

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 036 778

21 N° d'enregistrement national : 15 54898

51 Int Cl<sup>8</sup> : F 24 D 19/10 (2016.01), G 01 K 17/06, 13/00

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.05.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 02.12.16 Bulletin 16/48.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : ELECTRICITE DE FRANCE Société  
anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : BEEKER-ADDA NATHANAEL, MALI-  
SANI PAUL et COINCE ANNE-SOPHIE.

73 Titulaire(s) : ELECTRICITE DE FRANCE Société ano-  
nyme.

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 PROCÉDE D'ESTIMATION D'UN PROFIL DE TEMPÉRATURE D'UN RESERVOIR D'EAU D'UN CHAUFFE-EAU.

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

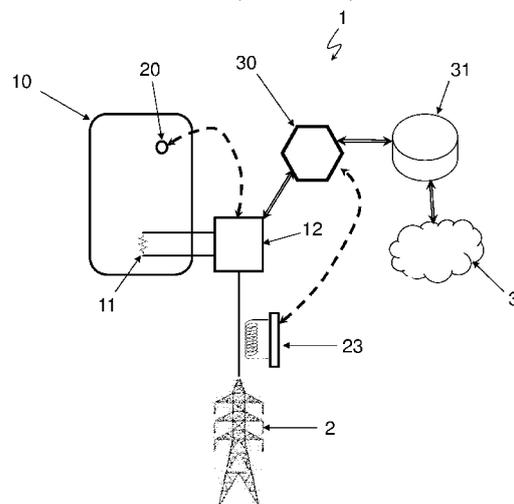
- un échange thermique avec un dispositif (11) de chauff-  
age de l'eau du réservoir (10) associé à une première hau-  
teur (h1) le long dudit axe vertical;
- une entrée d'eau (E) associée à une deuxième hauteur  
(h2) le long dudit axe vertical; et
- une sortie d'eau (S) associée à une troisième hauteur  
(h3) le long dudit axe vertical;

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) A partir d'un profil initial de température (T(h)i) du ré-  
servoir (10) selon ledit axe vertical, détermination d'un profil  
final de température (T(h)f), en fonction d'un système  
d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion  
dont les termes dépendent au moins de données représen-  
tatives de la consommation énergétique dudit moyen de  
chauffage du dispositif (11), de mesures de débit d'eau sou-

tirée, et des hauteurs (h1, h2, h3).



FR 3 036 778 - A1



## DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

La présente invention concerne un procédé d'estimation d'un profil  
5 de température dans un système de type chauffe-eau.

## ETAT DE L'ART

Le « mix énergétique » désigne la répartition des différentes  
10 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.

Ces dernières, représentées essentiellement par l'éolien et le  
15 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.

D'autre part, des problèmes locaux de qualité de fourniture  
20 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.

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

25 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  
30 fournie par les panneaux photovoltaïque pour ajuster la tension. Cependant,  
cette dernière piste ne répond pas aux enjeux de maîtrise de l'aléa éolien.

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.

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.

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.

Ces énergies peuvent s'estimer sous forme de capacité calorifique de l'eau ( $4185 J.kg^{-1}.K^{-1}$ ) 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.

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.

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 uniforme à la première consigne de température.

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.

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

10

## PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention propose de pallier ces inconvénients en proposant selon un premier aspect un procédé d'estimation d'un profil de température d'un réservoir d'eau, le réservoir d'eau s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- un échange thermique avec un dispositif de chauffage de l'eau du réservoir associé à une première hauteur le long dudit axe vertical, le dispositif comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique ;
- une entrée d'eau associée à une deuxième hauteur le long dudit axe vertical ; et
- une sortie d'eau associée à une troisième hauteur le long dudit axe vertical ;

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

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

- (a) A partir d'un profil initial de température du réservoir selon ledit axe vertical, détermination d'un profil final de température, en fonction d'un système d'équations aux dérivées partielles de convection-

diffusion dont les termes dépendent au moins de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, de mesures de débit d'eau soutirée, et des premières, deuxième et troisième hauteurs.

5

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

- ledit système d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion  
10 comprend une première équation modélisant le soutirage d'eau dans le réservoir à la troisième hauteur et les effets de mélanges associés, et une deuxième équation modélisant l'échauffement de l'eau par le moyen de chauffage du dispositif ;
- la première équation comprend un terme de pertes thermiques en  
15 fonction d'une température ambiante prédéterminée et un terme de convection linéaire, et la deuxième équation comprend un terme de convection non linéaire modélisant la convection naturelle induite par le moyen de chauffage du dispositif et un terme de redistribution de l'énergie de l'échauffement vers le profil de température ;
- 20 • le procédé comprend récursivement la répétition de l'étape (a) de sorte que le profil final de température selon ledit axe vertical est utilisé comme profil initial de température à l'itération suivante ;
- l'étape (a) comprend, si le débit d'eau soutiré depuis l'itération  
précédente est non nul, la détermination d'un volume d'eau soutirée en  
25 fonction des débits mesurés, la première équation comprenant un terme représentant l'ajout dudit volume d'eau soutirée au réservoir à la deuxième hauteur à une température d'eau froide prédéterminée ;
- l'étape (a) comprend, si la consommation énergétique dudit moyen de  
chauffage du dispositif depuis l'itération précédente est non nulle, la  
30 détermination d'un apport thermique en fonction de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, la deuxième équation

comprenant un terme représentant l'application dudit apport thermique au réservoir à la première hauteur ;

- 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 la vérification des températures finales des parties en fonction dudit signal émis par la sonde ;
- le procédé comprend une étape (b) d'estimation d'une grandeur thermique du réservoir d'eau en fonction du profil final de température du réservoir ;
- 10 • 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 ;
- 15 • le procédé comprend une étape (c) de contrôle dudit dispositif de chauffage par un module de contrôle en fonction de ladite grandeur thermique déterminée ;
- l'étape (c) 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 ;
- 20 • l'échange thermique avec le dispositif de chauffage de l'eau du réservoir est associé à un intervalle de hauteur le long dudit axe vertical.
- 25

Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un ensemble d'estimation d'un profil de température adapté pour un réservoir d'eau s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :

- un échange thermique avec un dispositif de chauffage de l'eau du réservoir associé à une première hauteur le long dudit axe

vertical, le dispositif comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique ;

- une entrée d'eau associée à une deuxième hauteur le long dudit axe vertical ; et
- 5       - une sortie d'eau associée à une troisième hauteur le long dudit axe vertical ;

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 ;
- 10       - des moyens de traitement de données connectés audit capteur de débit, configurés pour mettre en œuvre un module de détermination d'un profil final de température du réservoir selon ledit axe vertical à partir d'un profil initial de température, en fonction d'un système d'équations aux dérivées partielles de
- 15       convection-diffusion dont les termes dépendent au moins de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, de mesures de débit d'eau soutirée, et des premières, deuxième et troisième hauteurs.

20       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.

25

30       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'un profil de température selon le deuxième aspect de l'invention, adapté pour le réservoir.

Selon un quatrième et un cinquième aspects, 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'un profil de température, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur ; et un  
5 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'un profil de température.

## 10 PRESENTATION DES FIGURES

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 :  
15 - les figures 1a-1e sont des schémas de cinq modes de réalisation préférés d'un système pour la mise en œuvre 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.

## 20 DESCRIPTION DETAILLEE

### *Architecture générale*

La **figure 1a** représente l'architecture générale d'une possibilité de  
25 mode de réalisation d'un système 1 pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Ce système est typiquement un chauffe-eau, en particulier Chauffe-Eau Joule (CEJ) domestique, 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.

30 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 150L 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.

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.

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.

5 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  
10 d'origine non-renouvelable est d'une meilleure disponibilité.

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  
15 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).

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 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  
25 sont donc pas indispensables.

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,  
30 etc.).

De façon générale un chauffe-eau Joule comprend 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  
5 température de « confort » qui est la température moyenne souhaitée, réglée par l'utilisateur (l'intervalle 50-65°C est courant).

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  
10 chauffage 11 lorsque cette température supérieure au deuxième seuil prédéfini.

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  
15 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  
20 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.

Comme expliqué avant, cette configuration peut dépendre d'autres  
25 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  
30 moment de se doucher).

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.

La présente invention n'est limitée à aucune configuration en  
5 particulier.

### *Modélisation du réservoir*

En référence à la **figure 2**, le réservoir d'eau 10 s'étend selon un axe  
10 longitudinal sensiblement vertical (les ballons des chauffe-eau sont généralement sensiblement cylindriques). En particulier, on considèrera un réservoir 10 « linéaire », c'est-à-dire constitué d'une base translaturée le long dudit axe longitudinal.

Le présent procédé propose d'estimer un profil de température du  
15 réservoir 10, i.e. d'estimer la température en fonction d'une coordonnée le long dudit axe. Ainsi, on suppose qu'à une hauteur donnée (i.e. au sein d'un plan donné orthogonal audit axe) la température est uniforme : le profil de température est unidimensionnel. Pour reformuler encore, cela signifie que la température dans le réservoir 10 dépend dans le modèle choisi  
20 uniquement de la hauteur le long dudit axe. Le profil de température s'exprime donc sous la forme d'une fonction  $T(h)$ , où  $h$  est dans l'intervalle  $[0, h_{max}]$  où  $h_{max}$  correspond à la hauteur du réservoir 10. On note qu'on peut utiliser des coordonnées normées, i.e.  $h \in [0; 1]$ .

De façon générale, l'objectif est d'obtenir une connaissance spatiale  
25 de la température au sein du réservoir, à partir duquel il va être possible d'estimer de façon fiable et précise d'autres grandeurs.

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  
30 diminuer sensiblement les approximations nécessaires dans les chauffe-eau existants.

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.

5 Comme l'on verra, ce profil de température permet avantageusement d'estimer une grandeur thermique 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  
10 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 tout grandeur dérivant directement d'une de ces grandeurs ou d'une de leur combinaisons).

La grandeur peut encore être un indicateur d'eau chaude disponible  
15 (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  
20 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.

La grandeur peut encore être un temps de chauffe nécessaire pour  
25 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 ballon, et n'affecte les couches d'eau chaude du ballon situées en haut du ballon que tardivement.

Dans le présent modèle, le réservoir 10 présente :

30 - un échange thermique avec le dispositif 11 de chauffage de l'eau du réservoir 10 associé à une première hauteur  $h_1$  le long dudit axe vertical ;

- une entrée d'eau E associée à une deuxième hauteur  $h_2$  le long dudit axe vertical ; et
- une sortie d'eau S associée à une troisième hauteur  $h_3$  le long dudit axe vertical.

5 En d'autres termes on définit trois hauteurs caractéristiques du réservoir. On note que pour chacun des éléments la hauteur associée peut être la hauteur moyenne (par exemple la hauteur du centre de la conduite pour l'entrée d'eau E).

En pratique, l'entrée E est au fond du réservoir,  $h_2$  est donc proche  
10 de zéro, le moyen de chauffe est en position médiane, et la sortie d'eau est au sommet, i.e.  $h_3$  proche de  $h_{\max}$  (c'est-à-dire  $h_3$  proche de 1 si l'on est en échelle normée). On note par ailleurs que le dispositif 11 n'est pas forcément ponctuel et peut présenter plusieurs hauteurs, voire une certaine longueur, i.e. s'étendre entre deux valeurs  $h_{1i}$  et  $h_{1f}$ . En effet, le dispositif  
15 11 peut comprendre une résistance s'étendant verticalement, voire un « manteau chauffant » (i.e. un échangeur enveloppant le réservoir, en particulier dans le cas d'un chauffe-eau thermodynamique).

Une source s'étendant entre deux valeurs  $h_{1i}$  et  $h_{1f}$  peut ainsi être soit approximée par une source ponctuelle de hauteur  $(h_{1i} + h_{1f})/2$ , ou  
20 considérée telle quelle pour un résultat plus précis. Dans la suite de la présente demande, on prendra l'exemple simplifié d'une source ponctuelle associée à une unique valeur  $h_1$ , mais l'homme du métier comprendra que la source peut être associée à plus d'une valeur de hauteur et en particulier être définie par un intervalle  $[h_{1i} ; h_{1f}]$ , et il saura adapter l'invention à un tel  
25 cas.

On comprendra en outre bien qu'il s'agit d'un modèle de stratification en couche de l'eau du réservoir 10, la température n'étant en pratique pas exactement unidimensionnelle, mais comme on va le montrer ce modèle de ballon stratifié reproduit de façon très réaliste le comportement  
30 thermodynamique de l'eau et permet d'obtenir de façon simple et rapide une estimation excellente des grandeurs thermiques susmentionnées.

### *Moyens de traitement*

Le présent procédé est mis en œuvre par des moyens de traitement de données 30 qui peuvent prendre des formes diverses. Il importe  
5 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  
10 suffit que des données permettent de recalculer l'énergie effectivement transmise à l'eau du réservoir 10 lors de la chauffe.

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  
15 du chauffe-eau. Il s'agit par exemple d'un tore d'intensité 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  
20 « box » d'un fournisseur d'accès à Internet pour la fourniture de données générales utiles à la mise en œuvre 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.

Dans un second mode de réalisation, ces moyens 30 sont intégrés  
25 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 œuvre le présent procédé. Comme l'on voit un tel chauffe-eau  
30 peut ne pas comprendre de sonde de température 20.

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

5 11.

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.

10 Dans un cinquième mode 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.

15 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 11 pour la mesure de la consommation du système 1.

## 20 *Calcul récursif*

Le présent procédé propose un schéma récursif de calcul. Ainsi, à partir d'un profil initial de température  $T(h)_i$ , l'étape (a) va consister à déterminer au moins profil final de température  $T(h)_f$ , selon les données de

25 consommation et/ou de débit, grâce à un système d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion.

Avantageusement, le procédé comprend la répétition de l'étape (a) de sorte que le profil final de température  $T(h)_f$  selon ledit axe vertical est utilisé comme profil initial de température  $T(h)_i$  à l'itération suivante, et ainsi

30 de suite.

Le modèle est basé sur le calcul du profil de température à l'aide d'un système de deux équations aux dérivées partielles de convection-diffusion avec terme source dont les paramètres dépendent du débit, de la puissance injectée, et de paramètres du réservoir 10 (notamment des données  
5 géométriques telles que la section du réservoir). Un échauffement local de la température est également modélisé comme une fonction de la hauteur. La dynamique de ces deux profils est régie par un système d'équations aux dérivées partielles, qui peut être éventuellement aux conditions de bord mouvantes.

10 La base de ce système est une première équation de convection-diffusion classique, modélisant le soutirage d'eau dans le ballon et les effets de mélanges associés. Une deuxième équation avec différents termes est ajoutée pour modéliser les autres phénomènes : Un terme source d'énergie modélisant la résistance, un terme de convection non-linéaire modélisant la  
15 convection naturelle induite par le réchauffement et un terme de redistribution de l'énergie de l'échauffement vers le profil de température. En d'autres termes, la première équation modélise le soutirage d'eau dans le réservoir 10 à la troisième hauteur  $h_3$  et les effets de mélanges associés, et la deuxième équation modélisant l'échauffement de l'eau par le moyen de  
20 chauffage du dispositif 11.

En bref, ce modèle, à une équation de convection-diffusion, ajoute une équation modélisant l'échauffement de l'eau du à la résistance, sa remontée et la réinjection de l'énergie dans le profil de température initiale. Un avantage de ce modèle est que la position et le fonctionnement de  
25 l'élément chauffant (valeur de  $h_1$  ou de l'intervalle  $[h_{1_i} ; h_{1_f}]$ ) peuvent être modifiés sans altérer la validité du modèle.

De plus ce modèle est universel, et permet comme l'on verra plus loin de gérer tous les cas de fonctionnement du chauffe-eau, y compris lors de soutirage et/ou de chauffe de l'eau.

30

En d'autres termes, les moyens 30 calculent l'évolution de la température en fonction de l'injection du volume  $v$  d'eau froide à une

température  $T_e$ , des transferts thermiques entre des « couches élémentaires » consécutives (éventuellement fonction de données géométriques telles que la section du réservoir, i.e. la surface d'échange entre deux couches consécutives), des pertes statiques (échange avec le milieu ambiant à une température  $T_a$ ) et de l'injection de puissance via les moyens de chauffe.

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.

De façon préférée, les termes des équations aux dérivées partielles de convection-diffusion sont subordonnés à des comportements de soutirage et/ou de chauffe au cours du temps, qui sont avantageusement détectés pendant l'étape (a).

Plus précisément, si l'utilisateur a soutiré de l'eau depuis l'instant précédent étudié, est déterminé un volume d'eau soutirée en fonction des débits mesurés, ledit volume d'eau soutirée étant ajouté à la deuxième hauteur  $h_2$  à la température d'eau froide prédéterminée  $T_e$ . En d'autres termes la première équation comprend un terme représentant l'ajout dudit volume d'eau soutirée au réservoir 10 à la deuxième hauteur  $h_2$  à la température d'eau froide prédéterminée  $T_e$ .

En outre, si le ballon a chauffé depuis l'instant précédent étudié (i.e. si le dispositif de chauffe 11 a été activé), est déterminé un apport thermique en fonction de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif, ledit apport thermique étant appliqué à la première hauteur  $h_1$  (le cas échéant sur l'intervalle  $[h_{1_i}; h_{1_f}]$ ). En d'autres termes, la deuxième équation comprend un terme représentant l'application dudit apport thermique au réservoir 10 à la première hauteur  $h_1$  ou l'intervalle  $[h_{1_i}; h_{1_f}]$ .

Ce modèle physique permet aux moyens 30 de déterminer le profil final de température  $T(h)_f$ .

Le réservoir 10 peut présenter au moins une sonde de température 20 configurée pour émettre un signal représentatif de la température de l'eau du réservoir 10 à une hauteur donnée (cas typique d'un chauffe-eau modifié). L'étape (a) comprend alors préférentiellement un contrôle (i.e. une

5 vérification) du profil final de température  $T(h)_f$  en fonction dudit signal émis par la sonde 20. Plus particulièrement, les moyens 30 comparent  $T(h_{\text{sonde}})$  avec la température mesurée. S'il y a trop d'écart (il est normal qu'il y ait un écart car le modèle par strates est théorique), le profil final de température

10  $T(h)_f$  sont modifiées et le modèle est adapté. De façon particulièrement préférée, les moyens 30 mettent en œuvre un apprentissage à partir desdites mesures de températures de sorte à améliorer la qualité du modèle.

#### *Calcul de la grandeur thermique et utilisation*

15

Dans une étape (b) optionnelle (qui peut avoir lieu soit à chaque cycle, soit sur demande de l'utilisateur ou d'une application intéressée par cette grandeur physique), les moyens 30 estiment comme expliqué une

20 grandeur thermique du réservoir d'eau 10 en fonction du profil final de température  $T(h)_f$ .

Par exemple, si la grandeur thermique est l'énergie totale, celle-ci est proportionnelle à  $\int_0^{h_{\text{max}}} T(h)_f dh$ .

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

25

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.

30

En particulier, le procédé comprend avantageusement une étape (c) 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 1b. La grandeur thermique peut en effet remplacer toute mesure de température tout en permettant un contrôle

5 précis.

De façon préférée, l'étape (c) 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 de données descriptives d'un état du réseau

10 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

15 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.

Le présent procédé permet ainsi d'utiliser les chauffe-eau installés

20 pour gérer la production électrique d'origine renouvelable, et ce facilement et efficacement : l'émission de consigne 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

25 disponibles à l'échelle du territoire français par exemple.

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 bruleurs si le dispositif 11

30 en comprend).

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.

Ces données peuvent être des données génériques obtenues  
5 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.

10 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  
15 en cours, le prix de l'électricité, le préavis de pointe mobile et/ou une ou plusieurs pointe(s) mobile(s), etc.

Selon un mode de réalisation préféré, les moyens 30 déterminent une consigne de puissance (c'est-à-dire une valeur cible de puissance  
20 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.

Un premier et/ou un deuxième type de fonctionnement peuvent être mis en œuvre.

25 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 configurés pour émettre une consigne d'augmentation de puissance (en d'autres termes une consigne de puissance augmentant la consommation  
30 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.

5 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).

10 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).

15 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  
20 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  
25 d'éviter les risques de brûlure dus à la fourniture d'eau plus chaude.

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

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.

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).

Il est à noter que les deux modes (marche réduite et marche forcée) peuvent cohabiter et être mis en œuvre 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.

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.

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.

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

#### *Modification d'un chauffe-eau existant*

Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un ensemble  
10 d'estimation d'un profil de température adapté pour un réservoir d'eau 10  
d'un chauffe-eau existant.

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 ;
- 15 - 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  
20 compteur électrique 32).

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 œuvre l'étape  
(c), il suffit de connecter les moyens de traitement 30 au module de contrôle  
25 12, par exemple via un câble Ethernet.

Les moyens de traitement de données 30 doivent être configurés pour  
mettre en œuvre un module de détermination d'un profil final de  
température  $T(h)_f$  du réservoir 10 selon ledit axe vertical à partir d'un profil  
initial de température  $T(h)_i$ , en fonction d'au moins des données  
30 représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage  
du dispositif 11, des mesures de débit d'eau soutirée, et les premières,  
deuxième et troisième hauteurs  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ .

Ils peuvent comme expliqué également mettre un module d'estimation d'une grandeur thermique du réservoir d'eau 10 en fonction du profil final de température  $T(h)_f$ .

5 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'un profil de température selon le deuxième aspect de l'invention, adapté pour  
10 le réservoir 10.

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  
15 comprenant des moyens de traitement de données 30 configurés pour mettre en œuvre le procédé d'estimation d'un profil de température du réservoir 10 selon le premier aspect de l'invention.

#### *Produit programme d'ordinateur*

20

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'un profil de température d'un réservoir d'eau  
25 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.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation d'un profil de température d'un réservoir d'eau (10), le réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe  
5 sensiblement vertical et présentant :

- un échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10) associé à une première hauteur (h1) le long dudit axe vertical, le dispositif (11) comprenant un moyen de chauffage alimenté par un réseau électrique (2) ;
- 10 - une entrée d'eau (E) associée à une deuxième hauteur (h2) le long dudit axe vertical ; et
- une sortie d'eau (S) associée à une troisième hauteur (h3) le long dudit axe vertical ;

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

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

- (a) A partir d'un profil initial de température  $(T(h)_i)$  du réservoir (10) selon  
20 ledit axe vertical, détermination d'un profil final de température  $(T(h)_f)$ , en fonction d'un système d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion dont les termes dépendent au moins de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), de mesures de débit d'eau  
25 soutirée, et des premières, deuxième et troisième hauteurs (h1, h2, h3).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit système  
30 d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion comprend une première équation modélisant le soutirage d'eau dans le réservoir (10) à la troisième hauteur (h3) et les effets de mélanges associés, et une deuxième

équation modélisant l'échauffement de l'eau par le moyen de chauffage du dispositif (11).

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la première  
5 équation comprend un terme de pertes thermiques en fonction d'une température ambiante prédéterminée ( $T_a$ ) et un terme de convection linéaire, et la deuxième équation comprend un terme de convection non linéaire modélisant la convection naturelle induite par le moyen de chauffage du dispositif (11) et un terme de redistribution de l'énergie de  
10 l'échauffement vers le profil de température ( $T(h)$ ).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant récursivement la répétition de l'étape (a) de sorte que le profil final de température ( $T(h)_f$ ) selon ledit axe vertical est utilisé comme profil initial de  
15 température ( $T(h)_i$ ) à l'itération suivante.

5. Procédé selon les revendications 3 et 4 en combinaison, dans lequel l'étape (a) comprend, si le débit d'eau soutiré depuis l'itération précédente est non nul, la détermination d'un volume d'eau soutirée en  
20 fonction des débits mesurés, la première équation comprenant un terme représentant l'ajout dudit volume d'eau soutirée au réservoir (10) à la deuxième hauteur ( $h_2$ ) à une température d'eau froide prédéterminée ( $T_e$ ).

6. Procédé selon l'une des revendications 4 et 5 et la  
25 revendication 3 en combinaison, dans lequel l'étape (a) comprend, si la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11) depuis l'itération précédente est non nulle, la détermination d'un apport thermique en fonction de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), la deuxième équation comprenant un terme  
30 représentant l'application dudit apport thermique au réservoir (10) à la première hauteur ( $h_1$ ).

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le réservoir (10) présente 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), l'étape (a) comprenant la vérification du profil  
5 final de température  $(T(h)_f)$  en fonction dudit signal émis par la sonde (20).

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant une étape (b) d'estimation d'une grandeur thermique du réservoir d'eau (10) en fonction du profil final de température  $(T(h)_f)$  du réservoir (10).

10

9. Procédé selon la revendication 8, 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  
15 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.

10. Procédé selon l'une des revendications 8 et 9, comprenant  
20 une étape (c) de contrôle dudit dispositif de chauffage (11) par un module de contrôle (12) en fonction de ladite grandeur thermique déterminée.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel l'étape (c) comprend la réception de données descriptives d'un état du réseau  
25 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).

30

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel l'échange thermique avec le dispositif (11) de chauffage de l'eau du

réservoir (10) est associé à un intervalle de hauteur ( $[h_{1i}; h_{1f}]$ ) le long dudit axe vertical.

- 13.** Ensemble d'estimation d'un profil de température adapté  
5 pour un réservoir d'eau (10) s'étendant selon un axe sensiblement vertical et présentant :
- un échange thermique avec un dispositif (11) de chauffage de l'eau du réservoir (10) associé à une première hauteur ( $h_1$ ) le long dudit axe vertical, le dispositif (11) comprenant un moyen  
10 de chauffage alimenté par un réseau électrique (2) ;
  - une entrée d'eau (E) associée à une deuxième hauteur ( $h_2$ ) le long dudit axe vertical ; et
  - une sortie d'eau (S) associée à une troisième hauteur ( $h_3$ ) le long dudit axe vertical ;
- 15 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  
20 capteur de débit (21, 22), configurés pour mettre en œuvre un module de détermination d'un profil final de température ( $T(h)_f$ ) du réservoir (10) selon ledit axe vertical à partir d'un profil initial de température ( $T(h)_i$ ), en fonction d'un système d'équations aux dérivées partielles de convection-diffusion dont les termes  
25 dépendent au moins de données représentatives de la consommation énergétique dudit moyen de chauffage du dispositif (11), de mesures de débit d'eau soutirée, et des premières, deuxième et troisième hauteurs ( $h_1, h_2, h_3$ ).
- 30 **14.** Ensemble selon la revendication 13, étant soit adapté pour être connecté à un compteur électrique (32) via lequel le moyen de chauffage du dispositif (11) est alimenté par le réseau électrique (2), soit

comprenant un élément (23) de mesure de la consommation électrique dudit moyen de chauffage du dispositif (11).

- 5           **15.**    Système (1) de chauffe-eau 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'un profil de température selon l'une des revendications 13 et 14, adapté pour le réservoir (10).
- 10           **16.**    Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code pour l'exécution d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 12 d'estimation d'un profil de température d'un réservoir d'eau (10), lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
- 15           **17.**    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 12 d'estimation d'un profil de température d'un réservoir d'eau (10).

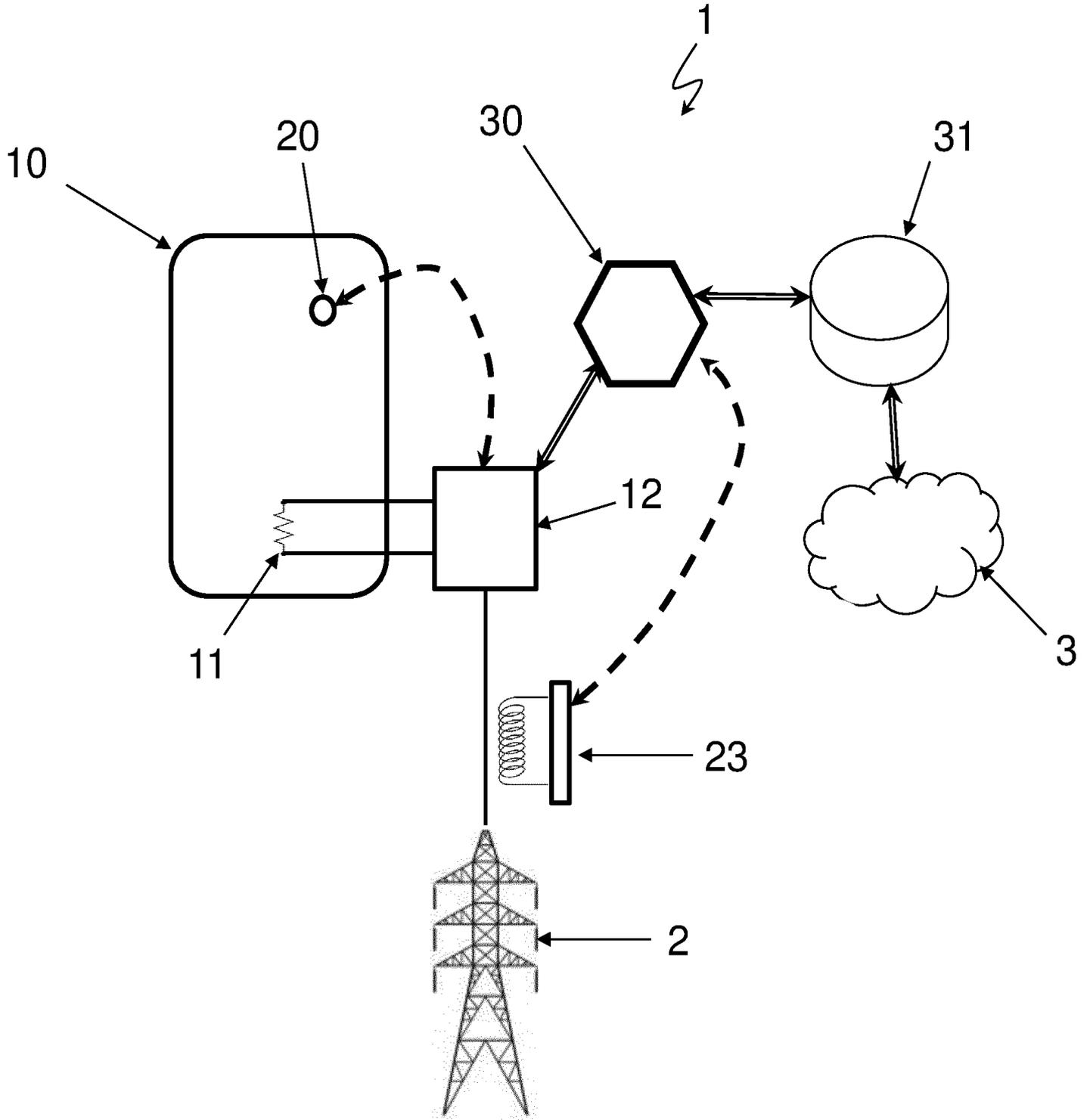


FIG. 1a

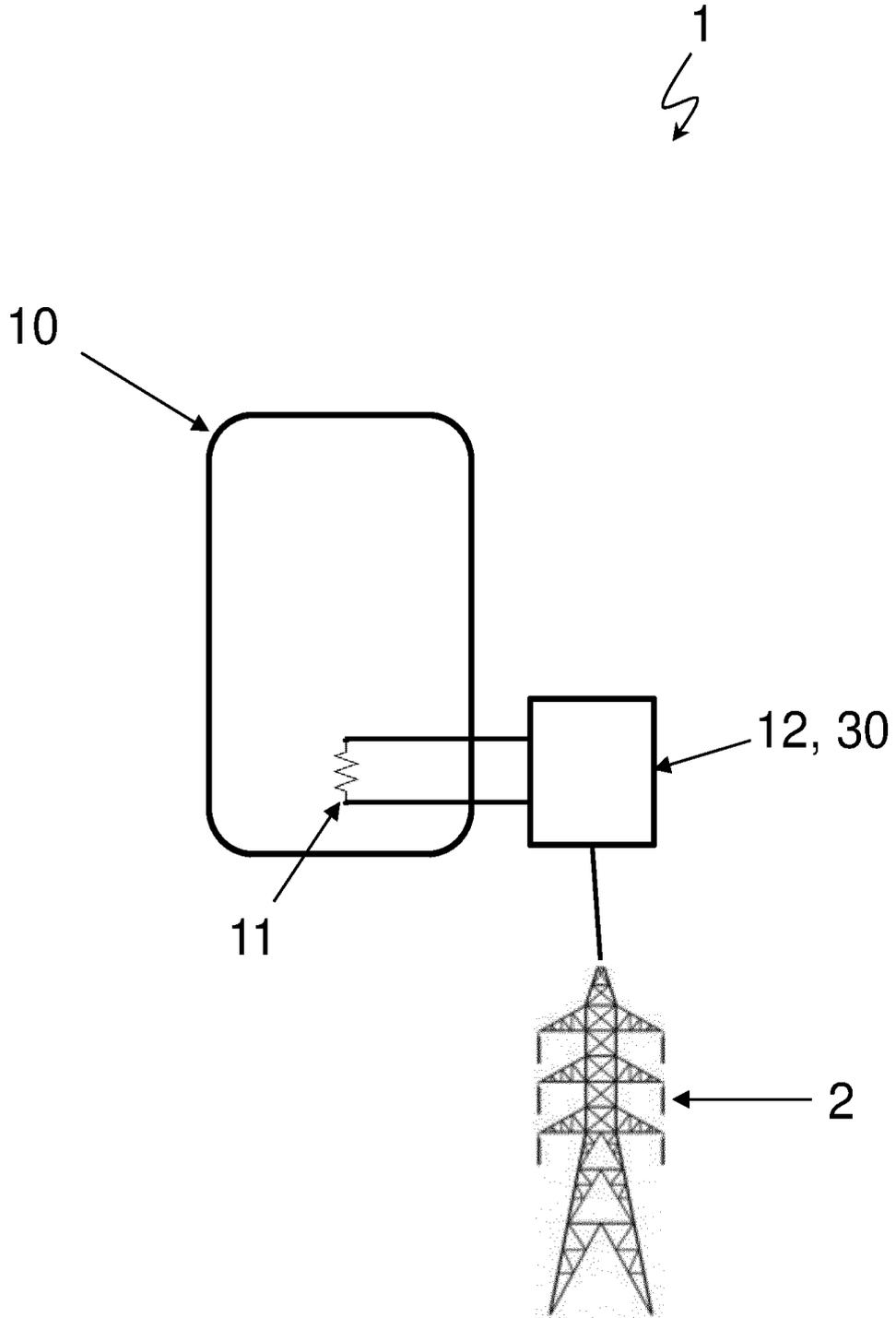


FIG. 1b

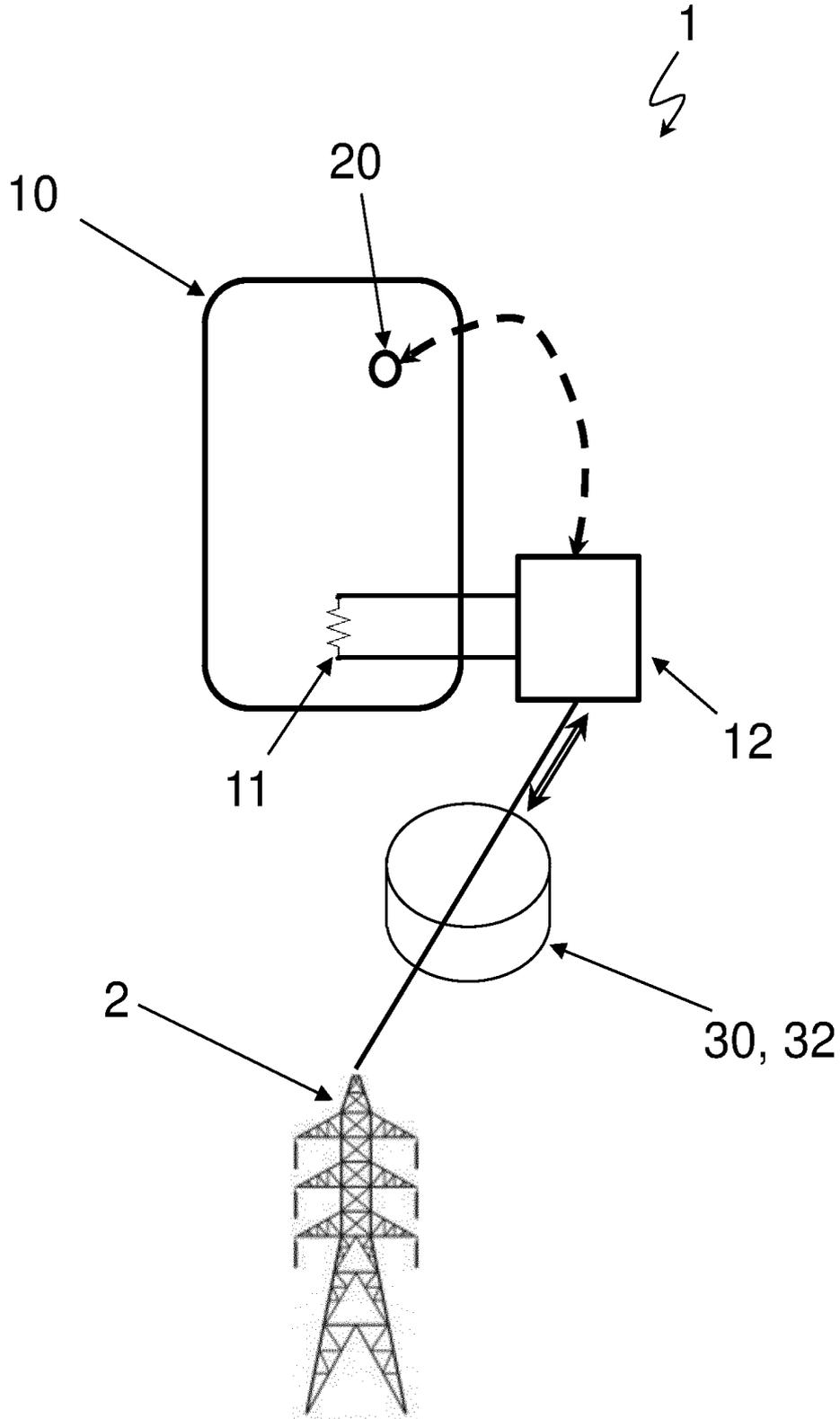


FIG. 1c

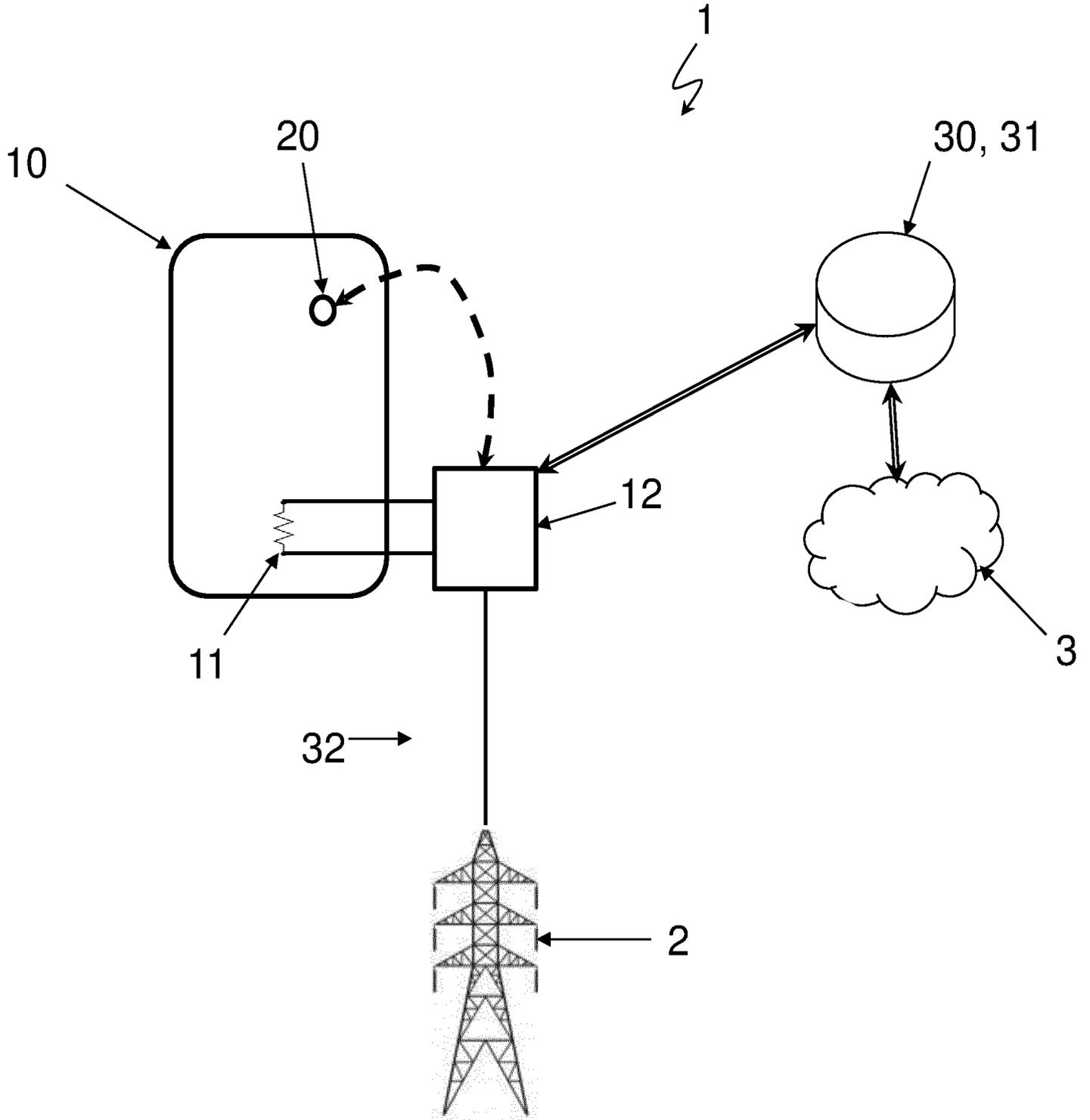


FIG. 1d

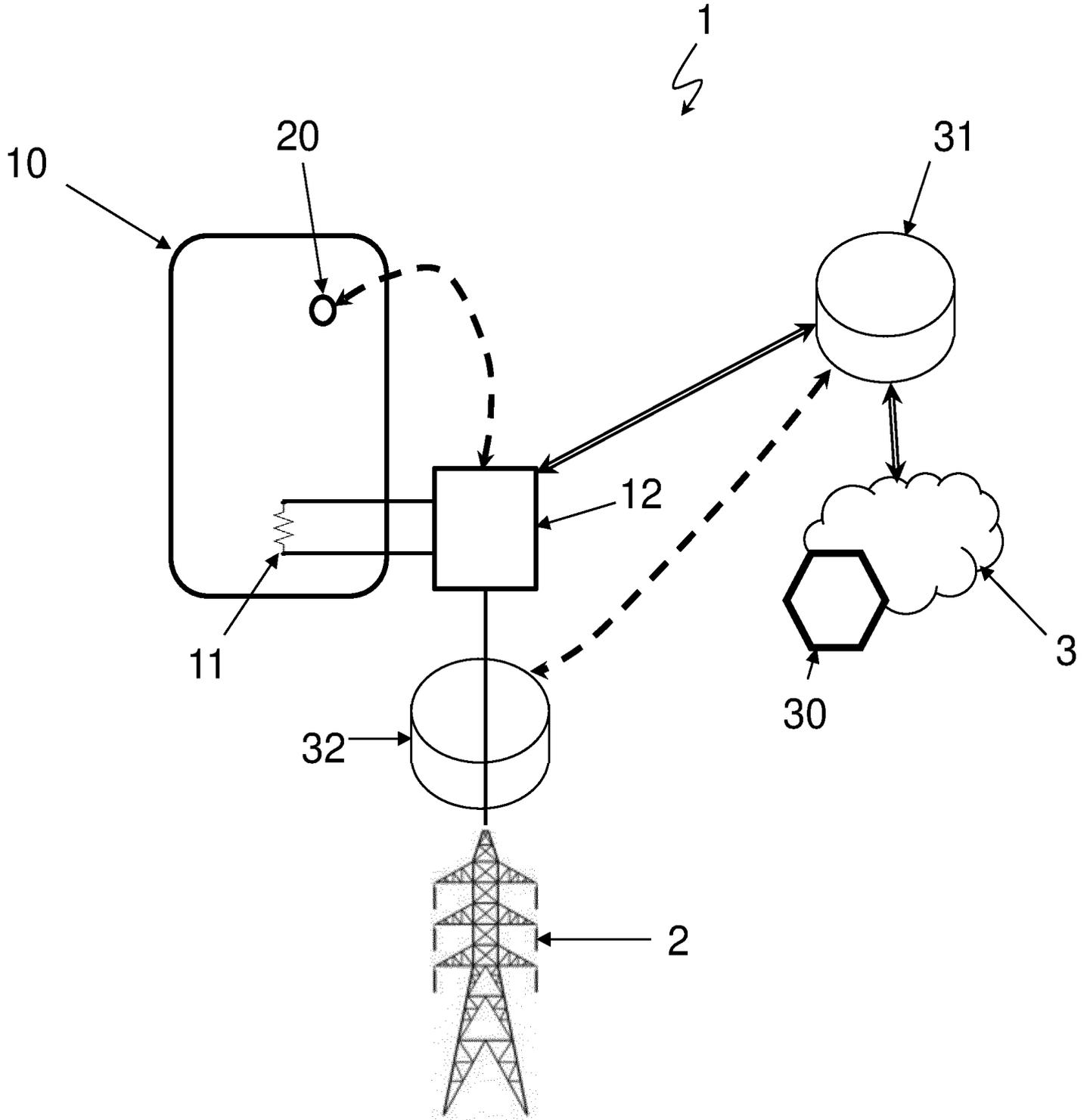


FIG. 1e

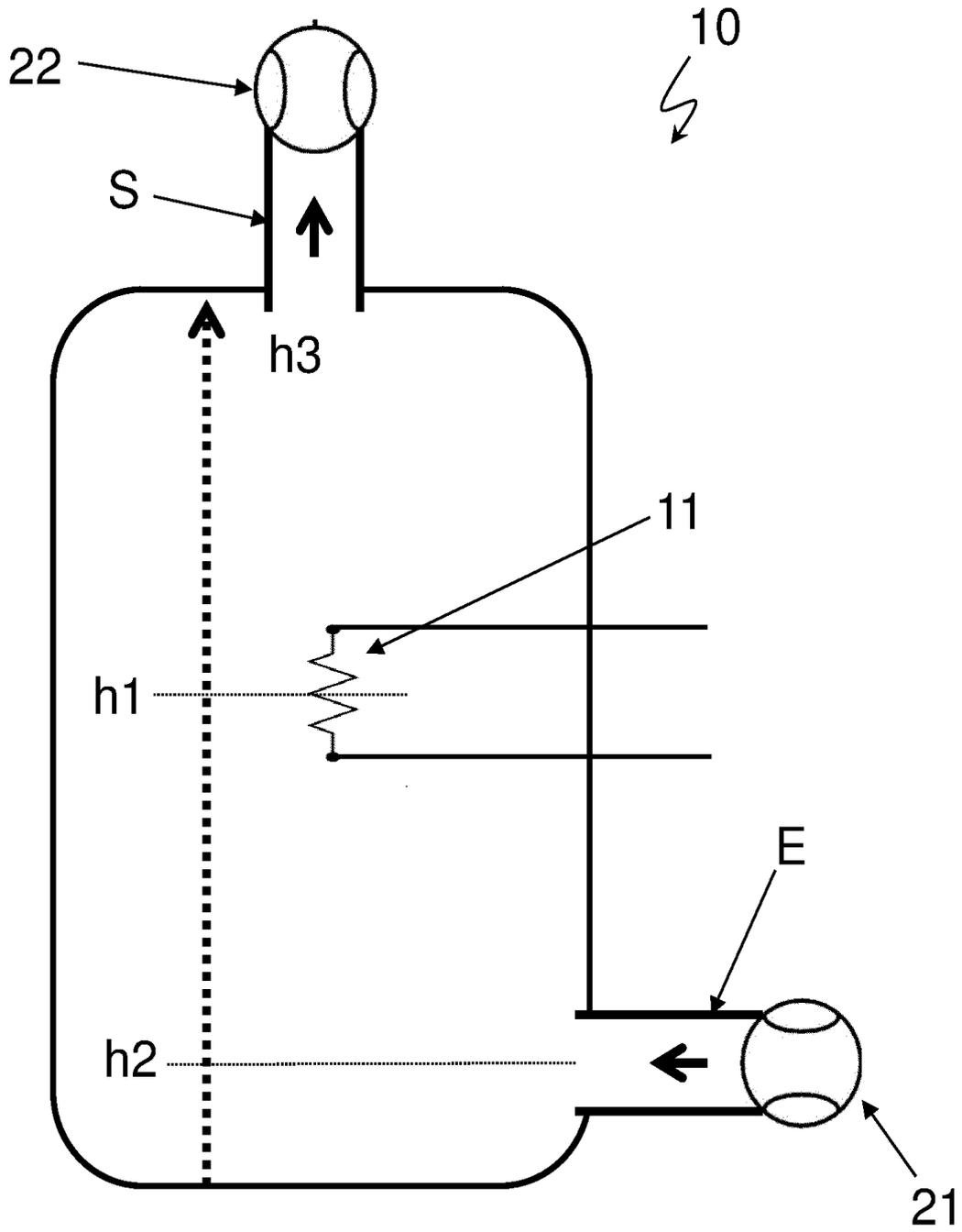


FIG. 2



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 811920  
FR 1554898

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2007/005190 A1 (FEINLEIB DAVID A [US] ET AL) 4 janvier 2007 (2007-01-04) * page 2, alinéa 28 - page 10, alinéa 113; figures 2,3,4,5 *	1-17	F24D19/10 G01K17/06 G01K13/00
A	WO 2010/061264 A1 (ARISTON THERMO SPA [IT]; FERRONI STEFANO [IT]; LATINI LUCIO [IT]; MANC) 3 juin 2010 (2010-06-03) * le document en entier *	1-17	
A	GB 2 518 365 A (EXERGY DEVICES LTD [GB]) 25 mars 2015 (2015-03-25) * le document en entier *	1-17	
A	WO 2013/014411 A2 (ISIS INNOVATION [GB]; ARMSTRONG PETER MICHAEL [GB]) 31 janvier 2013 (2013-01-31) * le document en entier *	1-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F24H F24D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 avril 2016		Hoffmann, Stéphanie	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1554898 FA 811920**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **15-04-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007005190 A1	04-01-2007	US 2007005190 A1 US 2010141422 A1	04-01-2007 10-06-2010
-----			
WO 2010061264 A1	03-06-2010	EP 2362931 A1 IT 1392118 B1 WO 2010061264 A1	07-09-2011 22-02-2012 03-06-2010
-----			
GB 2518365 A	25-03-2015	AUCUN	
-----			
WO 2013014411 A2	31-01-2013	EP 2739914 A2 US 2014321839 A1 WO 2013014411 A2	11-06-2014 30-10-2014 31-01-2013
-----			