75012 PARIS (FR)
• **MALISANI, Paul**
75018 PARIS (FR)
• **COINCE, Anne-Sophie**
77210 AVON (FR)

(30) Priorité: **29.05.2015 FR 1554896**

(74) Mandataire: **Regimbeau**
139, rue Vendôme
69477 Lyon Cedex 06 (FR)

(71) Demandeur: **Electricité de France**
75008 Paris (FR)

(54) **PROCÉDÉ D'ESTIMATION D'UNE GRANDEUR PHYSIQUE D'UN RÉSERVOIR D'EAU D'UN CHAUFFE-EAU**

(57) L'invention concerne un procédé d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau (10), le réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- Une partie intermédiaire (P2) en échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10) ;
- Une partie inférieure (P1) présentant une entrée d'eau (E) ;
- Une partie supérieure (P3) présentant une sortie d'eau (S) ; L'entrée d'eau (E) et/ou la sortie d'eau (S) étant équipée d'un capteur de débit (21, 22) mesurant un débit d'eau soutirée ;

Le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend la mise en oeuvre par des moyens de traitement de données (30) connectés audit capteur de débit (21, 22), d'étapes de :

- (a) Détermination d'un régime de fonctionnement ;
- (b) A partir d'un volume initial (V_{2i}) de la partie intermédiaire (P2) et de températures initiales (T_{1i} , T_{2i} , T_{3i}) des parties (P1, P2, P3) du réservoir (10), détermination d'un volume final (V_{2f}) de la partie intermédiaire (P2) et de températures finales (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f}) des parties (P1, P2, P3) du réservoir (10) ;
- (c) Estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau (10) en fonction des températures et volumes finaux (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f}) des parties (P1, P2, P3) du réservoir (10).

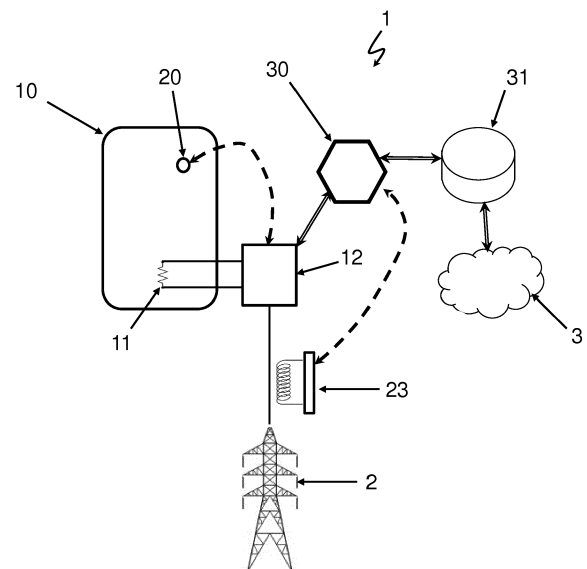


FIG. 1a

Description

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

[0001] La présente invention concerne un procédé d'estimation d'une grandeur thermique dans d'un système de type chauffe-eau.

ETAT DE L'ART

[0002] Le « mix énergétique » désigne la répartition des différentes sources consommées pour la production d'énergie électrique. Ce mix énergétique, en constante évolution, voit la progression constante des Energies Renouvelables, ce qui entraîne un besoin accru en flexibilités du système.

[0003] Ces dernières, représentées essentiellement par l'éolien et le photovoltaïque, ne permettent en effet pas une production constante et régulée au contraire d'une centrale nucléaire, d'où des problèmes de variabilité et de prévisibilité de la production associée. Cela fait que les aléas de très court terme vont fortement augmenter.

[0004] D'autre part, des problèmes locaux de qualité de fourniture électrique vont être amplifiés du fait d'une répartition géographique inhomogène des installations, avec par exemple plutôt du photovoltaïque dans le Sud et de l'éolien dans le Nord.

[0005] Il apparait essentiel de trouver des solutions de pilotage de la charge associée en vue de maîtriser l'aléa lié aux Energies Renouvelables.

[0006] Il a par exemple été proposé la charge de batteries stationnaires pour faciliter l'insertion massive de panneaux photovoltaïques (démonstrateur « NiceGrid »). Toutefois, les coûts d'investissement élevés ne permettent pas d'envisager un déploiement à grande échelle de cette solution alternative. Il est également prévu d'agir sur la puissance réactive fournie par les panneaux photovoltaïque pour ajuster la tension. Cependant, cette dernière piste ne répond pas aux enjeux de maîtrise de l'aléa éolien.

[0007] Alternativement au stockage via batteries, il est possible de stocker l'énergie thermiquement. Avec près de 12 millions d'unités installées en France dont plus de 80% sont asservies au signal tarifaire Heures Pleines/Heures creuses (HP/HC), le parc de Chauffe-Eau Joule (CEJ) à accumulation résidentiel - utilisé aujourd'hui pour le lissage journalier de la courbe de charge - est susceptible de répondre à ces nouveaux enjeux.

[0008] La Demanderesse a à ce titre déposé plusieurs demandes de brevet telles que FR1363229, FR1363237, FR1452022 ou FR1453375, proposant des solutions très satisfaisantes permettant d'utiliser la capacité de stockage des chauffe-eau joule pour réguler l'énergie électrique d'origine renouvelable de façon efficace, intelligente, et adaptable à n'importe quel chauffe-eau existant sans modifications lourdes, et sans couplage direct.

[0009] On constate toutefois que les systèmes décrits dans ces demandes utilisent comme variable les données dites de « profil de température », i.e. des paramètres thermodynamiques plus complexes qu'une simple valeur de température, notamment les quantités d'énergie stockées/stockable dans les réservoirs de ces chauffe-eau.

[0010] Ces énergies peuvent s'estimer sous forme de capacité calorifique de l'eau ($4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) à partir de la température et du volume du réservoir, mais cela revient à modéliser un réservoir par un volume d'eau de température uniforme, ce qui est en pratique faux et constitue une forte approximation.

[0011] Une estimation plus précise du profil de température permettrait un contrôle plus précis du parc de chauffe-eau et donc une optimisation de la consommation énergétique et une meilleure adaptation par rapport à la variabilité des productions à l'échelle locale pour satisfaire les contraintes sur le réseau, sans porter préjudice au confort de l'utilisateur.

[0012] Ainsi, la demande WO2012164102 propose un ballon divisé en plusieurs « couches » chacune équipée d'un capteur de température. A partir de deux consignes de températures et des mesures de ces capteurs, il est possible de calculer des « variables d'intérêt » telles que la capacité énergétique restante du ballon ou l'énergie minimale à apporter pour que l'eau soit uniformément à la première consigne de température.

[0013] Un tel système s'avère efficient mais il est « intrusif ». Cela signifie qu'il nécessite une modification physique du ballon (introduction d'une pluralité de capteurs à des emplacements prédéterminés) et n'est applicable en pratique qu'à des nouveaux chauffe-eau.

[0014] Au contraire, il serait souhaitable d'utiliser au mieux les équipements existants sans modification sensible.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0015] L'invention propose de pallier ces inconvénients en proposant selon un premier aspect un procédé d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau, le réservoir d'eau s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- Une partie intermédiaire en échange thermique avec un dispositif de chauffage de l'eau du réservoir, le dispositif comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique ;
- Une partie inférieure présentant une entrée d'eau ; et
- Une partie supérieure présentant une sortie d'eau ;

[0016] L'entrée d'eau et/ou la sortie d'eau étant équipée d'un capteur de débit mesurant un débit d'eau soutirée ;

[0017] Le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend la mise en oeuvre par des moyens de traitement de données connectés audit capteur de débit, d'étapes

de :

(a) Détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir, un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, et de mesures de débit d'eau soutirée ;

(b) A partir d'un volume initial de la partie intermédiaire et de températures initiales des parties du réservoir, détermination d'un volume final de la partie intermédiaire et de températures finales des parties du réservoir, en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, et les mesures de débit d'eau soutirée ;

(c) A partir de volumes initiaux des parties inférieure et supérieure et dudit volume final de la partie intermédiaire, détermination de volumes finaux des parties inférieure et supérieure ;

(d) Estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau en fonction des températures et volumes finaux des parties du réservoir.

[0018] Le procédé selon l'invention est avantageusement complété par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- ladite grandeur thermique est choisie parmi une température moyenne de l'eau du réservoir, une température minimale de l'eau du réservoir, une température maximale de l'eau du réservoir, une quantité d'énergie stockée dans le réservoir, une quantité d'énergie encore stockable dans le réservoir, un équivalent volume d'eau disponible à une température donnée, un temps de chauffe nécessaire, et des combinaisons de ces grandeurs ;
- le procédé comprend récursivement la répétition des étapes (a) à (c) de sorte que les températures et volumes finaux des parties sont utilisés comme températures et volumes initiaux des parties à l'itération suivante ;
- le volume de la partie inférieure présente une valeur constante prédéterminée ;
- le volume de la partie supérieure est donné par la formule $V_3 = V - V_2 - V_1$, où V est le volume total du réservoir ;
- l'étape (b) comprend, si le régime de fonctionnement déterminé est le premier régime, la détermination d'un volume d'eau soutirée en fonction des débits mesurés, ledit volume d'eau soutirée étant ajouté au volume de la partie intermédiaire, et présentant une température d'eau froide prédéterminée ;
- le volume final de la partie inférieure est égal au vo-

lume initial si le régime de fonctionnement déterminé n'est pas le premier régime ;

- l'étape (b) comprend, si le régime de fonctionnement déterminé est le deuxième régime, la détermination d'un apport thermique en fonction de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, ledit apport thermique étant appliqué à la partie intermédiaire ;
- l'étape (b) comprend, quel que soit le régime, la détermination de pertes thermiques - pouvant être négatives dans la partie inférieure - de chaque partie (V2 et V3) en fonction d'une température ambiante prédéterminée ;
- le réservoir présente au moins une sonde de température configurée pour émettre un signal représentatif de la température d'une partie de l'eau du réservoir, l'étape (b) comprenant le contrôle des températures finales des parties en fonction dudit signal émis par la sonde ;
- l'étape (b) comprend postérieurement la détermination d'un volume final corrigé de la partie intermédiaire et d'au moins une température finale corrigée de la partie supérieure si l'écart entre les températures finales des parties inférieure et supérieure est inférieur à un seuil donné ;
- ledit volume final corrigé de la partie intermédiaire est nul, la température finale corrigée de la partie supérieure étant la moyenne pondérée des températures finales des parties intermédiaire et supérieure ;
- le procédé comprend une étape (e) de contrôle dudit dispositif de chauffage par un module de contrôle en fonction de ladite grandeur thermique déterminée ;
- l'étape (e) comprend la réception de données descriptives d'un état du réseau électrique par le module de traitement de données, la détermination d'une consigne en fonction de ladite grandeur thermique déterminée et des données descriptives d'un état du réseau électrique, et l'émission de ladite consigne à destination du module de contrôle de sorte à modifier une capacité énergétique du réservoir d'eau.

[0019] Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un ensemble d'estimation d'une grandeur thermique adapté pour un réservoir d'eau s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- Une partie intermédiaire en échange thermique avec un dispositif de chauffage de l'eau du réservoir, le dispositif comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique ;
- Une partie inférieure présentant une entrée d'eau ; et
- Une partie supérieure présentant une sortie d'eau ;

[0020] L'ensemble étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- Au moins un capteur de débit mesurant un débit

d'eau soutirée au niveau de l'entrée d'eau et/ou de la sortie d'eau ;

- des moyens de traitement de données connectés audit capteur de débit, configurée pour mettre en oeuvre :

o un premier module de détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir, un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe, en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, et de mesures de débit d'eau soutirée ;

o un deuxième module de détermination, à partir d'un volume initial de la partie intermédiaire et de températures initiales des parties du réservoir, d'un volume final de la partie intermédiaire et de températures finales des parties du réservoir, en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, et les mesures de débit d'eau soutirée ;

o Un troisième module de détermination, à partir de volumes initiaux des parties inférieure et supérieure et dudit volume final de la partie intermédiaire, de volumes finaux des parties inférieure et supérieure ;

o un quatrième module d'estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau en fonction des températures et volumes finaux des parties du réservoir.

[0021] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives :

- l'ensemble est soit adapté pour être connecté à un compteur électrique via lequel le moyen de chauffage du dispositif est alimenté par le réseau électrique, soit comprenant un élément de mesure de la consommation électrique dudit moyen de chauffage du dispositif.

[0022] Selon un troisième aspect, l'invention concerne un système de chauffe-eau comprenant un réservoir d'eau, un dispositif comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique, un module de contrôle dudit dispositif, et un ensemble d'estimation d'une grandeur thermique selon le deuxième aspect de l'invention, adapté pour le réservoir.

[0023] Selon un quatrième et un cinquième aspect, l'invention concerne un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code pour l'exécution d'un procédé selon le premier aspect d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur ; et un moyen

de stockage lisible par un équipement informatique sur lequel un produit programme d'ordinateur comprend des instructions de code pour l'exécution d'un procédé selon le premier aspect de l'invention d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau.

PRESENTATION DES FIGURES

[0024] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1a-1e sont des schémas de cinq modes de réalisation préférés d'un système pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention ;
- la figure 2 est un schéma représentant la modélisation d'un réservoir d'eau utilisée dans le procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE

Architecture générale

[0025] La **figure 1a** représente l'architecture générale d'une possibilité de mode de réalisation d'un système 1 pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention. Ce système est typiquement un chauffe-eau, en particulier Chauffe-Eau Joule (CEJ), bien que l'invention ne soit pas limitée à ces derniers. 44% des habitats en sont équipés. Alternativement, le système 1 peut être un chauffe-eau thermodynamique.

[0026] Le système 1 comprend ainsi :

- un réservoir d'eau 10 (communément appelé « ballon » d'eau chaude) ;
- un dispositif de chauffage 11 de l'eau du réservoir 10, le dispositif 11 comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique 2 ;
- éventuellement une sonde de température 20 configurée pour émettre un signal représentatif de la température de l'eau du réservoir 10, mais comme l'on verra il est envisageable que le système 1 ne comprenne aucune sonde 20 ;
- de façon préférée un module de contrôle 12 dudit dispositif de chauffage 11 ;
- une entrée d'eau E et une sortie d'eau S, dont on verra les positions plus loin ;
- au moins un capteur de débit 21, 22 équipant l'entrée E et/ou la sortie S, de sorte à mesurer un débit d'eau soutirée, c'est-à-dire le débit d'eau sortant du réservoir 10 pour être distribuée, par exemple via un robinet ouvert. On comprendra que le réservoir 10 est toujours plein (d'un volume total constant V, typiquement quelques dizaines de litres, en particulier 50 à 300L suivant la taille de l'habitation) et donc que toute l'eau soutirée du réservoir 10 est simultanément remplacée par de l'eau fraîche, de sorte que le débit

d'entrée est égal au débit de sortie. En général, un seul débitmètre 22 placé sur la sortie S suffit.

[0027] Le moyen de chauffage électrique du dispositif de chauffage 11 est généralement une résistance, d'où le chauffage de l'eau par effet joule. Alternativement, il peut s'agir par exemple d'une pompe à chaleur complète dont la source chaude est en échange thermique avec l'eau du réservoir 10 (et la source froide en échange thermique par exemple avec l'air extérieur), de sorte à permettre un chauffage de l'eau avec une efficacité supérieure à 100%. C'est ce que l'on appelle un chauffe-eau thermodynamique.

[0028] De façon préférée, le dispositif 11 est intégralement électrique (il ne comprend ainsi que des moyens de chauffage alimentés par le réseau 2, et pas de brûleurs à gaz par exemple). L'énergie de chauffage fournie à l'eau est alors entièrement d'origine électrique. Le système n'est toutefois pas limité à cette configuration et le dispositif 11 peut alternativement comprendre en outre un moyen de chauffage alternatif (non-électrique) tel qu'un brûleur, un échangeur avec un collecteur solaire, etc.

[0029] Le réseau 2 est un réseau à grande échelle qui relie une pluralité de sources électriques. Comme expliqué précédemment, il s'agit à la fois d'énergie d'origine non-renouvelable (nucléaire et/ou fossile) et d'origine renouvelable (solaire, éolien, etc.). L'énergie d'origine renouvelable présente des problèmes de variabilité et de prévisibilité, alors que l'énergie d'origine non-renouvelable est d'une meilleure disponibilité.

[0030] Dans l'hypothèse où l'utilisateur du système 1 comprend une source personnelle d'énergie renouvelable (par exemple des panneaux photovoltaïques de toit) on comprend que le réseau 2 englobe à la fois le réseau électrique global et le réseau électrique local de l'utilisateur (en d'autres termes que les centrales distantes et les panneaux solaires locaux peuvent aussi bien l'un que l'autre alimenter le dispositif de chauffage 11).

[0031] Le système 1 est régulé en température. Pour cela il comprend généralement comme expliqué une ou plusieurs sondes de température 20 et un module de contrôle 12 du dispositif de chauffage 11. La ou les sondes 20 envoient en permanence ou par intermittence un signal représentatif de la température de l'eau du réservoir 10. Comme l'on verra, le présent procédé permet éventuellement de fournir par exemple une température moyenne de l'eau du réservoir 10 (en d'autres termes la température n'est plus mesurée mais estimée), ce qui remplace la ou les sondes 20 qui ne sont donc pas indispensables.

[0032] Le module de contrôle 12 est typiquement une carte électronique qui déclenche ou non le chauffage en fonction de la température de l'eau et de nombreux autres paramètres éventuels (programmation, saison, plages horaires, heures creuses/heures pleines, usages habituels de l'utilisateur, etc.).

[0033] De façon générale un chauffe-eau Joule com-

prend le plus souvent deux températures de seuil (dont la valeur peut varier selon le moment et des réglages personnels) : une première température de seuil qui est la température « minimale » et une deuxième température de seuil qui est la température « maximale » (le premier seuil est inférieur au deuxième seuil). Ces deux seuils sont quelques degrés autour (par exemple +/- 4°C) d'une température de « confort » qui est la température moyenne souhaitée, réglée par l'utilisateur (l'intervalle 50-65°C est courant).

[0034] Le module de contrôle 12 est ainsi configuré pour activer le dispositif de chauffage 11 lorsque la température (mesurée ou estimée) est inférieure au premier seuil prédéfini, et/ou configuré pour désactiver le dispositif de chauffage 11 lorsque cette température supérieure au deuxième seuil prédéfini.

[0035] Ainsi, tant que le dispositif de chauffage 11 est arrêté et que l'on est entre les deux seuils rien ne se passe. Si la température baisse (avec le temps ou parce que l'utilisateur tire de l'eau chaude) et passe en dessous du premier seuil, le dispositif de chauffage 11 est activé, et ce jusqu'à atteindre le deuxième seuil (température maximale, supérieure au premier seuil). La température se remet ensuite à baisser, etc. En d'autres termes il y a une alternance de phases de « refroidissement » pendant lesquelles la température descend du deuxième seuil au premier seuil (voir au-delà si l'utilisateur continue d'utiliser de l'eau chaude), et de phases de « chauffe » pendant lesquelles la température monte sous l'effet du dispositif 11 allumé d'une température inférieure ou égale au premier seuil jusqu'au deuxième seuil.

[0036] Comme expliqué avant, cette configuration peut dépendre d'autres paramètres, et il peut y avoir plus de deux seuils, éventuellement mobiles, par exemple de façon à optimiser la consommation d'énergie pendant les heures creuses (les chauffe-eaux sont souvent prévus pour remonter l'eau en température préférentiellement au petit matin, de sorte à maximiser l'utilisation des heures creuses et avoir de l'eau chaude en quantité au moment de se doucher).

[0037] En pratique, les premier et deuxième seuils sont souvent la conséquence d'un phénomène d'hystérésis autour d'une valeur médiane, qui définit ces deux seuils. L'écart induit est alors d'environ 3°C.

[0038] La présente invention n'est limitée à aucune configuration en particulier.

Procédé d'estimation d'une grandeur thermique du réservoir

[0039] Le présent procédé propose d'estimer une grandeur thermique du réservoir à partir d'un modèle innovant du réservoir 10. Cette grandeur thermique peut être de nombreux types et peut être par exemple choisie parmi une température moyenne de l'eau du réservoir 10, une température minimale de l'eau du réservoir 10, une température maximale de l'eau du réservoir 10, une quantité d'énergie stockée dans le réservoir 10, une

quantité d'énergie encore stockable dans le réservoir 10, et des combinaisons de ces grandeurs (ou toute grandeur dérivant directement d'une de ces grandeurs ou d'une de leur combinaisons).

[0040] La grandeur peut encore être un indicateur d'eau chaude disponible (ou indicateur de confort) : par exemple l'équivalent volume d'eau chaude à 40°C (ou une autre température donnée) disponible pour le consommateur, i.e. volume correspondant au mélange de l'eau au-dessus de 40°C dans le ballon mélangé avec de l'eau froide pour obtenir une eau à 40°C (alternativement, l'énergie contenue dans l'eau chaude du ballon de température supérieure à 40°C comparée à de l'eau froide du réseau), et plus généralement tout indicateur de la quantité d'eau chaude disponible pour le consommateur, qui peut être défini à l'aide du profil de température et de valeurs représentant les exigences de confort du consommateur.

[0041] La grandeur peut encore être un temps de chauffe nécessaire pour que la chauffe ait un effet sur l'indicateur de confort précédemment défini. Cette variable provient du fait que la chauffe du ballon se fait par le bas du volume d'eau, et n'affecte les couches d'eau chaude du ballon située en haut du réservoir 10 que tardivement.

[0042] De façon générale, l'objectif est d'obtenir un « profil » de température, c'est-à-dire une connaissance spatiale de la température au sein du réservoir, à partir duquel il va être possible d'estimer de façon fiable et précise lesdites grandeurs.

[0043] En effet, une mesure ponctuelle de la température par une sonde 20 n'est représentative que d'une température locale, la température moyenne réelle pouvant être bien différente. Le présent procédé permet ainsi de diminuer sensiblement les approximations nécessaires dans les chauffe-eau existant.

[0044] On obtient ainsi un résultat égal voire encore plus fiable que celui qu'on aurait pu obtenir en multipliant les sondes 20 au sein du réservoir 10. Ainsi, comme l'on verra plus loin, le présent procédé s'adapte parfaitement à un chauffe-eau existant sans modifications intrusives.

Modélisation du réservoir

[0045] En référence à la figure 2, le réservoir d'eau 10 s'étend selon un axe longitudinal sensiblement vertical (les ballons des chauffe-eau sont généralement sensiblement cylindriques) et présente :

- Une partie intermédiaire P2 en échange thermique avec le dispositif 11 de chauffage de l'eau du réservoir 10 (plus précisément, la résistance y est généralement immergée) ;
- Une partie inférieure P1 au niveau de laquelle se situe l'entrée d'eau E ; et
- Une partie supérieure P3 au niveau de laquelle se situe la sortie d'eau S.

[0046] Chacune de ces parties P1, P2 et P3 est associée à une température respective T1, T2 et T3 et un volume respectif V1, V2 et V3.

[0047] On comprendra bien qu'il s'agit d'un modèle de stratification en couche de l'eau du réservoir, les trois parties définissant des volumes virtuels.

[0048] En pratique, dans la réalité d'une part aucune des trois parties ne présente une température complètement homogène et d'autre part les trois parties ne sont pas étanches et se mélangent, mais comme on va le montrer ce modèle de ballon stratifié reproduit de façon très réaliste le comportement thermodynamique de l'eau et permet d'obtenir de façon simple et rapide une estimation excellente des grandeurs thermiques susmentionnées.

[0049] On va à présent supposer que la circulation d'eau dans le réservoir 10 se réalise selon un écoulement « piston » évitant tout brassage. Ainsi les volumes V1, V2 et V3 peuvent changer l'un par rapport à l'autre, ce qui pour effet de « déplacer » les couches. On comprendra qu'il s'agit à nouveau d'une modélisation qui s'avère simuler efficacement la réalité. En d'autres termes, ces valeurs permettent d'obtenir une valeur de la grandeur physique recherchée qui est en pratique très proche de la réalité.

Moyens de traitement

[0050] Le présent procédé est mis en oeuvre par des moyens de traitement de données 30 qui peuvent prendre des formes diverses. Il importe seulement que ces moyens 30 soient d'une part connectés au capteur de débit 21, 22, et d'autre part adaptés pour recevoir des données représentatives d'une consommation électrique du dispositif de chauffage 11. On comprendra que ces dernières peuvent être les données représentatives d'une consommation électrique de tout le chauffe-eau, il suffit que des données permettent de recalculer l'énergie effectivement transmise à l'eau du réservoir 10 lors de la chauffe.

[0051] Dans un premier mode de réalisation conforme à la figure 1a, les moyens de traitement 30 sont ceux d'un module dédié connecté au module de contrôle 12 et à un élément 23 de mesure de la consommation électrique du chauffe-eau. Il s'agit par exemple d'un tore d'intensité disposé autour du câble d'alimentation du système 1, et de façon préférée le dispositif décrit dans la demande FR1550869. On note que le module 30 peut être connecté (via des moyens de connexion réseau tels que le Wi-Fi, une liaison Ethernet, le CPL, etc.) à un boîtier 31 qui est un équipement d'accès à internet 3 de type « box » d'un fournisseur d'accès à Internet pour la fourniture de données générales utiles à la mise en oeuvre du présent procédé qui seront décrit plus loin. Il s'agit typiquement d'un mode de réalisation dans lequel on vient équiper un chauffe-eau existant.

[0052] Dans un second mode de réalisation, ces moyens 30 sont intégrés au module de contrôle 12 du

chauffe-eau. Dans ce mode, comme le dispositif 11 est alimenté en courant via le module 12, sa consommation est automatiquement disponible. En référence à la figure 1b, qui représente un tel cas, il s'agit typiquement d'un chauffe-eau neuf prévu dès l'origine pour mettre en oeuvre le présent procédé. Comme l'on voit un tel chauffe-eau peut ne pas comprendre de sonde de température 20.

[0053] Dans un troisième mode de réalisation (représenté par la figure 1c), les moyens 30 sont ceux d'un boîtier dédié connecté tel qu'un compteur électrique intelligent 32 (par exemple LINKY) via lequel le moyen de chauffage du dispositif 11 est alimenté, et disposant d'un émetteur Télé-Information Client (TIC) intégré ou non. Un tel compteur 32 dispose directement des informations de consommation du dispositif de chauffage 11.

[0054] Dans un quatrième mode de réalisation représenté par la figure 1d, les moyens 30 sont ceux du boîtier 31 pour l'accès à internet de type « box » d'un fournisseur d'accès à Internet. Dans l'exemple représenté, le boîtier 31 reçoit du module de contrôle 12 les données de consommation.

[0055] Dans un cinquième mode de de réalisation représenté par la figure 1e, les moyens 30 sont ceux d'un serveur du réseau internet 3. En d'autres termes les données (de consommation ou de débit) sont émises (par exemple par le boîtier 31 s'il est configuré pour les centraliser) dans une requête d'obtention de la grandeur thermique.

[0056] On comprendra que les cinq modes représentés par les figures 1a-1e constituent cinq exemples non limitatifs et combinables. Par exemple, n'importe lequel de ces exemples peut utiliser un dispositif 23 pour la mesure de la consommation du système 1.

Régime de fonctionnement

[0057] Le présent procédé commence par une étape (a) de détermination d'un régime de fonctionnement du système 1. Par régime de fonctionnement, on entend un comportement du réservoir d'eau lié à l'utilisation ou non de l'eau chaude. Ce régime est choisi parmi trois régimes :

- un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir 10, en d'autres termes un régime dans lequel on prélève de l'eau dans le réservoir 10 via la sortie S (et on en remet autant via l'entrée E), et ce que le moyen de chauffe électrique soit allumé ou non ;
- un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir 10 sans soutirage, c'est-à-dire un régime dans lequel il n'y a pas de soutirage d'eau (on est donc hors du premier régime) mais le moyen de chauffe électrique est allumé ; et
- un troisième régime sans soutirage et sans chauffe, i.e. le cas le plus courant où rien ne se passe dans le réservoir 10 hormis des transferts thermiques naturels.

[0058] On note que le premier régime peut comporter deux sous-régimes, selon que le moyen de chauffe électrique est allumé ou non.

[0059] La détermination du régime se fait en fonction des données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif 11, et de mesures de débit d'eau soutirée (via le capteur 21, 22). On particulier, si le débit est non nul on est en premier régime. Si le débit est nul on regarde alors la consommation. Si celle-ci est nulle (ou très faible, i.e. que seuls des équipements de contrôle du chauffe-eau tels que le module 12 sont allumés), alors on est dans le troisième régime, sinon on est dans le deuxième régime.

[0060] Cette étape (a) se met avantageusement en oeuvre à intervalles réguliers, l'idée étant de déterminer les intervalles temporels de chacun des régimes, l'idée étant de considérer le fonctionnement du système 1 par fragments, ou « intervalles élémentaires », dans lesquels un seul régime est mis en oeuvre.

[0061] Il est en outre possible de prévoir que de base les moyens de traitement considèrent que l'on est dans le troisième régime, et qu'on met en oeuvre une détermination du régime lorsqu'est reçu un signal représentatif d'une consommation et/ou un débit non nul.

Calcul récursif

[0062] Le présent procédé propose un schéma récursif de calcul. Ainsi, à partir de valeurs initiales des températures T_{1i} , T_{2i} et T_{3i} et des volumes V_{1i} , V_{2i} et V_{3i} , l'étape (b) va consister à déterminer au moins le volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2 (ou alternativement le volume final V_{3f} de la partie supérieure P3), la température finale T_{3f} de la partie supérieure P3, la température finale T_{2f} de la partie intermédiaire P2 et la température finale T_{1f} de la partie inférieure P1, selon le régime déterminé (et les données de consommation et/ou de débit). Chacun de ces régimes correspond en effet à une évolution selon une dynamique donnée.

[0063] L'étape (c) voit alors la détermination, à partir de volumes initiaux V_{1i} , V_{3i} des parties inférieure et supérieure P1, P3 et dudit volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2, de volumes finaux V_{1f} , V_{3f} des parties inférieure et supérieure P1, P3, de sorte à disposer de chacun des volumes et températures finaux T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f} des parties P1, P2, P3. Comme l'on verra, les calculs de volumes de l'étape (c) sont extrêmement simples.

[0064] A noter que si l'étape (b) comprend la détermination du volume final V_{3f} de la partie supérieure P3 (au lieu volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2), alors l'étape (c) consiste en la détermination, à partir de volumes initiaux V_{1i} , V_{2i} des parties inférieure et intermédiaire P1, P2 et dudit volume final V_{3f} de la partie supérieure P3, de volumes finaux V_{1f} , V_{2f} des parties inférieure et intermédiaires P1, P2. Seule la première sera décrite, mais les deux solutions sont rigoureusement équivalentes car V_2 et V_3 sont directement liés, et l'homme du

métier saura aussi bien mettre en oeuvre l'une que l'autre.

[0065] En pratique la connaissance de T_{2f} , T_{1f} , V_{2f} assure la connaissance de T_{3f} , V_{1f} , V_{3f} (et similairement la connaissance de T_{3f} , T_{1f} , V_{3f} assure la connaissance de T_{2f} , V_{1f} , V_{2f}). En effet, le modèle stratifié détaillé ci-avant propose préférentiellement de considérer la partie inférieure P1 comme un volume « mort », et ainsi prendre le volume V_1 de cette partie inférieure P1 d'une valeur constante prédéterminée, par exemple un sixième du volume total du réservoir 10 (soit environ 15L pour un réservoir de 90L). En d'autres termes, $V_{1i} = V_{1f}$. A partir de là, le volume V_3 de la partie supérieure P3 est donné par la formule $V_3 = V - V_2 - V_1$, où V est le volume total du réservoir (respectivement, le volume V_2 de la partie intermédiaire P2 est donné par la formule $V_2 = V - V_1 - V_3$).

[0066] Avantagusement, le procédé comprend la répétition des étapes (a) à (c) de sorte que les températures et volumes finaux T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f} des parties P1, P2, P3 sont utilisés comme températures et volumes initiaux T_{1i} , T_{2i} , T_{3i} , V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} des parties P1, P2, P3 à l'itération suivante, et ainsi de suite.

[0067] Dans le deuxième et le troisième régime, aucun soutirage n'est appliqué au ballon. On considère donc que les volumes V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} des parties P1, P2, P3 sont constants et donc :

- $V_{2f} = V_{2i}$,
- $V_{1f} = V_{1i} = V_1$,
- $V_{3f} = V_{3i}$

[0068] Dans le premier régime, un soutirage est effectué en partie supérieure du réservoir d'eau. Sur l'intervalle élémentaire considéré, en intégrant les mesures de débit les moyens de traitement 30 déterminent le volume v d'eau soutirée, et on obtient :

- $V_{2f} = V_{2i} + v$,
- $V_{1f} = V_{1i} = V_1$,
- $V_{3f} = V_{3i} - v = V - V_{2f} - V_1$.

[0069] En ce qui concerne les températures T_1 , T_2 et T_3 , les moyens 30 calculent leurs évolutions en fonction de l'injection du volume v d'eau froide à une température T_e , des pertes statiques (échange avec le milieu ambiant à une température T_a , éventuellement fonction de données géométriques telles que la section et la hauteur du réservoir) et de l'injection de puissance via les moyens de chauffe.

[0070] La température d'eau froide T_e et la température ambiante T_a (celle du local chauffé ou non dans lequel est installé le réservoir) peuvent être mesurées, estimées à partir de données météo (historiques ou temps réel), prédéfinies (issues de simulations numériques préalables) ou fixées. Elles peuvent être reçues via le réseau internet 3.

[0071] Dans le troisième régime, le profil de tempéra-

ture évolue selon les pertes thermiques qui s'appliquent naturellement au réservoir.

[0072] Dans le second régime, on considère le cas où aucun soutirage n'est effectué mais le réservoir est chauffé via le moyen situé dans la partie intermédiaire P2. On modélise l'injection de la puissance thermique correspondant à la consommation électrique du dispositif 11 et son rendement, et le transfert entre parties P2 et P3 si mélange.

[0073] Dans le premier régime, un soutirage est appliqué au réservoir 10, auquel s'ajoute éventuellement une chauffe. Le volume v d'eau froide à la température T_e est ajouté à la partie intermédiaire P2.

[0074] Ces modèles physiques permettent aux moyens 30 de déterminer les valeurs finales T_{2f} , T_{3f} des températures ($T_{1f} = T_{1i} = T_e$ dans ce régime).

[0075] Le réservoir 10 peut présenter au moins une sonde de température 20 configurée pour émettre un signal représentatif de la température d'une partie P1, P2, P3 de l'eau du réservoir 10 (cas typique d'un chauffe-eau modifié). L'étape (b) comprend alors préférentiellement un contrôle des températures finales T_{2f} , T_{3f} des parties P2, P3 en fonction dudit signal émis par la sonde 20. Plus particulièrement, les moyens 30 vérifient la conformité des températures T_{2f} , T_{3f} déterminées vis-à-vis de la ou les températures mesurées. S'il y a trop d'écart (il est normal qu'il y ait un écart car le modèle par couches est théorique), les valeurs déterminées T_{2f} , T_{3f} sont modifiées et le modèle est adapté. De façon particulièrement préférée, les moyens 30 mettent en oeuvre un apprentissage à partir desdites mesures de températures de sorte à améliorer la qualité du modèle.

[0076] Par ailleurs, on note qu'au cours du temps, V_2 est uniquement croissant et V_3 est uniquement décroissant. En outre, P2 et P3 sont par définition des parties respectivement « froide » et « chaude » dont les températures convergent inexorablement : la température T_2 de P2 augmente grâce à la puissance injectée, et la température T_3 de P3 diminue avec les pertes statiques.

[0077] Ainsi, l'étape (b) comprend avantagusement la « fusion » des parties inférieure et supérieure P2, P3 lorsque leur différentiel de température (i.e. l'écart entre T_{2f} et T_{3f} après leur calcul) est inférieur à un seuil prédéfini, par exemple 5°K. Cela impacte également l'étape (c).

[0078] Plus précisément, les deux parties P2, P3 se mélangent pour former un seul volume de température homogène. En d'autres termes, P2 se « vide » dans P3, et V_2 et V_3 peuvent à nouveau respectivement décroître et croître. On obtient ainsi des valeurs « corrigées » T_{1f}' , T_{2f}' , T_{3f}' , V_{1f}' , V_{2f}' , V_{3f}' des températures et volumes finaux des parties P1, P2, P3.

[0079] On obtient ainsi :

- $V_{2f}' = 0$,
- $V_{1f}' = V_{1f} = V_1$,
- $V_{3f}' = V_{3f} + V_{2f} = V - V_1$.
- $T_{2f}' = T_e$ (cela étant virtuel puisque le volume asso-

cié est nul, mais cela correspond à la température du volume v qui viendra rempli la partie inférieure P2 au prochain soutirage),

- $T3_f' = (T3_f * V3_f + T2_f * V2_f) / (V3_f + V2_f) = (T3_f * V3_f + T2_f * V2_f) / (V - V1)$ (en d'autres termes la température moyenne des parties P2, P3 fusionnées).

[0080] En cas de chauffe et tant que $V2=0$, l'apport thermique fait augmenter la température $T3$ du volume supérieur $V3$.

[0081] On note que cette fusion se met également en oeuvre si $V3$ atteint 0, en d'autres termes si l'utilisateur a « vidé » toute l'eau chaude avant que la remontée en température soit effective. La fusion correspond alors à un remplacement de P3 par P2.

[0082] Comme expliqué avant, on comprendra que toute « fusion » de parties P2, P3 est purement théorique et ne correspond à aucun phénomène physique réel ayant alors lieu dans le réservoir 10 (en particulier, il n'y a pas de transfert d'eau massif de la partie inférieure P2 vers la partie supérieure P3), mais qu'elle simule efficacement la réalité et permet de fournir des valeurs de températures et de volumes à partir desquelles la grandeur thermique recherché pourra être calculée de façon réaliste.

Calcul de la grandeur thermique et utilisation

[0083] Dans une étape (d) (qui a lieu soit à chaque cycle, soit sur demande de l'utilisateur ou d'une application intéressée par cette grandeur physique), les moyens 30 estiment ladite grandeur thermique du réservoir d'eau 10 en fonction des températures et volumes finaux $T1_f$, $T2_f$, $T3_f$, $V1_f$, $V2_f$, $V3_f$ des parties P1, P2, P3 du réservoir 10.

[0084] Par exemple, si la grandeur thermique est l'énergie totale, celle-ci est proportionnelle à $T3_f * V3_f + T2_f * V2_f + T1_f * V1_f$

[0085] L'homme du métier saura calculer la valeur de la grandeur thermique de son choix à partir du profil de température obtenu.

[0086] La valeur estimée peut être juste transmise à l'utilisateur (par exemple affichée sur des moyens d'interface) ou stockée (par exemple envoyée via le réseau 3 pour statistiques), mais également exploitée dans le fonctionnement du chauffe-eau.

[0087] En particulier, le comprend avantageusement une étape (e) de contrôle dudit dispositif de chauffage 11 par le module de contrôle 12 en fonction de ladite grandeur thermique déterminée. Ce peut être un contrôle simple visant à obtenir une température de confort, en particulier dans un chauffe-eau du type de celui de la figure 1 b. La grandeur thermique peut en effet remplacer toute mesure de température tout en permettant un contrôle précis.

[0088] De façon préférée, l'étape (e) comprend la réception de données descriptives d'un état du réseau électrique 2 par le module de traitement de données 30,

la détermination d'une consigne en fonction de ladite grandeur thermique déterminée et des données descriptives d'un état du réseau électrique 2, et l'émission de ladite consigne à destination du module de contrôle 12 de sorte à modifier une capacité énergétique du réservoir d'eau 10. L'idée est d'altérer la régulation normale de la température du réservoir 10 et de provoquer des surchauffes/sous-chauffes. Ceci est particulièrement facile à gérer si la grandeur thermique estimée est une quantité d'énergie stockée par le réservoir 10 ou une grandeur qui en découle, par exemple la capacité énergétique restante du réservoir 10, i.e. la quantité d'énergie encore stockable.

[0089] Le présent procédé propose ainsi d'utiliser les chauffe-eau installés pour gérer la production électrique d'origine renouvelable, et ce facilement et efficacement : l'émission de consignes adaptées permet en effet d'augmenter ou de diminuer sur commande la consommation de ces chauffe-eau et de jouer sur l'énergie stockée en tant qu'eau chaude. La capacité énergétique devient modulable. Plusieurs TWh sont ainsi disponibles à l'échelle du territoire français par exemple.

[0090] Ceci permet par exemple de privilégier la consommation électrique tant que le photovoltaïque est largement disponible, et de limiter la consommation électrique ou se rabattre sur d'autres énergie (par exemple via des moyens de chauffage alternatifs tels des brûleurs si le dispositif 11 en comprend).

[0091] L'obtention de la consigne est réalisée en fonction de données descriptives d'un état dudit réseau électrique 2. Ces données désignent de façon générale toutes les informations sur la charge du réseau 2, le taux d'énergie d'origine renouvelable, les prévisions de variation de ce taux, de la production/consommation en général, etc.

[0092] Ces données peuvent être des données génériques obtenues localement, par exemple d'origine météorologique, qui peuvent indiquer dans quelle mesure les moyens de production d'énergie renouvelable vont être productifs, mais de façon préférée il s'agit de données plus complexes fournies depuis le réseau internet 3 via le boîtier 31, en particulier en temps réel.

[0093] Dans un mode de réalisation comprenant un compteur électrique intelligent 32 (par exemple LINKY) disposant d'un émetteur Télé-Information Client (TIC) intégré ou non, les données utilisés peuvent notamment être les champs de la TIC tels que par exemple: l'état binaire d'un ou plusieurs contact(s) virtuel(s), l'index tarifaire de la grille fournisseur et/ou distributeur en cours, le prix de l'électricité, le préavis de pointe mobile et/ou une ou plusieurs pointe(s) mobile(s), etc.

[0094] Selon un mode de réalisation préféré, les moyens 30 déterminent une consigne de puissance (c'est-à-dire une valeur cible de puissance effective) en fonction des données descriptives de l'état du réseau 2. Le module de contrôle 12 régule alors le dispositif 11 de chauffage en puissance.

[0095] Un premier et/ou un deuxième type de fonction-

nement peuvent être mis en oeuvre.

[0096] Le premier est le mode « suralimentation » (en d'autres termes « marche forcée ») utilisé pour augmenter la consommation du chauffe-eau et donc la quantité d'énergie stockée. Dans ce mode, les moyens 30 sont configuré pour émettre une consigne d'augmentation de puissance (en d'autres termes une consigne de puissance augmentant la consommation des moyens de chauffage du dispositif 11) lorsque les données descriptives d'un état dudit réseau électrique 2 sont caractéristiques d'une surabondance actuelle et/ou d'un déficit futur d'énergie d'origine renouvelable au sein dudit réseau électrique 2 (en d'autres termes si la production d'origine renouvelable est à la baisse à court terme), de sorte à augmenter la capacité énergétique du réservoir d'eau 10.

[0097] Ce mode suralimentation est intéressant soit pour absorber une forte production de photovoltaïque, soit pour prévenir une faible production. Grâce à la suralimentation, l'effet du dispositif 10 est amplifié. Cela augmente donc la consommation immédiate, mais retarde la consommation à venir (puisque plus d'énergie est stockée, le prochain franchissement du premier seuil de température est retardé).

[0098] La valeur de la consigne de puissance peut être telle à consommer au maximum le surplus d'énergie d'origine renouvelable sans toucher à l'énergie d'origine non renouvelable. La valeur peut également être une valeur fixe, ou la valeur actuelle de consommation plus un écart prédéterminé (par exemple +500W).

[0099] Il est à noter que ce mode suralimentation peut être complété de certaines options : si les données déclenchant la suralimentation sont fournies par un compteur équipé d'un module TIC, ce dernier peut augmenter temporairement et simultanément à l'enclenchement du chauffe-eau la valeur de la puissance de coupure pour éviter tout risque de disjonction en absence de délesteur ou de gestionnaire d'énergie. De plus, si le système de chauffage de l'eau est asservi au signal tarifaire via un contact sec ou virtuel, ce dernier devra être piloté de manière à permettre l'alimentation électrique de ce système en dehors des plages normales autorisées si nécessaire. En outre, si les points de soutirage d'eau chaude sanitaire (douche, robinets, etc.) en aval ne sont pas tous équipés de mitigeur, l'ajout d'une vanne de mélange en sortie du réservoir 10 permet d'éviter les risques de brûlure dus à la fourniture d'eau plus chaude.

[0100] Le deuxième mode est le mode « sous-alimentation » (en d'autres termes « marche réduite ») utilisé pour diminuer la consommation du chauffe-eau et donc la quantité d'énergie stockée. Dans ce mode, les moyens 30 sont configurés pour émettre une consigne de diminution de puissance (en d'autres termes une consigne de puissance diminuant la consommation du moyen de chauffage du dispositif 11), lorsque les données descriptives d'un état dudit réseau électrique 2 sont caractéristiques d'un déficit actuel et/ou d'une surabondance future d'énergie d'origine renouvelable au sein dudit réseau électrique 2 (en d'autres termes si la produc-

tion d'origine renouvelable est à la hausse à court terme), de sorte à diminuer la capacité énergétique du réservoir d'eau 10.

[0101] Cela peut être très utile en prévision d'un pic de production d'énergie d'origine renouvelable ou lors d'un pic de consommation. On évite ainsi de consommer de l'énergie fossile alors que l'on sait que l'énergie renouvelable sera bientôt trop abondante. Cette baisse volontaire de consommation est appelée effacement.

[0102] La consigne de baisse de puissance peut être calculée de sorte à minimiser une consommation d'énergie d'origine non-renouvelable. L'idée est de ne pas (ou le moins possible) soutirer d'énergie d'origine non-renouvelable au réseau 2. Ce peut être également une valeur fixe, ou la valeur actuelle de consommation moins un écart prédéterminé (par exemple -500W).

[0103] Il est à noter que les deux modes (marche réduite et marche forcée) peuvent cohabiter et être mis en oeuvre à tour de rôle. Dans l'un comme dans l'autre, l'application de la consigne de puissance peut être précédée et/ou suivie d'une rampe pour éviter un effet rebond, en d'autres termes on augmente/diminue progressivement la consigne de puissance (par exemple linéairement sur un intervalle de 30 minutes), au lieu de basculer immédiatement.

[0104] Par ailleurs, l'activation de l'un ou l'autre des modes, le choix d'une consigne de puissance fixe ou variable, les seuils de températures, etc., peuvent être contrôlés par l'utilisateur via une interface adaptée.

[0105] Il est également à noter que la régulation en puissance ne peut pas se faire au détriment du confort de l'utilisateur, et pour chacun des modes, le module de contrôle 12 peut être configuré pour ignorer la consigne de puissance lorsque la grandeur thermique estimée est représentative d'une potentielle dégradation du confort de l'utilisateur.

[0106] Il est à noter que le moyen 30 peut mettre en oeuvre un rôle d'élément de leurre tel que décrit dans la demande FR1363229.

Modification d'un chauffe-eau existant

[0107] Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un ensemble d'estimation d'une grandeur thermique adapté pour un réservoir d'eau 10 d'un chauffe-eau existant.

[0108] L'ensemble comprend :

- au moins un capteur de débit 21, 22 mesurant un débit d'eau soutirée au niveau de l'entrée d'eau E et/ou de la sortie d'eau S ;
- des moyens de traitement de données 30 connectés audit capteur de débit 21, 22 ;
- le cas échéant un élément 23 de mesure de la consommation électrique dudit moyen de chauffage du dispositif 11, également connecté aux moyens 30 (alternativement ils sont connectés au compteur électrique 32).

[0109] Comme expliqué, chacun de ces éléments peut d'adapter sur un chauffe-eau existant sans modifications substantielles, et en gardant la sonde de température. Dans le cas où l'on souhaite mettre en oeuvre l'étape (e), il suffit de connecter les moyens de traitement 30 au module de contrôle 12, par exemple via un câble Ethernet.

[0110] Les moyens de traitement de données 30 doivent être configurés pour mettre en oeuvre :

o un premier module de détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir 10, un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir 10 sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe, en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif 11, et de mesures de débit d'eau soutirée ;

o un deuxième module de détermination, à partir d'un volume initial V_{2i} de la partie intermédiaire P2 et de températures initiales T_{1i} , T_{2i} , T_{3i} des parties P1, P2, P3 du réservoir 10, d'un volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2 et de températures finales T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} des parties P1, P2, P3 du réservoir 10, en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif 11, et les mesures de débit d'eau soutirée ;

o Un troisième module de détermination, à partir de volumes initiaux V_{1i} , V_{3i} des parties inférieure et supérieure P1, P3 et dudit volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2, de volumes finaux V_{1f} , V_{3f} des parties inférieure et supérieure P1, P3 ;

o un quatrième module d'estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau 10 en fonction des températures et volumes finaux T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f} des parties P1, P2, P3 du réservoir 10.

[0111] On notera que les deuxièmes et troisièmes modules peuvent être configurés pour déterminer d'abord le volume final V_{3f} de la partie supérieure P3, puis le volume final V_{2f} de la partie intermédiaire P2, comme expliqué avant (en d'autres termes :

o le deuxième module est un module de détermination, à partir d'un volume initial V_{3i} de la partie supérieure P3 et de températures initiales (T_{1i} , T_{2i} , T_{3i}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir 10, d'un volume final V_{3f} de la partie supérieure P3 et de températures finales T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} des parties inférieure, intermédiaire et supérieure P1, P2, P3 du réservoir 10, en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif 11, et les mesures de débit d'eau soutirée ;

o et le troisième module est un module de détermination, à partir de volumes initiaux V_{1i} , V_{2i} des parties inférieure et intermédiaire P1, P2 et dudit volume final V_{3f} de la partie supérieure P3, de volumes finaux V_{1f} , V_{2f} des parties inférieure et intermédiaire P1, P2)

[0112] L'invention concerne également le système 1 de chauffe-eau « modifié », c'est-à-dire comprenant un réservoir d'eau 10, un dispositif 11 comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique 2, un module de contrôle 12 dudit dispositif 11, et un ensemble d'estimation d'une grandeur thermique selon le deuxième aspect de l'invention, adapté pour le réservoir 10.

[0113] L'invention concerne également le système 1 de chauffe-eau « neuf », c'est-à-dire comprenant un réservoir d'eau 10, un dispositif 11 comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique 2 et un module de contrôle 12 dudit dispositif 11, le module de contrôle 12 comprenant des moyens de traitement de données 30 configurés pour mettre en oeuvre le procédé d'estimation d'une grandeur thermique selon le premier aspect de l'invention.

Produit programme d'ordinateur

[0114] Selon d'autres aspects, l'invention concerne un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code pour l'exécution (sur des moyens de traitement de données 30) d'un procédé selon le premier aspect de l'invention d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau 10, ainsi que des moyens de stockage lisibles par un équipement informatique (par exemple une mémoire du module de contrôle 12 si c'est lui qui contient les moyens 30) sur lequel on trouve ce produit programme d'ordinateur.

Revendications

1. Procédé d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau (10), le réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- Une partie intermédiaire (P2) en échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10), le dispositif (11) comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique (2) ;
- Une partie inférieure (P1) présentant une entrée d'eau (E) ; et
- Une partie supérieure (P3) présentant une sortie d'eau (S) ;

L'entrée d'eau (E) et/ou la sortie d'eau (S) étant équipée d'un capteur de débit (21, 22) mesurant un débit d'eau soutirée ;

Le procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend la mise en oeuvre par des moyens de traitement de données (30) connectés audit capteur de débit (21, 22), d'étapes de :

- (a) Détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir (10), un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir (10) sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et de mesures de débit d'eau soutirée ;
 - (b) A partir d'un volume initial (V_{2i}) de la partie intermédiaire (P2) et de températures initiales (T_{1i} , T_{2i} , T_{3i}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), détermination d'un volume final (V_{2f}) de la partie intermédiaire (P2) et de températures finales (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et les mesures de débit d'eau soutirée ;
 - (c) A partir de volumes initiaux (V_{1i} , V_{3i}) des parties inférieure et supérieure (P1, P3) et dudit volume final (V_{2f}) de la partie intermédiaire (P2), détermination de volumes finaux (V_{1f} , V_{3f}) des parties inférieure et supérieure (P1, P3) ;
 - (d) Estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau (10) en fonction des températures et volumes finaux (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10).
2. Procédé d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau (10), le réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :
- Une partie intermédiaire (P2) en échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10), le dispositif (11) comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique (2) ;
 - Une partie inférieure (P1) présentant une entrée d'eau (E) ; et
 - Une partie supérieure (P3) présentant une sortie d'eau (S) ;

L'entrée d'eau (E) et/ou la sortie d'eau (S) étant équipée d'un capteur de débit (21, 22) mesurant un débit d'eau soutirée ;

Le procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend la mise en oeuvre par des moyens de traitement de

données (30) connectés audit capteur de débit (21, 22), d'étapes de :

- (a) Détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir (10), un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir (10) sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et de mesures de débit d'eau soutirée ;
 - (b) A partir d'un volume initial (V_{3i}) de la partie supérieure (P3) et de températures initiales (T_{1i} , T_{2i} , T_{3i}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), détermination d'un volume final (V_{3f}) de la partie supérieure (P3) et de températures finales (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et les mesures de débit d'eau soutirée ;
 - (c) A partir de volumes initiaux (V_{1i} , V_{2i}) des parties inférieure et intermédiaire (P1, P2) et dudit volume final (V_{3f}) de la partie supérieure (P3), détermination de volumes finaux (V_{1f} , V_{2f}) des parties inférieure et intermédiaires (P1, P2) ;
 - (d) Estimation de ladite grandeur thermique du réservoir d'eau (10) en fonction des températures et volumes finaux (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel ladite grandeur thermique est choisie parmi une température moyenne de l'eau du réservoir (10), une température minimale de l'eau du réservoir (10), une température maximale de l'eau du réservoir (10), une quantité d'énergie stockée dans le réservoir (10), une quantité d'énergie encore stockable dans le réservoir (10), un équivalent volume d'eau disponible à une température donnée, un temps de chauffe nécessaire, et des combinaisons de ces grandeurs.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant récursivement la répétition des étapes (a) à (c) de sorte que les températures et volumes finaux (T_{1f} , T_{2f} , T_{3f} , V_{1f} , V_{2f} , V_{3f}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) sont utilisés comme températures et volumes initiaux (T_{1i} , T_{2i} , T_{3i} , V_{1i} , V_{2i} , V_{3i}) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) à l'itération suivante.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans

lequel le volume (V1) de la partie inférieure (P1) présente une valeur constante prédéterminée.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le volume (V3) de la partie supérieure (P3) est lié volume (V2) de la partie intermédiaire (P2) par la formule $V3=V-V2-V1$, où V est le volume total du réservoir (10). 5
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape (b) comprend, si le régime de fonctionnement déterminé est le premier régime, la détermination d'un volume d'eau soutirée en fonction des débits mesurés, ledit volume d'eau soutirée étant ajouté au volume (V2) de la partie intermédiaire (P2) ou retiré au volume (V3) de la partie supérieure (P3), et présentant une température d'eau froide (Te) prédéterminée. 10 15
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le volume final (V2_f) de la partie intermédiaire (P2) est égal au volume initial (V2_i) ou le volume final (V3_f) de la partie supérieure (P3) est égal au volume initial (V3_i), si le régime de fonctionnement déterminé n'est pas le premier régime. 20 25
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'étape (b) comprend, si le régime de fonctionnement déterminé est le deuxième régime, la détermination d'un apport thermique en fonction de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), ledit apport thermique étant appliqué à la partie intermédiaire (P2). 30
10. Procédé selon l'une des revendications 8 et 9, dans lequel l'étape (b) comprend, si le régime de fonctionnement déterminé est le troisième régime, la détermination de pertes thermiques de chacune des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) en fonction d'une température ambiante (Ta) prédéterminée. 35 40
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel l'étape (b) comprend postérieurement la détermination d'un volume final corrigé (V2'_f, V3'_f) de la partie intermédiaire ou supérieure (P2, P3) et d'au moins une température finale corrigée (T3'_f) de la partie supérieure (P3) si l'écart entre les températures finales (T2_f, T3_f) des parties intermédiaire et supérieure (P2, P3) est inférieur à un seuil donné. 45 50
12. Ensemble d'estimation d'une grandeur thermique adapté pour un réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant : 55
 - Une partie intermédiaire (P2) en échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10), le dispositif (11) compre-

nant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique (2) ;

- Une partie inférieure (P1) présentant une entrée d'eau (E) ; et
- Une partie supérieure (P3) présentant une sortie d'eau (S) ;

L'ensemble étant **caractérisé en ce qu'il** comprend :

- Au moins un capteur de débit (21, 22) mesurant un débit d'eau soutirée au niveau de l'entrée d'eau (E) et/ou de la sortie d'eau (S) ;
- des moyens de traitement de données (30) connectés audit capteur de débit (21, 22), configurés pour mettre en oeuvre :

o un premier module de détermination d'un régime de fonctionnement parmi un premier régime de soutirage d'eau depuis le réservoir (10), un deuxième régime de chauffe de l'eau du réservoir (10) sans soutirage, et un troisième régime sans soutirage et sans chauffe, en fonction de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et de mesures de débit d'eau soutirée ;

o un deuxième module de détermination, à partir d'un volume initial (V2_i) de la partie intermédiaire (P2) et de températures initiales (T1_i, T2_i, T3_i) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), d'un volume final (V2_f) de la partie intermédiaire (P2) et de températures finales (T1_f, T2_f, T3_f) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10), en fonction d'au moins le régime de fonctionnement déterminé, les données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), et les mesures de débit d'eau soutirée ;

o Un troisième module de détermination, à partir de volumes initiaux (V1_i, V3_i) des parties inférieure et supérieure (P1, P3) et dudit volume final (V2_f) de la partie intermédiaire (P2), de volumes finaux (V1_f, V3_f) des parties inférieure et supérieure (P1, P3) ;

o un quatrième module d'estimation de la dite grandeur thermique du réservoir d'eau (10) en fonction des températures et volumes finaux (T1_f, T2_f, T3_f, V1_f, V2_f, V3_f) des parties inférieure, intermédiaire et supérieure (P1, P2, P3) du réservoir (10).

13. Système (1) de chauffe-eau comprenant un réservoir d'eau (10), un dispositif (11) comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électri-

que (2), un module de contrôle (12) dudit dispositif (11), et un ensemble d'estimation d'une grandeur thermique selon la revendication 12, adapté pour le réservoir (10).

5

14. Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code pour l'exécution d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 11 d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau (10), lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

10

15. Moyen de stockage lisible par un équipement informatique sur lequel un produit programme d'ordinateur comprend des instructions de code pour l'exécution d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 11 d'estimation d'une grandeur thermique d'un réservoir d'eau (10).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

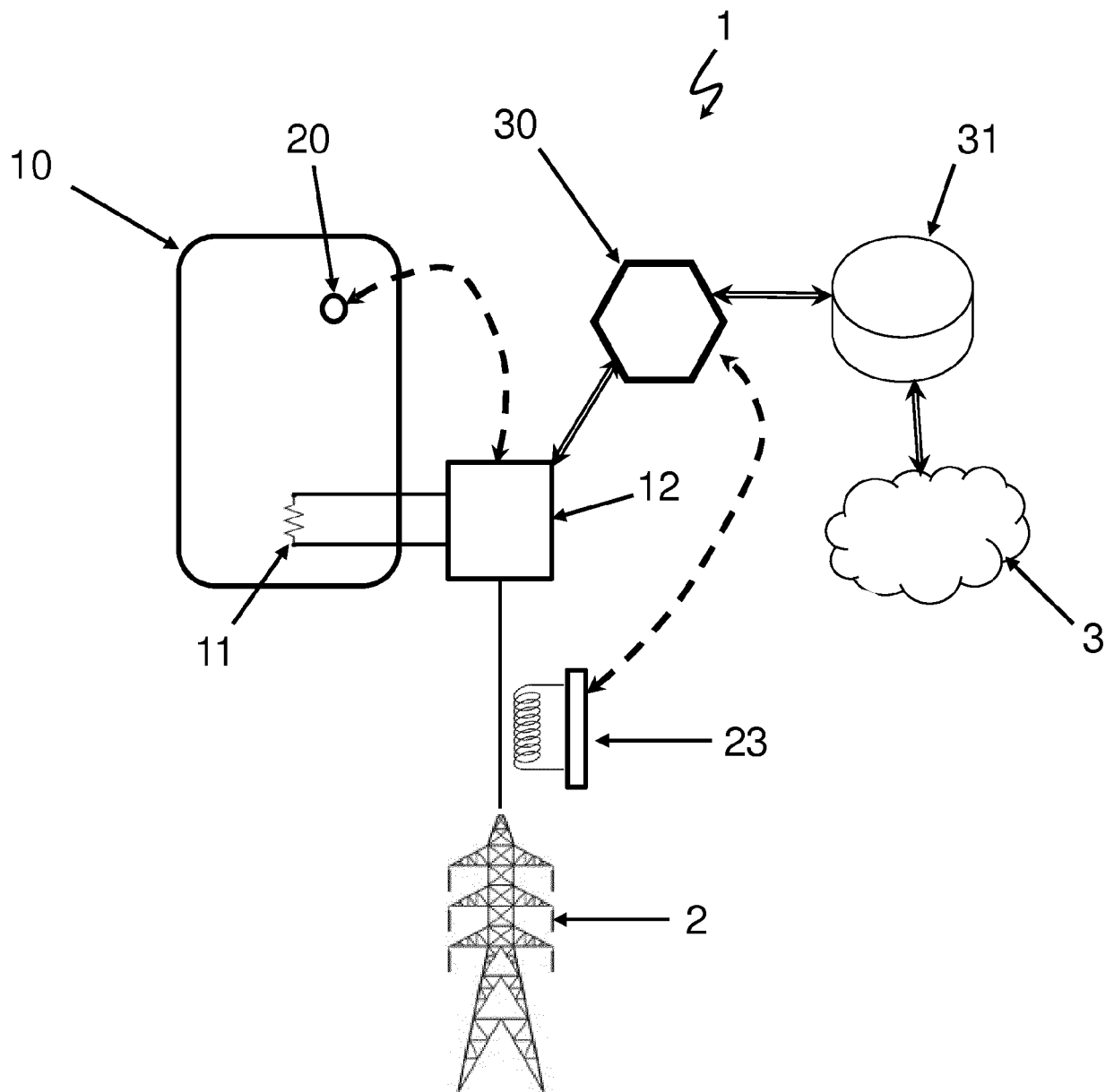


FIG. 1a

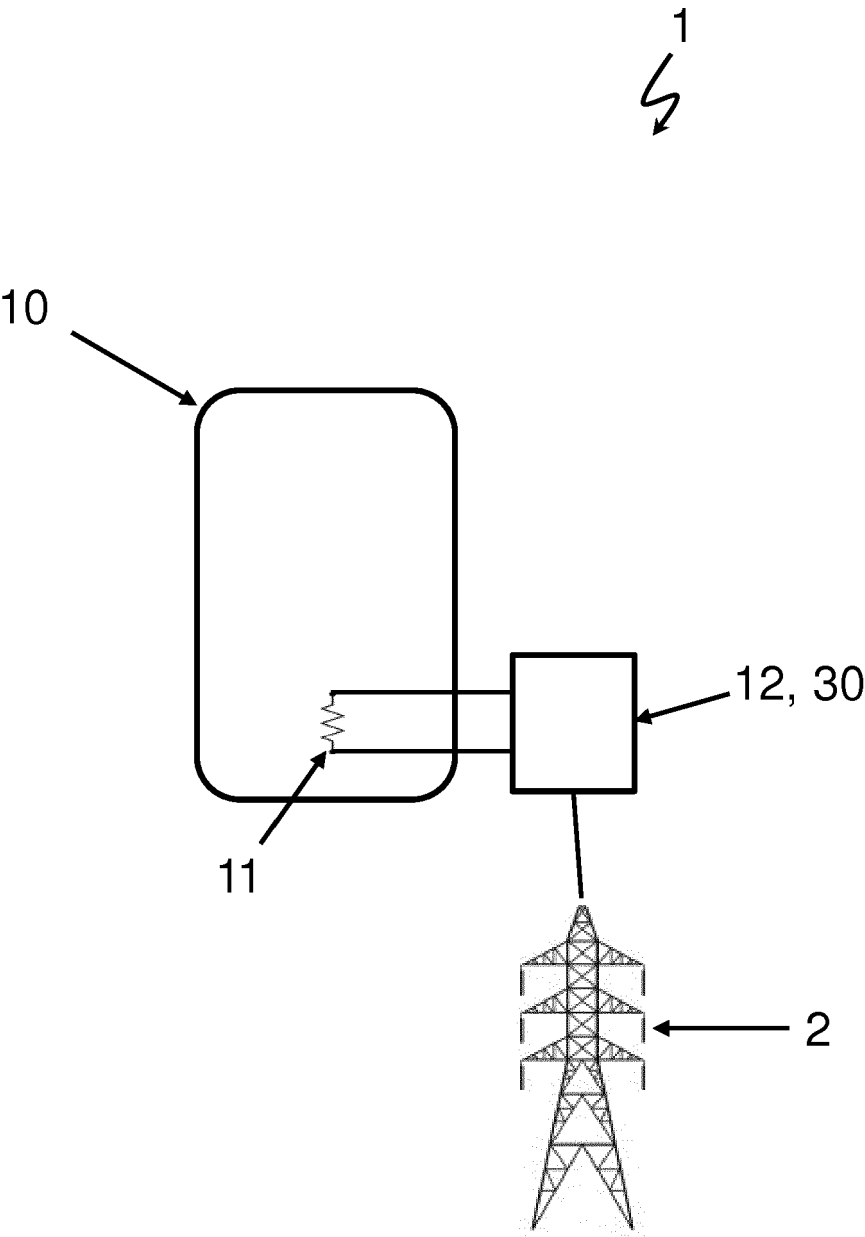


FIG. 1b

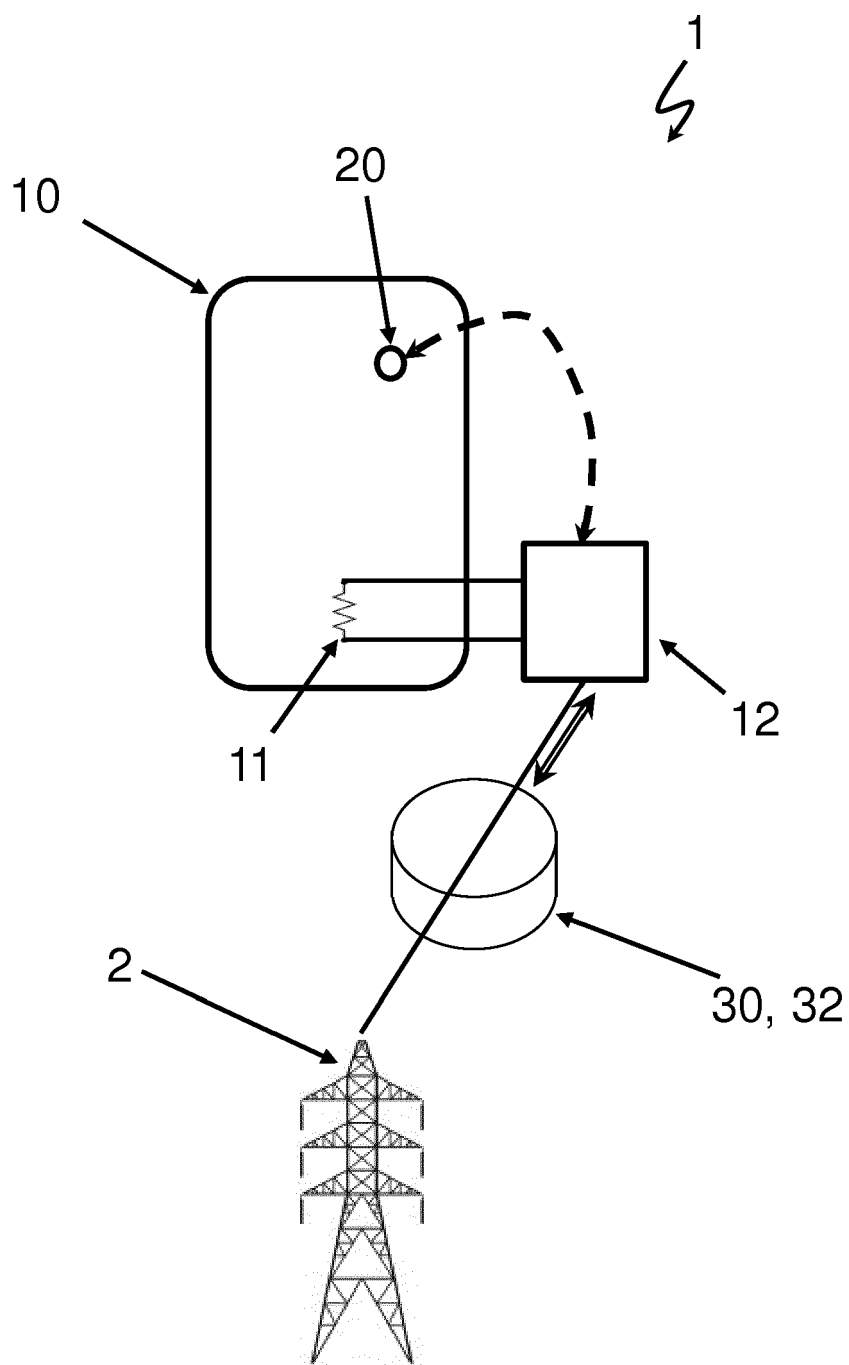


FIG. 1c

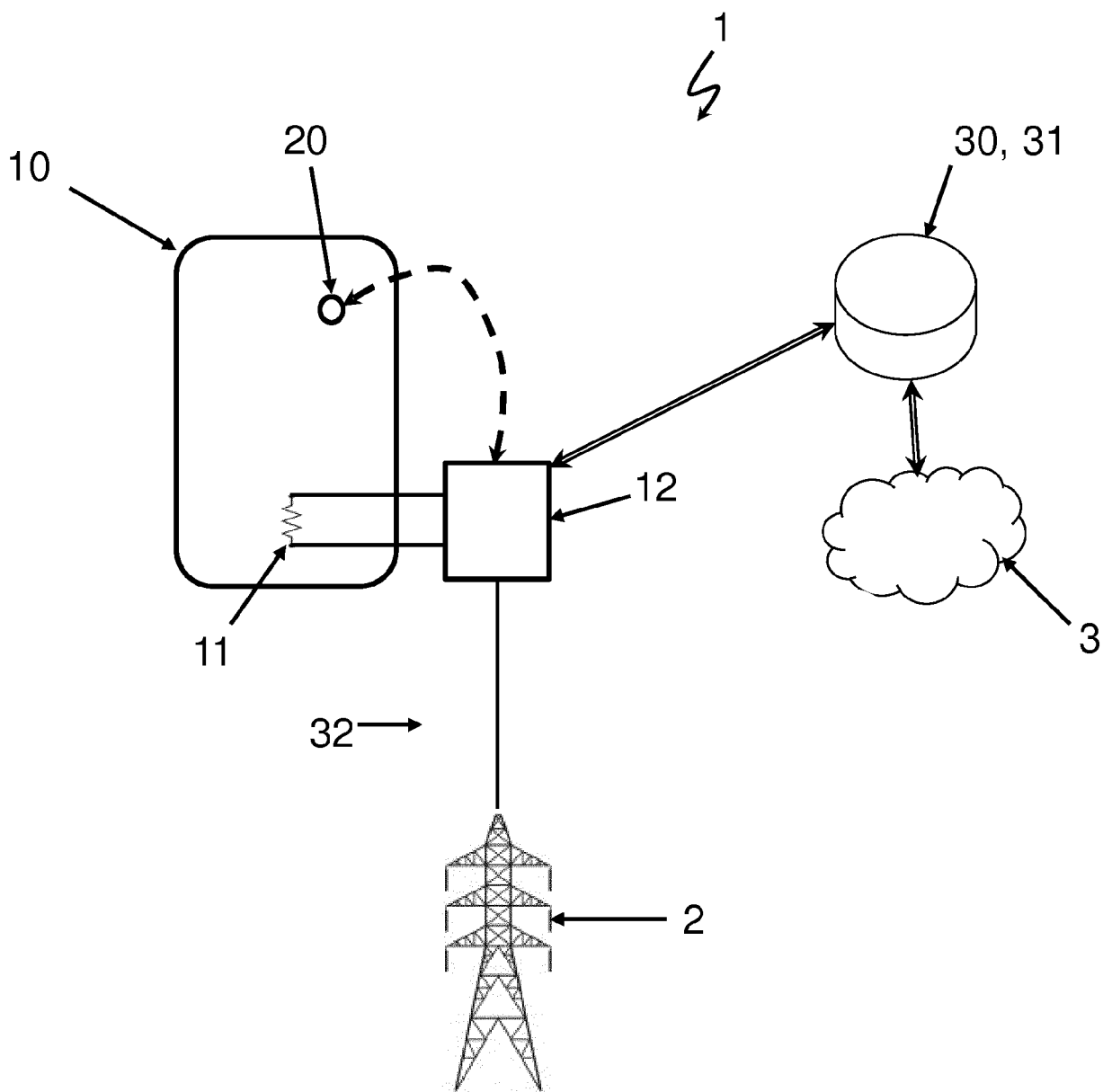


FIG. 1d

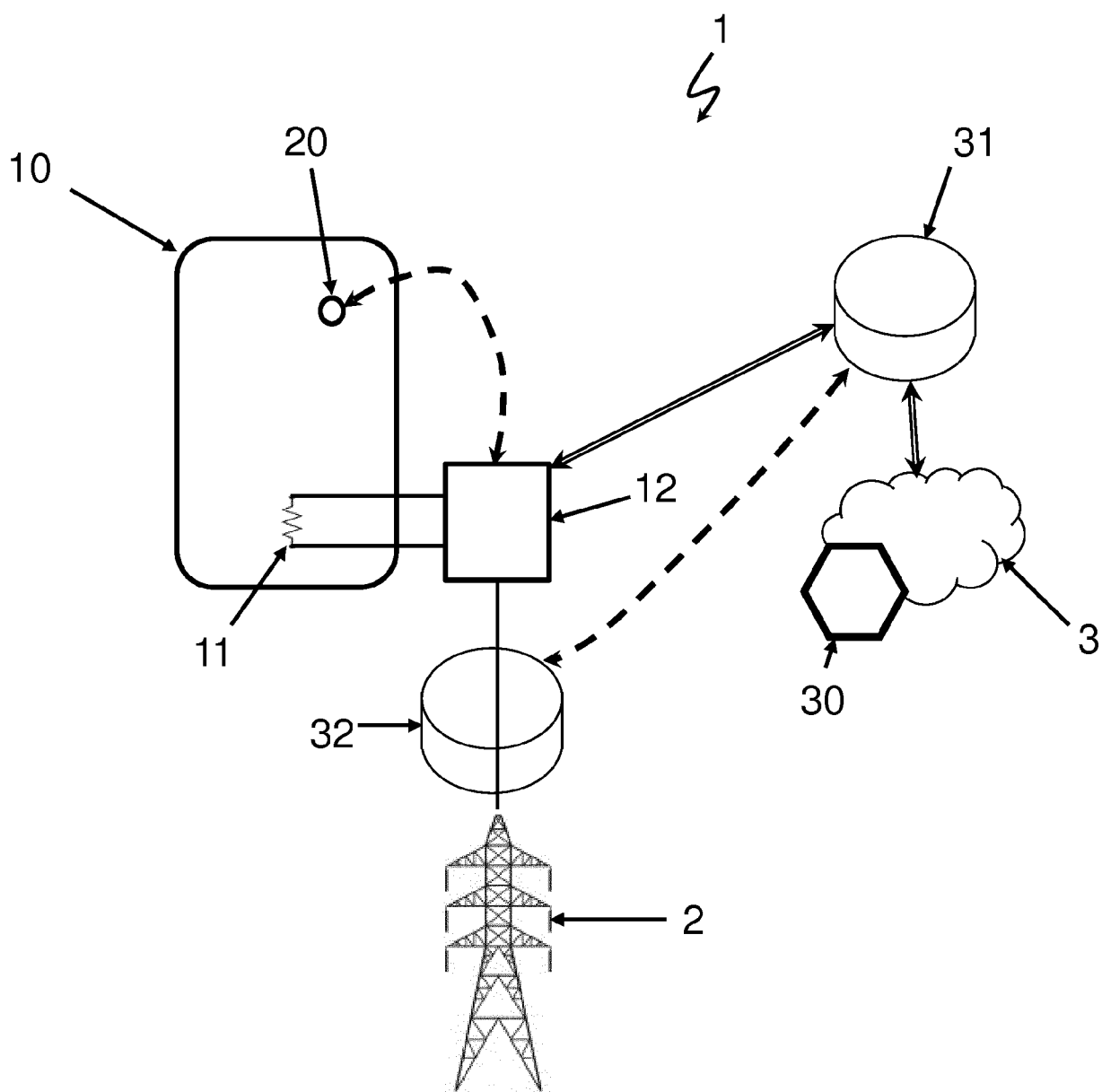


FIG. 1e

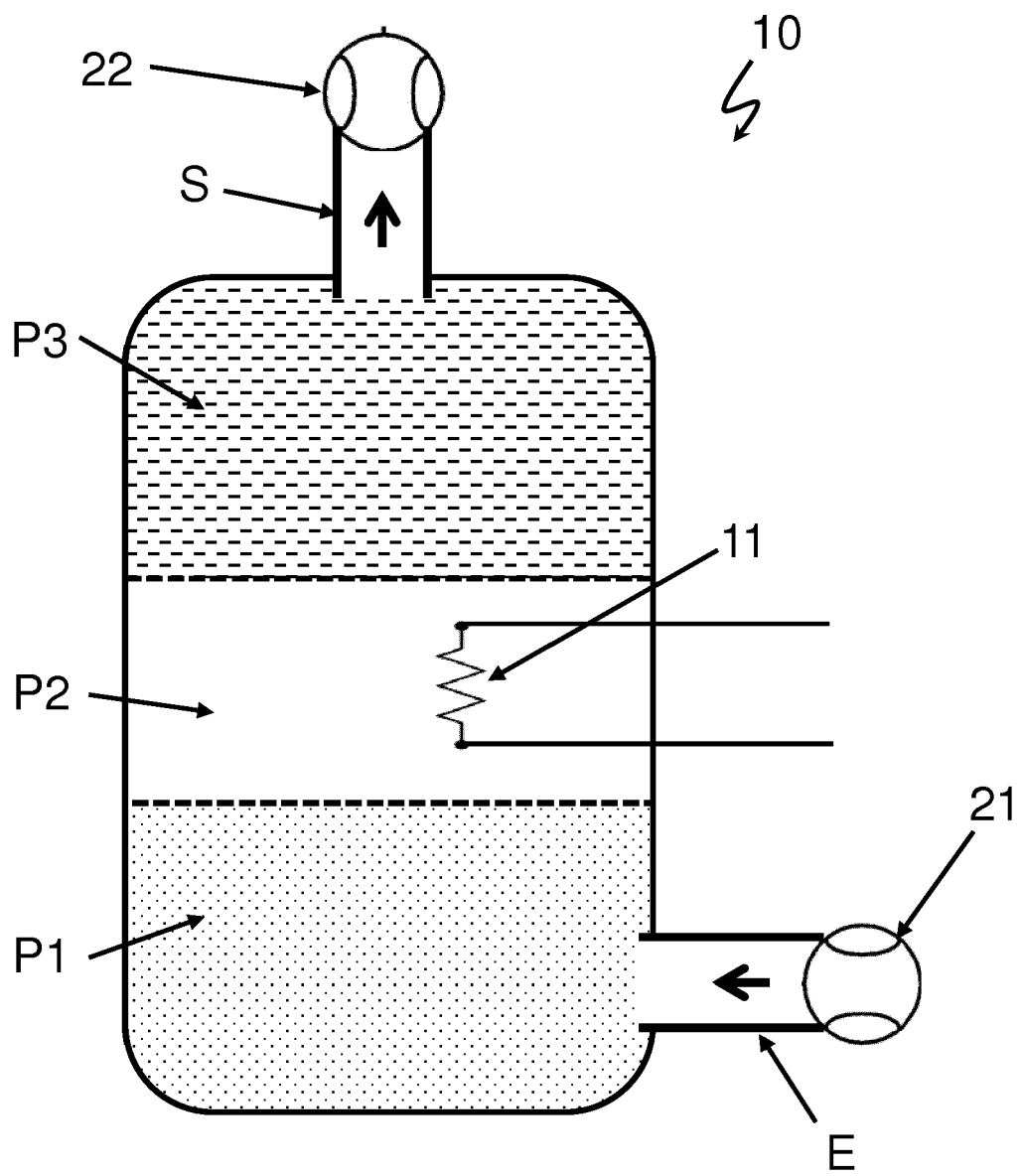


FIG. 2

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

- FR 1363229 [0008] [0106]
- FR 1363237 [0008]
- FR 1452022 [0008]
- FR 1453375 [0008]
- WO 2012164102 A [0012]
- FR 1550869 [0051]