

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 060 190**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **16 62263**
⑤① Int Cl⁸ : **G 21 D 5/04 (2017.01), G 21 D 5/08, G 21 D 7/00**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ CONVERTISSEUR, CENTRALE NUCLEAIRE ET PROCEDE ASSOCIES.

②② Date de dépôt : 09.12.16.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.06.18 Bulletin 18/24.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 03.05.19 Bulletin 19/18.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

⑦② Inventeur(s) : MAUGER GEDEON et TAUVERON
NICOLAS.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité
limitée.

FR 3 060 190 - B1



CONVERTISSEUR, CENTRALE NUCLEAIRE ET PROCEDE ASSOCIES

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un convertisseur destiné à convertir une
5 énergie thermique fournie par un réacteur nucléaire en énergie électrique destinée à
alimenter un réseau électrique, selon une conversion suivant un cycle de Brayton.

L'invention s'applique au domaine des réacteurs nucléaires, en particulier
des réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au sodium.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 De façon connue, les réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au
sodium présentent l'avantage de produire des neutrons rapides, ce qui permet une
utilisation maximale du combustible nucléaire. Ceci est notamment une conséquence de
l'utilisation du sodium comme fluide caloporteur. Le sodium liquide est doté de bonnes
propriétés thermiques (conductivité, évacuation de la chaleur) et d'une faible viscosité, ce
15 qui en fait un excellent caloporteur. Il est faiblement activé par les neutrons, ce qui évite la
production de grandes quantités de déchets radioactifs. Il est peu corrosif, ce qui le rend
compatible avec les aciers. En outre, il offre d'excellentes garanties en termes de sûreté ;
par exemple, sa grande inertie thermique confère aux réacteurs nucléaires à neutrons
rapides refroidis au sodium un excellent comportement en cas de perte de source froide
20 externe (atmosphère, eau).

Du fait de la forte réactivité chimique du sodium avec l'eau et l'oxygène,
de tels réacteurs comportent généralement un circuit intermédiaire au sodium, ainsi qu'un
convertisseur destiné à convertir l'énergie thermique disponible au niveau du circuit
intermédiaire en énergie électrique. Un tel convertisseur fonctionne généralement en
25 suivant un cycle de Rankine. Afin de supprimer tout risque de réaction sodium-eau, un cycle
de Brayton est envisagé.

Une contrainte importante pour de telles installations est d'assurer un suivi rapide et efficace de la demande électrique. Actuellement, pour les réacteurs à eau pressurisée, un tel suivi de demande électrique requiert, en régime dit « nominal », un fonctionnement de ces installations à 93% de leur puissance maximale ; ceci permet à de telles installations de fournir, en régime dit « appel de puissance », 7% de puissance supplémentaires en cas de demande du réseau. La puissance électrique produite est commandée en pilotant la puissance du réacteur nucléaire, soit par dilution de bore soit grâce à des barres de commande.

Toutefois, de telles installations ne donnent pas entière satisfaction.

En effet, de telles installations sont sous-exploitées, puisqu'en régime nominal, une partie significative de la puissance que pourrait fournir le combustible n'est pas produite. En outre, un tel pilotage de la puissance du réacteur nucléaire entraîne des variations cycliques et brutales au niveau du réacteur nucléaire (par exemple, en France, les 7% de puissance supplémentaires doivent impérativement être fournis en 133 secondes ou moins), ce qui nuit à la sûreté de l'installation et réduit la durée de vie du réacteur nucléaire.

Un but de l'invention est donc de proposer une centrale nucléaire qui puisse répondre rapidement à un appel de puissance électrique en provenance d'un réseau électrique, tout en utilisant le combustible nucléaire de façon optimale.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

A cet effet, l'invention a pour objet un convertisseur du type précité, comportant un circuit fermé de circulation d'un fluide caloporteur selon un sens de circulation prédéterminé,

le circuit fermé comprenant un échangeur sodium-gaz comportant une partie chaude destinée à transmettre l'énergie thermique fournie par le réacteur nucléaire au fluide caloporteur circulant à travers une partie froide de l'échangeur sodium-gaz pour élever la température du fluide caloporteur ;

le circuit fermé comprenant, en outre, des organes aubagés couplés mutuellement par un arbre, et des échangeurs, les organes aubagés et les échangeurs étant connectés en série dans le circuit fermé,

5 chaque échangeur comprenant une partie chaude propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de l'organe aubagé précédent dans le circuit fermé par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, chaque échangeur comportant également une partie froide configurée pour permettre la circulation d'un fluide de refroidissement destiné à refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude de l'échangeur par échange de chaleur entre la partie chaude et la partie froide de
10 l'échangeur ;

les organes aubagés comprenant :

- une turbine propre à permettre la détente du fluide caloporteur circulant à travers la turbine et reçu en provenance de la partie froide de l'échangeur sodium-gaz, la turbine étant propre à
15 entraîner l'arbre en rotation ;

- au moins un compresseur, chaque compresseur étant associé à un échangeur correspondant disposé en amont par rapport au sens de circulation du fluide de refroidissement, chaque compresseur étant configuré pour comprimer le fluide caloporteur circulant à travers
20 le compresseur et reçu en provenance de la partie chaude de l'échangeur correspondant ;

le convertisseur comportant également un alternateur destiné à produire de l'énergie électrique lors de sa mise en rotation, l'alternateur étant couplé à la turbine par l'arbre pour être entraîné en rotation,

25 le convertisseur comportant, en outre, un dispositif de refroidissement comprenant une unité de stockage, un groupe frigorifique et une pompe, l'unité de stockage étant destinée à stocker le fluide de refroidissement, le groupe frigorifique étant configuré pour refroidir le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage, la pompe du dispositif de refroidissement étant configurée pour alimenter la partie froide

d'au moins un parmi les échangeurs en fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage,

le convertisseur comportant également un contrôleur configuré pour commander l'alimentation de la partie froide de l'au moins un parmi les échangeurs en fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage en cas de détection d'un appel de puissance électrique en provenance du réseau électrique.

En effet, grâce à un tel convertisseur, l'augmentation de la puissance à fournir se fonde :

- d'une part, sur l'augmentation du rendement du cycle de Brayton par l'abaissement de la température froide, c'est-à-dire de la température du fluide de refroidissement, par le groupe frigorifique ;

- d'autre part, sur l'augmentation de la puissance thermique du réacteur, obtenue de façon passive grâce à une contre-réaction neutronique naturelle des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium : un refroidissement au niveau du convertisseur entraîne un refroidissement du circuit primaire et du circuit intermédiaire de refroidissement au sodium, ce qui conduit à une augmentation de la puissance du réacteur nucléaire.

En outre, dans le cas d'un groupe frigorifique électrique alimenté par le convertisseur, l'arrêt du groupe frigorifique lors de l'appel de puissance fournit instantanément davantage de courant électrique.

Ainsi, grâce à un tel convertisseur, le réacteur nucléaire fonctionne en permanence à 100% de sa puissance nominale, quel que soit le domaine de fonctionnement (nominal ou en appel de puissance). La puissance électrique supplémentaire est obtenue par un accroissement du rendement du cycle de Brayton obtenu en alimentant l'échangeur basse pression et l'échangeur moyenne pression en fluide de refroidissement dont la température a été abaissée grâce au fonctionnement du groupe frigorifique.

Ainsi, quel que soit le domaine de fonctionnement (nominal ou en appel de puissance), une centrale nucléaire pourvue d'un tel convertisseur est en mesure de produire 7% d'électricité supplémentaire par rapport à une centrale nucléaire usuelle.

En outre, après la fin de l'appel de puissance, la mise en route du groupe frigorifique réduit le rendement du convertisseur, en provoquant une consommation électrique additionnelle au niveau de la centrale nucléaire, ce qui a pour effet d'accélérer le retour au régime nominal, sans qu'aucune action ne soit requise sur le réacteur nucléaire.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le convertisseur comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le groupe frigorifique est électrique, l'alternateur étant destiné à alimenter le groupe frigorifique en énergie électrique pour permettre le fonctionnement du groupe frigorifique ;

- le circuit fermé comprend au moins deux échangeurs pour lesquels la partie froide de l'échangeur situé le plus en aval, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, est reliée à la partie froide de l'échangeur situé immédiatement en amont, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, pour recevoir le fluide de refroidissement, issu de l'unité de stockage, depuis la partie froide de l'échangeur situé immédiatement en amont ;

- le circuit fermé comporte, en outre, au moins un échangeur principal, chaque échangeur principal étant associé à un compresseur,

pour chaque compresseur, l'échangeur principal correspondant étant connecté en amont, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, de l'échangeur associé au compresseur,

chaque échangeur principal comprenant une partie chaude propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de l'organe aubagé précédent dans le circuit fermé par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur,

chaque échangeur principal comportant également une partie froide destinée à recevoir du fluide de refroidissement en provenance d'une source externe de fluide de refroidissement, distincte de l'unité de stockage, pour refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude de l'échangeur principal par échange de chaleur entre la partie chaude et la partie froide de l'échangeur principal ;

- le groupe frigorifique est configuré pour porter le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage à une température inférieure à la température du fluide de refroidissement en provenance de la source externe ; et

5 - le groupe frigorifique est adapté pour porter le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage à une température inférieure ou égale à 15°C, de préférence inférieure ou égale à 10°C, avantageusement inférieure ou égale à 5°C, par exemple inférieure ou égale à 0°C.

10 En outre, l'invention a pour objet une centrale nucléaire comportant un réacteur nucléaire configuré pour produire de l'énergie thermique, et un convertisseur tel que défini ci-dessus, le convertisseur étant configuré pour convertir l'énergie thermique produite par le réacteur nucléaire en énergie électrique.

En outre, l'invention a pour objet un procédé de conversion au moyen d'un convertisseur tel que défini ci-dessus, comportant les étapes de :

15 - surveillance de la puissance demandée par le réseau électrique ;
 - alimentation de la partie froide de l'au moins un parmi les échangeurs en fluide de refroidissement issu de l'unité de stockage si la puissance demandée par le réseau électrique est supérieure ou égale à un plafond de puissance prédéterminé.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé comporte les caractéristiques suivantes :

20 - le procédé comporte la mise en route du groupe frigorifique à l'issue d'une durée prédéterminée après l'étape d'alimentation ;

- le procédé comporte la mise en route du groupe frigorifique pendant une plage horaire prédéterminée ;

25 - le procédé comporte la mise en route du groupe frigorifique si la puissance demandée par le réseau électrique est inférieure ou égale à un seuil de puissance prédéterminé.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant au(x) dessin(s) annexé(s) sur le(s)quel(s) :

- 5 - la figure 1 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'une centrale nucléaire selon l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation de centrale nucléaire selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un troisième mode de
- 10 réalisation de centrale nucléaire selon l'invention ; et
- la figure 4 est une représentation schématique d'un quatrième mode de réalisation de centrale nucléaire selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Une centrale nucléaire 2 selon l'invention est représentée sur la figure 1.

15 La centrale nucléaire 2 comprend un circuit primaire 4, un circuit intermédiaire 6 et un convertisseur 8.

 Le circuit primaire 4 est configuré pour produire de l'énergie thermique. Le circuit intermédiaire 6 est configuré pour transporter l'énergie thermique produite par le circuit primaire 4 vers le convertisseur 8. Le convertisseur 8 est configuré pour

20 transformer l'énergie thermique acheminée par le circuit intermédiaire 6 en énergie électrique, notamment en énergie électrique destinée à alimenter un réseau électrique 10.

 Le circuit primaire 4 comprend un réacteur nucléaire 12 propre à produire de l'énergie thermique par réaction d'un combustible nucléaire. Le circuit primaire 4 comprend, en outre, une boucle primaire 14 de circulation d'un composé caloporteur

25 primaire. Un tel composé caloporteur primaire est, par exemple, du sodium.

 Le circuit intermédiaire 6 comporte une boucle intermédiaire 16 de circulation d'un composé caloporteur intermédiaire. Un tel composé caloporteur intermédiaire est, par exemple, du sodium. Le circuit intermédiaire 6 comporte également un échangeur intermédiaire de chaleur 18 propre à permettre un transfert de chaleur entre

le composé caloporteur primaire circulant dans la boucle primaire 14 du circuit primaire 4 et le composé caloporteur intermédiaire circulant dans la boucle intermédiaire 16 du circuit intermédiaire 6.

5 Le convertisseur 8 est destiné à recevoir une partie de l'énergie thermique disponible au niveau du circuit intermédiaire 6 pour la convertir en énergie électrique, selon une conversion suivant un cycle de Brayton.

Le convertisseur 8 comporte un circuit fermé 20 de circulation d'un fluide caloporteur, un dispositif de refroidissement 22 et un contrôleur 24.

10 Le circuit fermé 20 est configuré pour permettre la circulation du fluide caloporteur, et sa transformation durant sa circulation en suivant un cycle de Brayton. Le fluide caloporteur est, par exemple, de l'azote.

Le dispositif de refroidissement 22 est propre à stocker un fluide de refroidissement destiné à refroidir le fluide caloporteur au cours de sa circulation dans le circuit fermé 20.

15 Le contrôleur 24 est configuré pour commander le fonctionnement du dispositif de refroidissement 22.

Le circuit fermé 20 comporte une turbine 26 propre à être entraînée en rotation par le fluide caloporteur circulant dans le circuit fermé 20. La turbine 26 est, en outre, propre à permettre la détente du fluide caloporteur circulant à travers la turbine 26.

20 Le circuit fermé 20 comporte également un arbre 28 relié à la turbine 26 pour être entraîné en rotation par la turbine 26 lors de la circulation du fluide caloporteur dans le circuit fermé 20.

25 Le circuit fermé 20 comprend également un alternateur 30. L'alternateur 30 est couplé à la turbine 26 par l'arbre 28 pour être entraîné en rotation par l'arbre 28 afin de produire de l'énergie électrique.

Comme illustré par la figure 1, le circuit fermé 20 comprend, en outre, un échangeur sodium-gaz 32, un récupérateur de chaleur 34, un échangeur basse pression 36 de chaleur, un compresseur basse pression 38, un échangeur moyenne pression 40 de chaleur et un compresseur moyenne pression 42.

L'échangeur sodium-gaz 32, le récupérateur de chaleur 34, l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 comportent chacun une partie chaude et une partie froide étanches l'une par rapport à l'autre, propres à échanger de l'énergie thermique entre elles, et respectivement notées 32C, 32F pour l'échangeur sodium-gaz 32 ; 34C, 34F pour le récupérateur de chaleur 34 ; 36C, 36F pour l'échangeur basse pression 36 et 40C, 40F pour l'échangeur moyenne pression 40.

La partie chaude 32C de l'échangeur sodium-gaz 32 est destinée à transmettre une partie de l'énergie thermique disponible au niveau du circuit intermédiaire 6, vers le du fluide caloporteur circulant à travers la partie froide 32F de l'échangeur sodium-gaz 32 et reçu en provenance de la partie froide 34F du récupérateur de chaleur 34, pour élever la température du fluide caloporteur.

La turbine 26 est destinée à recevoir le fluide caloporteur en provenance de la partie froide 32F de l'échangeur sodium-gaz 32.

La partie chaude 34C du récupérateur de chaleur 34 est propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de la turbine 26. En outre, la partie froide 34F du récupérateur de chaleur 34 est propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance du compresseur moyenne pression 42.

La partie chaude 36C de l'échangeur basse pression 36 est propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de la partie chaude 34C du récupérateur de chaleur 34. En outre, la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 est configurée pour permettre la circulation du fluide de refroidissement destiné à refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude 36C de l'échangeur basse pression 36.

La partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 est configurée pour recevoir, successivement au cours du temps, du fluide de refroidissement en provenance d'une source externe 43 de fluide de refroidissement et en provenance du dispositif de refroidissement 22.

Le compresseur basse pression 38 est couplé à la turbine 26 par l'arbre 28 pour être entraîné en rotation par la turbine 26 lors de la circulation du fluide

caloporteur dans le circuit fermé 20. Le compresseur basse pression 38 est configuré pour comprimer le fluide caloporteur circulant à travers le compresseur basse pression 38 et reçu en provenance de la partie chaude 36C de l'échangeur basse pression 36.

5 La partie chaude 40C de l'échangeur moyenne pression 40 est propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance du compresseur basse pression 38. En outre, la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 est configurée pour permettre la circulation du fluide de refroidissement reçu en provenance du dispositif de refroidissement 22 et destiné à refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude 40C de l'échangeur moyenne pression 40.

10 La partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 est reliée à la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 pour recevoir le fluide de refroidissement en provenance de la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36.

15 La partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 est, en outre, configurée pour acheminer le fluide de refroidissement reçu en provenance de la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 :

- vers le dispositif de refroidissement 22, si le fluide de refroidissement reçu depuis l'échangeur basse pression 36 provient du dispositif de refroidissement 22 ; ou

20 - vers la source externe 43 de fluide de refroidissement, si le fluide de refroidissement reçu depuis l'échangeur basse pression 36 provient de la source externe 43.

25 Le compresseur moyenne pression 42 est couplé à la turbine 26 par l'arbre 28 pour être entraîné en rotation par la turbine 26 lors de la circulation du fluide caloporteur dans le circuit fermé 20. Le compresseur moyenne pression 42 est configuré pour comprimer le fluide caloporteur circulant à travers le compresseur moyenne pression 42 et reçu en provenance de la partie chaude 40C de l'échangeur moyenne pression 40.

30 Avantageusement, au sein de la boucle fermée 20, chacun parmi l'échangeur sodium-gaz 32, le récupérateur de chaleur 34, l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 est connecté de sorte que les fluides circulant dans sa partie chaude et dans sa partie froide s'écoulent dans des sens opposés.

Le dispositif de refroidissement 22 comprend une unité de stockage 44, et un groupe frigorifique 46.

L'unité de stockage 44 est destinée à stocker le fluide de refroidissement. Le fluide de refroidissement est, par exemple, de l'eau. Par exemple, l'unité de stockage 44 est une piscine d'eau.

Le groupe frigorifique 46 comporte un évaporateur 50, un compresseur 52, un condenseur 54 et un détendeur 56 reliés en série pour former une boucle fermée. En outre, le groupe frigorifique 46 est relié à l'alternateur 30 pour être alimenté en énergie électrique par l'alternateur 30.

L'évaporateur 50 est disposé au contact de l'unité de stockage 44, ou dans l'unité de stockage 44. Le condenseur 54 est disposé à distance de l'unité de stockage 44.

Le groupe frigorifique 46 est configuré pour prélever une partie de l'énergie thermique du fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage 44, et pour évacuer ladite partie de l'énergie thermique vers l'extérieur de l'unité de stockage 44 par le biais du condenseur 54. Le fonctionnement d'un tel groupe frigorifique 46 est connu en soi.

Avantageusement, le groupe frigorifique 46 est configuré pour porter le fluide de refroidissement à une température inférieure ou égale à 15°C, de préférence inférieure ou égale à 10°C, avantageusement inférieure ou égale à 5°C, par exemple inférieure ou égale à 0°C.

En outre, le groupe frigorifique 46 est configuré pour porter le fluide de refroidissement à une température inférieure à la température du fluide de refroidissement fourni par la source externe 43.

La connexion de la source externe 43 et de l'unité de stockage 44 à l'échangeur basse pression 36 et à l'échangeur moyenne pression 40 de la boucle fermée va maintenant être décrite, en référence à la figure 1.

La partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 est connectée à la source externe 43 par une conduite d'aménée 58 de fluide de refroidissement. La conduite

d'amenée 58 est propre à acheminer le fluide de refroidissement vers la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36.

5 En outre, la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 est connectée à la source externe 43 par une conduite d'évacuation 64 de fluide de refroidissement. La conduite d'évacuation 64 est propre à évacuer le fluide de refroidissement provenant de la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40.

En outre, l'unité de stockage 44 est reliée à la conduite d'amenée 58 au niveau d'un premier piquage 72. L'unité de stockage 44 est également reliée à la conduite d'évacuation 64 au niveau d'un deuxième piquage 74.

10 L'unité de refroidissement 22 comporte également des vannes 76 de fonctionnement en régime nominal, représentées sur la figure 1 par un symbole blanc plein, et disposées :

- au niveau de la conduite d'amenée 58, entre la source externe 43 et le premier piquage 72 ; et

15 - au niveau de la conduite d'évacuation 64, entre la source externe 43 et le deuxième piquage 74.

L'unité de refroidissement 22 comprend, en outre, des vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance, représentées sur la figure 1 par un symbole noir plein, et disposées :

20 - entre l'unité de stockage 44 et le premier piquage 72 ; et

- entre l'unité de stockage 44 et le deuxième piquage 74.

25 La première conduite d'amenée 58 comprend une pompe 48 disposée entre le premier piquage 72 et la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36, pour faire circuler du fluide de refroidissement depuis le premier piquage 72 vers la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36.

30 Le contrôleur 24 est configuré pour commander le fonctionnement du dispositif de refroidissement 22. En particulier, le contrôleur 24 est configuré pour commander le fonctionnement de la pompe 48, du groupe frigorifique 46, des vannes 76 de fonctionnement en régime nominal et des vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance.

Le contrôleur 24 est, de préférence, relié au réseau électrique 10 pour surveiller la puissance demandée par le réseau électrique 10.

Par exemple, le contrôleur 24 est configuré pour commander la circulation du fluide de refroidissement entre l'unité de stockage 44, l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 si la puissance demandée par le réseau électrique 10 est supérieure ou égale à un plafond de puissance prédéterminé. Un tel plafond est associé à un appel de puissance du réseau électrique 10.

Par exemple, le contrôleur 24 est configuré pour commander la mise en route du groupe frigorifique 46 à l'issue d'une durée prédéterminée après le début d'un fonctionnement en appel de puissance.

Par exemple, le contrôleur 24 est configuré pour commander la mise en route du groupe frigorifique 46 pendant une plage horaire prédéterminée, de préférence une plage horaire de consommation électrique inférieure ou égale à un plancher prédéterminé, par exemple inférieure ou égale à la consommation instantanée moyenne du réseau électrique 10. Avantageusement, le contrôleur 24 est également configuré pour commander la mise en route du groupe frigorifique 46 si la puissance demandée par le réseau électrique est inférieure ou égale à un seuil de puissance prédéterminé, par exemple inférieure ou égale à la consommation instantanée moyenne du réseau électrique 10.

Le fonctionnement du convertisseur 8 va maintenant être décrit.

En régime nominal, le réacteur nucléaire 12 produit de l'énergie thermique, et fonctionne à 100% de sa puissance nominale. Le fluide caloporteur prélève une partie de l'énergie thermique produite par le réacteur nucléaire 12 et circule dans la boucle fermée 20 en suivant un cycle de Brayton, ce qui a pour effet d'entraîner la turbine 26 en rotation. La turbine 26 entraîne l'alternateur 30 par le biais de l'arbre 28 pour produire de l'énergie électrique destinée à alimenter le réseau électrique 10.

Les vannes 76 de fonctionnement en régime nominal sont ouvertes, et les vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance sont fermées. La pompe 48 est en fonctionnement.

La partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 et la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 sont alimentées en fluide de refroidissement provenant de la source externe 43.

5 En outre, le contrôleur 24 surveille la puissance électrique demandée par le réseau électrique 10.

Si la puissance demandée par le réseau électrique 10 devient supérieure ou égale à un plafond de puissance prédéterminé, alors le contrôleur 24 commande l'interruption de l'alimentation de la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 et de la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 en fluide de refroidissement
10 provenant de la source externe 43, par exemple en commandant la fermeture des vannes 76 de fonctionnement en régime nominal.

En outre, le contrôleur 24 commande le dispositif de refroidissement 22 pour alimenter la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 et de la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 en fluide de refroidissement provenant de l'unité
15 de stockage 44. En particulier, le contrôleur 24 commande l'ouverture des vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance pour permettre à la pompe 48 de mettre en circulation le fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage 44 vers la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 puis vers la partie froide 40F de l'échangeur moyenne
pression 40, et de nouveau vers l'unité de stockage 44.

20 A l'issue de l'appel de puissance, par exemple à l'issue d'une durée prédéterminée après la commande de la circulation du fluide de refroidissement provenant de l'unité de stockage 44, le contrôleur 24 commande la fermeture des vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance. Le contrôleur 24 commande également l'ouverture
des vannes 76 de fonctionnement en régime nominal pour permettre l'alimentation de la
25 partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 et de la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 en fluide de refroidissement provenant de la source externe 43. Ceci a pour effet de réduire le rendement du cycle de Brayton, ce qui réduit la quantité d'énergie
électrique injectée sur le réseau électrique 10.

30 En outre, à l'issue de l'appel de puissance, le contrôleur 24 commande la mise en route du groupe frigorifique 46. Ceci a pour effet de prélever une partie de

l'énergie électrique produite par l'alternateur, ce qui réduit la quantité d'énergie électrique injectée sur le réseau électrique 10.

Avantageusement, le contrôleur 24 commande également la mise en route du groupe frigorifique 46 pendant la plage horaire prédéterminée. Ceci a pour effet
5 de refroidir le fluide de refroidissement stocké dans l'unité de stockage 44 durant les plages horaires où la puissance demandée par le réseau électrique est inférieure à la moyenne.

Avantageusement, le contrôleur 24 commande également la mise en route du groupe frigorifique 46 si la puissance demandée par le réseau électrique est inférieure ou égale à un seuil de puissance prédéterminé. Ceci a pour effet de refroidir le
10 fluide de refroidissement stocké dans l'unité de stockage 44 durant les périodes où la puissance demandée par le réseau électrique est inférieure à la moyenne.

Selon une variante, le fluide de refroidissement ayant circulé dans les parties froides 36F, 40F de l'échangeur basse pression 36 et de l'échangeur moyenne pression 40, respectivement, n'est pas acheminé vers l'unité de stockage 44, mais est
15 évacué vers une évacuation de fluide de refroidissement.

Une variante du convertisseur 8 est représentée sur la figure 2.

Le convertisseur 8 illustré par la figure 2 se distingue du convertisseur 8 de la figure 1 en ce que la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 est également connectée à la source externe 43 par une deuxième conduite d'évacuation 60 de fluide de
20 refroidissement. La deuxième conduite d'évacuation 60 est propre à évacuer le fluide de refroidissement provenant de la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36.

En outre, la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 est également connectée à la source externe 43 par une deuxième conduite d'amenée 62 de fluide de refroidissement. La deuxième conduite d'amenée 62 est propre à acheminer le
25 fluide de refroidissement vers la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40. En outre, la conduite d'évacuation 64 est propre à évacuer le fluide de refroidissement provenant de la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40.

Comme cela apparaît sur la figure 2, une conduite d'interconnexion 66 relie la deuxième conduite d'évacuation 60 à la deuxième conduite d'amenée 62. La
30 conduite d'interconnexion 66 est connectée, à l'une de ses extrémités, à la deuxième

conduite d'évacuation 60 par un troisième piquage 68, et, à l'autre de ses extrémités, à la deuxième conduite d'amenée 62 par un quatrième piquage 70.

L'unité de refroidissement 22 comporte également des vannes 76 de fonctionnement en régime nominal additionnelles, représentées sur la figure 2 par un symbole blanc plein, et disposées :

- au niveau de la deuxième conduite d'évacuation 60, entre la source externe 43 et le troisième piquage 68 ; et

- au niveau de la deuxième conduite d'amenée 62, entre la source externe 43 et le quatrième piquage 70.

L'unité de refroidissement 22 comprend, en outre, une vanne 78 de fonctionnement en appel de puissance additionnelle, représentée sur la figure 2 par un symbole noir plein, et disposée entre le troisième piquage 68 et le quatrième piquage 70.

En outre, la deuxième conduite d'amenée 62 comprend une deuxième pompe 48B disposée entre la source externe 43 et la vanne 76 de fonctionnement en régime nominal, pour faire circuler du fluide de refroidissement depuis la source externe 43 vers la vanne 76 de fonctionnement en régime nominal.

Le fonctionnement du convertisseur 8 représenté sur la figure 2 va maintenant être décrit.

En régime nominal, la pompe 48 et la deuxième pompe 48B sont toutes les deux actionnées.

En outre, en régime nominal, le contrôleur 24 commande les vannes 76 de fonctionnement en régime nominal pour qu'elles soient placées en position ouverte, c'est-à-dire dans une configuration permettant la circulation de fluide de refroidissement provenant de la source externe 43. Le contrôleur 24 commande également les vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance pour qu'elles soient placées en position fermée, c'est-à-dire une configuration empêchant la circulation de fluide de refroidissement provenant de l'unité de stockage 44. Dans ce cas, les parties froides 36F, 40F de l'échangeur basse pression 36 et de l'échangeur moyenne pression 40 respectivement sont alimentées en fluide de refroidissement provenant de la source externe 43.

Lors d'un appel de puissance, le contrôleur 24 commande les vannes 76 de fonctionnement en régime nominal pour qu'elles soient placées en position fermée. Le contrôleur 24 commande également les vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance pour qu'elles soient placées en position ouverte. Dans ce cas, les parties froides 36F, 40F de l'échangeur basse pression 36 et de l'échangeur moyenne pression 40 sont alimentées en fluide de refroidissement provenant du dispositif de refroidissement 22.

En outre, lors de l'appel de puissance, le contrôleur 24 commande l'arrêt de la pompe 48B.

Le recours à des vannes pour le passage d'un mode de fonctionnement à l'autre confère une plus grande réactivité par rapport à l'usage de pompes uniquement.

En outre, l'arrêt de la deuxième pompe 48B lors d'un appel de puissance fournit instantanément davantage de courant électrique.

Selon une autre variante, illustrée par la figure 3, le circuit fermé 20 comporte également un échangeur basse pression principal 86 et un échangeur moyenne pression principal 90.

Chacun parmi l'échangeur basse pression principal 86 et l'échangeur moyenne pression principal 90 présente, par exemple, une structure similaire à la structure de l'échangeur basse pression 36 et à la structure de l'échangeur moyenne pression 40 respectivement.

Chacun parmi l'échangeur basse pression principal 86 et l'échangeur moyenne pression principal 90 comporte une partie froide, notée respectivement 86F, 90F, et une partie chaude, notée respectivement 86C, 90C.

La partie chaude 86C de l'échangeur basse pression principal 86 est connectée entre la partie chaude 34C du récupérateur de chaleur et la partie chaude 36C de l'échangeur basse pression 36.

En outre, la partie chaude 90C de l'échangeur moyenne pression principal 90 est connectée entre le compresseur basse pression 38 et la partie chaude 40C de l'échangeur moyenne pression 40.

En outre, chacune parmi la partie froide 86F de l'échangeur basse pression principal 86 et la partie froide 90F de l'échangeur basse pression principal 90 est directement reliée à la source externe 43 pour être alimentée en fluide de refroidissement.

5 La partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36, la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40 et le dispositif de refroidissement 22 sont reliés entre eux de façon analogue au mode de réalisation de la figure 1, les vannes 78 de fonctionnement en appel de puissance n'étant pas requises.

10 Une première pompe 92A est configurée pour faire circuler du fluide de refroidissement entre le dispositif de refroidissement 22, la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 et la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40.

Une deuxième pompe 92B est configurée pour faire circuler du fluide de refroidissement entre la source externe 43 et la partie froide 86F de l'échangeur basse pression principal 86.

15 Une troisième pompe 92C est configurée pour faire circuler du fluide de refroidissement entre la source externe 43 et la partie froide 90F de l'échangeur moyenne pression principal 90.

En fonctionnement, la deuxième pompe 92B et la troisième pompe 92C sont en marche.

20 En régime nominal, le contrôleur 24 commande la première pompe 92A pour que la première pompe 92A soit à l'arrêt.

Lors d'un appel de puissance, le contrôleur 24 commande la mise en route de la première pompe 92A.

25 Une telle configuration a pour intérêt d'être beaucoup moins consommatrice en fluide de refroidissement issu du dispositif de refroidissement 22, lors d'un appel de puissance. Par exemple, des simulations montrent une réduction de la consommation en fluide de refroidissement issu du dispositif de refroidissement 22 d'un facteur 6,5 par rapport au mode de réalisation de la figure 2.

Selon une autre variante, le circuit fermé 20 est similaire au circuit fermé 20 de la figure 3, à l'exception de l'absence de l'un parmi l'échangeur basse pression 36 et

l'échangeur moyenne pression 40. Dans ce cas, l'autre parmi l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 est directement relié à l'unité de stockage 44.

Selon une autre variante, le dispositif de refroidissement 22 est similaire au dispositif de refroidissement 22 de la figure 3, à l'exception de l'absence de la pompe 92A, remplacée par une vanne 78 de fonctionnement en appel de puissance. Dans ce cas, l'unité de stockage 44 est séparée en une partie froide et une partie chaude distinctes.

La partie froide est située géographiquement au-dessus des échangeurs 36, 40. La partie froide comprend une conduite d'amenée de fluide de refroidissement vers la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36, destinée à permettre la circulation par gravité du fluide de refroidissement vers les échangeurs 36, 40 lorsque la vanne 78 de fonctionnement en appel de puissance est ouverte.

La partie chaude est située géographiquement au-dessous de la partie froide de l'unité de stockage 44. La partie chaude comprend une conduite d'évacuation de fluide de refroidissement depuis la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40. Le groupe frigorifique 46 est agencé au niveau de la partie chaude de l'unité de stockage 44 pour abaisser la température du fluide de refroidissement présent dans la partie chaude. La partie chaude comprend également une pompe de relevage propre à remonter le fluide de refroidissement, préalablement refroidi par le groupe frigorifique 46, vers la partie froide de l'unité de stockage 44.

Une telle configuration a pour intérêt de faire fonctionner la pompe de relevage en dehors des périodes d'appel de puissance et ainsi de supprimer la consommation électrique ainsi que la problématique technique du démarrage rapide de la pompe 92A du convertisseur 8 de la figure 3 lors des appels de puissance.

Selon une autre variante, le dispositif de refroidissement 22 est similaire au dispositif de refroidissement 22 de la figure 3, à l'exception de la conduite d'interconnexion 66 remplacée par une nouvelle conduite d'évacuation permettant d'évacuer le fluide de refroidissement de la partie froide 36F de l'échangeur basse pression 36 vers l'unité de stockage 44 ainsi que par une nouvelle conduite d'amenée permettant d'acheminer le fluide de refroidissement de l'unité de stockage 44 vers la partie froide 40F de l'échangeur moyenne pression 40.

Une telle configuration a pour intérêt un gain de flexibilité lors des appels de puissance et une répartition plus homogène de l'apport de froid dans le circuit fermé 20.

5 Selon une autre variante, le convertisseur 8 diffère du convertisseur 8 de la figure 3 uniquement en ce que chacun parmi l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 est directement relié à l'unité de stockage 44, l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 étant indépendants l'un de l'autre.

10 Dans ce cas, chacun parmi l'échangeur basse pression 36 et l'échangeur moyenne pression 40 est associé à une pompe respective pour assurer son alimentation en fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage 44 lors d'un appel de puissance. Alternativement, une alimentation en fluide de refroidissement par gravité, ou de fluide de refroidissement pressurisé, tel que décrite précédemment, est envisageable.

15 Une telle configuration apporte une plus grande flexibilité lors des appels de puissance.

Selon une autre variante, illustrée schématiquement par la figure 4, une pluralité de compresseurs 94 sont couplés à l'arbre 28 pour être entraînés en rotation par l'arbre 28.

20 Dans ce cas, chaque compresseur 94 est associé à un échangeur 96 et à un échangeur principal 98.

L'échangeur 96 et l'échangeur principal 98 comprennent chacun une partie froide, respectivement notée 96F et 98F, et une partie chaude, respectivement notée 96C et 98C.

25 La partie chaude 96C de l'échangeur 96 est connectée entre le compresseur 94 et la partie chaude 98C de l'échangeur principal 98.

La partie chaude 98C de l'échangeur principal 98 est connectée entre la partie chaude 96C de l'échangeur 96 et un compresseur précédent.

30 Par « compresseur précédent », il est entendu, au sens de la présente invention, un compresseur qui est couplé à l'arbre 28 en une zone plus proche de la turbine 26 que le compresseur 94 considéré, c'est-à-dire un compresseur disposé, dans le circuit

fermé 20, en amont, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, du compresseur 94 considéré.

En outre, la partie froide 98F de l'échangeur principal 98 est reliée à la source externe 43 de la même façon que les parties froides 86F, 90F de l'échangeur basse
5 pression principal 86 et de l'échangeur moyenne pression principal 90, respectivement.

La partie froide 96F de l'échangeur 96 est connectée entre une partie froide d'un échangeur associé à un compresseur précédent, et une partie froide d'un échangeur associé à un compresseur suivant, s'il existe, sinon à l'unité de stockage 44.

Par « compresseur suivant », il est entendu, au sens de la présente
10 invention, un compresseur qui est couplé à l'arbre 28 en une zone plus éloignée de la turbine 26 que le compresseur 94 considéré, c'est-à-dire un compresseur disposé, dans le circuit fermé 20, en aval, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, du compresseur 94 considéré.

Le fonctionnement du convertisseur 8 de la figure 4 est similaire au
15 fonctionnement du convertisseur 8 de la figure 3.

Une telle variante présente l'avantage de minimiser les écarts de température entre une entrée et une sortie de chaque compresseur 94.

En outre, les variantes envisagées par rapport au circuit fermé 20 de la figure 3 s'envisagent également par rapport au circuit fermé 20 de la figure 4.

20 L'échangeur basse pression 36, l'échangeur moyenne pression 40 et l'échangeur 96 sont également appelés « échangeurs ».

L'échangeur basse pression principal 86, l'échangeur moyenne pression principal 90 et l'échangeur principal 98 sont également appelés « échangeurs principaux ».

25 La turbine 26, le compresseur basse pression 38, le compresseur moyenne pression 42 et le compresseur 94 sont également appelés « organes aubagés ».

REVENDEICATIONS

1. Convertisseur (8) destiné à convertir une énergie thermique fournie par un réacteur nucléaire (12) en énergie électrique destinée à alimenter un réseau électrique (10), selon une conversion suivant un cycle de Brayton, le convertisseur (8) comportant un circuit fermé (20) de circulation d'un fluide-caloporteur selon un sens de circulation prédéterminé,

le circuit fermé (20) comprenant un échangeur sodium-gaz (32) comportant une partie chaude (32C) destinée à transmettre l'énergie thermique fournie par le réacteur nucléaire (12) au fluide caloporteur circulant à travers une partie froide (32F) de l'échangeur sodium-gaz (32) pour élever la température du fluide caloporteur ;

le circuit fermé (20) comprenant, en outre, des organes aubagés (26, 38, 42, 94) couplés mutuellement par un arbre (28), et des échangeurs (36, 40, 96), les organes aubagés (26, 38, 42, 94) et les échangeurs (36, 40, 96) étant connectés en série dans le circuit fermé (20),

chaque échangeur (36, 40, 96) comprenant une partie chaude (36C, 40C, 96C) propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de l'organe aubagé (26, 38, 42, 94) précédent dans le circuit fermé (20) par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, chaque échangeur (36, 40, 96) comportant également une partie froide (36F, 40F, 96F) configurée pour permettre la circulation d'un fluide de refroidissement destiné à refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude (36C, 40C, 96C) de l'échangeur (36, 40, 96) par échange de chaleur entre la partie chaude (36C, 40C, 96C) et la partie froide (36F, 40F, 96F) de l'échangeur (36, 40, 96) ;

les organes aubagés comprenant :

- une turbine (26) propre à permettre la détente du fluide caloporteur circulant à travers la turbine (26) et reçu en provenance de la partie froide (32F) de l'échangeur sodium-gaz (32), la turbine (26) étant propre à entraîner l'arbre (28) en rotation ;

- au moins un compresseur (38, 42, 94), chaque compresseur (38, 42, 94) étant associé à un échangeur (36, 40, 96) correspondant disposé en amont par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, chaque compresseur (38, 42, 94) étant configuré pour comprimer le fluide caloporteur circulant à travers le compresseur (38, 42, 94) et reçu en provenance de la partie chaude (36C, 40C, 96C) de l'échangeur (36, 40, 96) correspondant ;

le convertisseur (8) comportant également un alternateur (30) destiné à produire de l'énergie électrique lors de sa mise en rotation, l'alternateur (30) étant couplé à la turbine (26) par l'arbre (28) pour être entraîné en rotation,

le convertisseur (8) comportant, en outre, un dispositif de refroidissement (22) comprenant une unité de stockage (44), un groupe frigorifique (46) et une pompe (48 ; 92A), l'unité de stockage (44) étant destinée à stocker le fluide de refroidissement, le groupe frigorifique (46) étant configuré pour refroidir le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage (44), la pompe (48 ; 92A) du dispositif de refroidissement (22) étant configurée pour alimenter la partie froide (36F, 40F, 96F) d'au moins un parmi les échangeurs (36, 40, 96) en fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage (44),

le convertisseur (8) comportant également un contrôleur (24) configuré pour commander l'alimentation de la partie froide (36F, 40F, 96F) de l'au moins un parmi les échangeurs (36, 40, 96) en fluide de refroidissement depuis l'unité de stockage (44) en cas de détection d'un appel de puissance électrique en provenance du réseau électrique (10).

2. Convertisseur (8) selon la revendication 1, dans lequel le groupe frigorifique (46) est électrique, l'alternateur (30) étant destiné à alimenter le groupe frigorifique (46) en énergie électrique pour permettre le fonctionnement du groupe frigorifique (46).

3. Convertisseur (8) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le circuit fermé (20) comprend au moins deux échangeurs (36, 40, 96) pour lesquels la partie froide (40F, 96F) de l'échangeur (40, 96) situé le plus en aval, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, est reliée à la partie froide (36F, 40F) de l'échangeur (36, 40) situé
5 immédiatement en amont, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, pour recevoir le fluide de refroidissement, issu de l'unité de stockage (44), depuis la partie froide (36F, 40F) de l'échangeur (36, 40) situé immédiatement en amont.

4. Convertisseur (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans
10 lequel le circuit fermé (20) comporte, en outre, au moins un échangeur principal (86, 90, 98), chaque échangeur principal (86, 90, 98) étant associé à un compresseur (38, 42, 94),
pour chaque compresseur (38, 42, 94), l'échangeur principal (86, 90, 98) correspondant étant connecté en amont, par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur, de l'échangeur (36, 40, 96) associé au compresseur (38, 42, 94),

15 chaque échangeur principal (86, 90, 98) comprenant une partie chaude (86C, 90C, 98C) propre à permettre la circulation du fluide caloporteur reçu en provenance de l'organe aubagé (26, 38, 42, 94) précédent dans le circuit fermé (20) par rapport au sens de circulation du fluide caloporteur,

20 chaque échangeur principal (86, 90, 98) comportant également une partie froide (86F, 90F, 98F) destinée à recevoir du fluide de refroidissement en provenance d'une source externe (43) de fluide de refroidissement, distincte de l'unité de stockage (44), pour refroidir le fluide caloporteur circulant dans la partie chaude (86C, 90C, 98C) de l'échangeur principal (86, 90, 98) par échange de chaleur entre la partie chaude (86C, 90C, 98C) et la partie froide (86F, 90F, 98F) de l'échangeur principal (86, 90, 98).

25 5. Convertisseur (8) selon la revendication 4, dans lequel le groupe frigorifique (46) est configuré pour porter le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage (44) à une température inférieure à la température du fluide de refroidissement en provenance de la source externe (43).

6. Convertisseur (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le groupe frigorifique (46) est adapté pour porter le fluide de refroidissement présent dans l'unité de stockage (44) à une température inférieure ou égale à 15°C, de préférence inférieure ou égale à 10°C, avantageusement inférieure ou égale à 5°C, par exemple inférieure ou égale à 0°C.

7. Centrale nucléaire (2) comportant un réacteur nucléaire (12) configuré pour produire de l'énergie thermique, et un convertisseur (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le convertisseur (8) étant configuré pour convertir l'énergie thermique produite par le réacteur nucléaire (12) en énergie électrique.

8. Procédé de conversion au moyen d'un convertisseur (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comportant les étapes de :

- surveillance de la puissance demandée par le réseau électrique (10) ;
- alimentation de la partie froide (36F, 40F, 96F) de l'au moins un parmi les échangeurs (36, 40, 96) en fluide de refroidissement issu de l'unité de stockage (44) si la puissance demandée par le réseau électrique (10) est supérieure ou égale à un plafond de puissance prédéterminé.

9. Procédé selon la revendication 8, comportant la mise en route du groupe frigorifique (46) à l'issue d'une durée prédéterminée après l'étape d'alimentation.

10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, comportant la mise en route du groupe frigorifique (46) pendant une plage horaire prédéterminée.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, comportant la mise en route du groupe frigorifique (46) si la puissance demandée par le réseau électrique (10) est inférieure ou égale à un seuil de puissance prédéterminé.

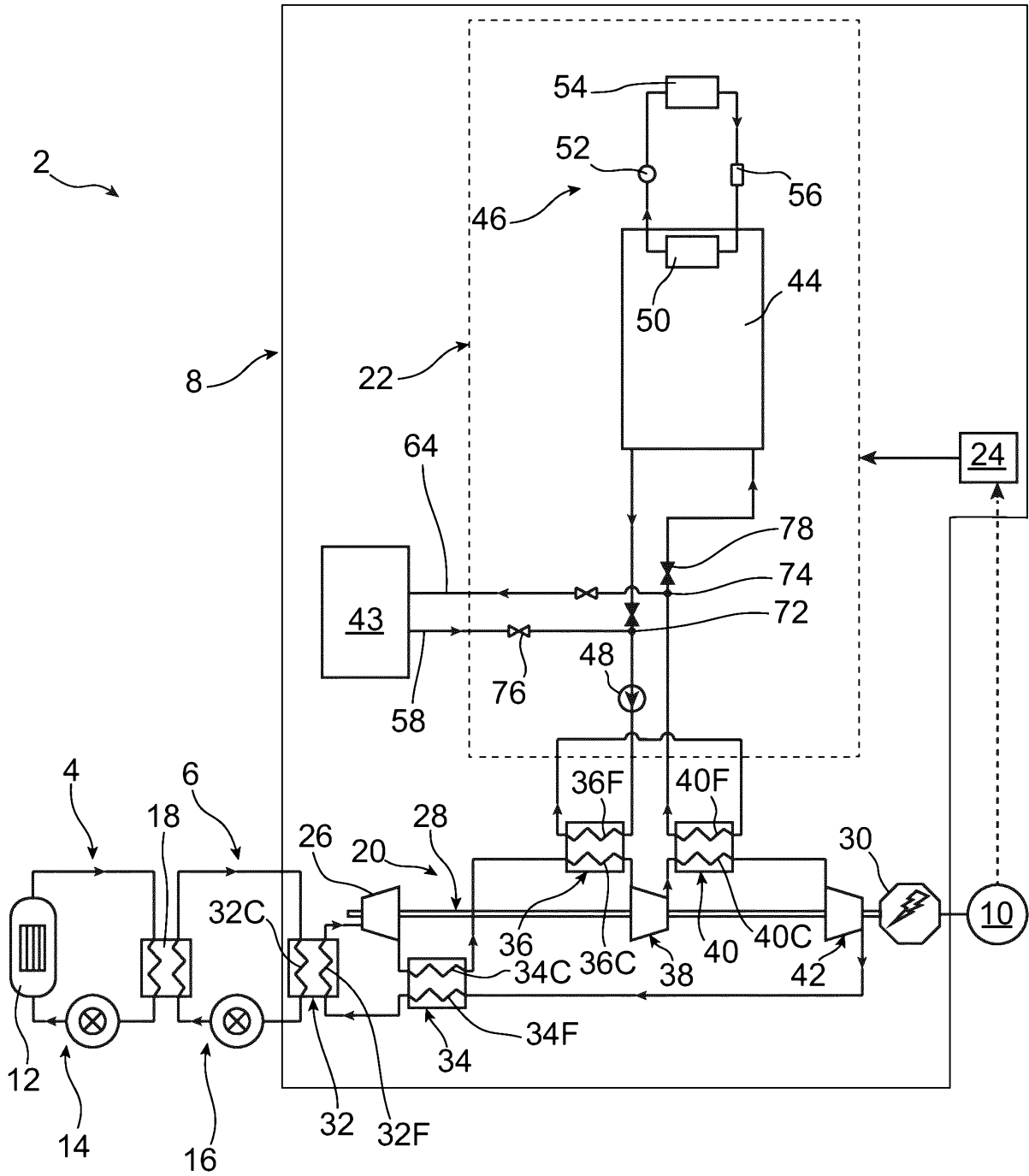


FIG. 1

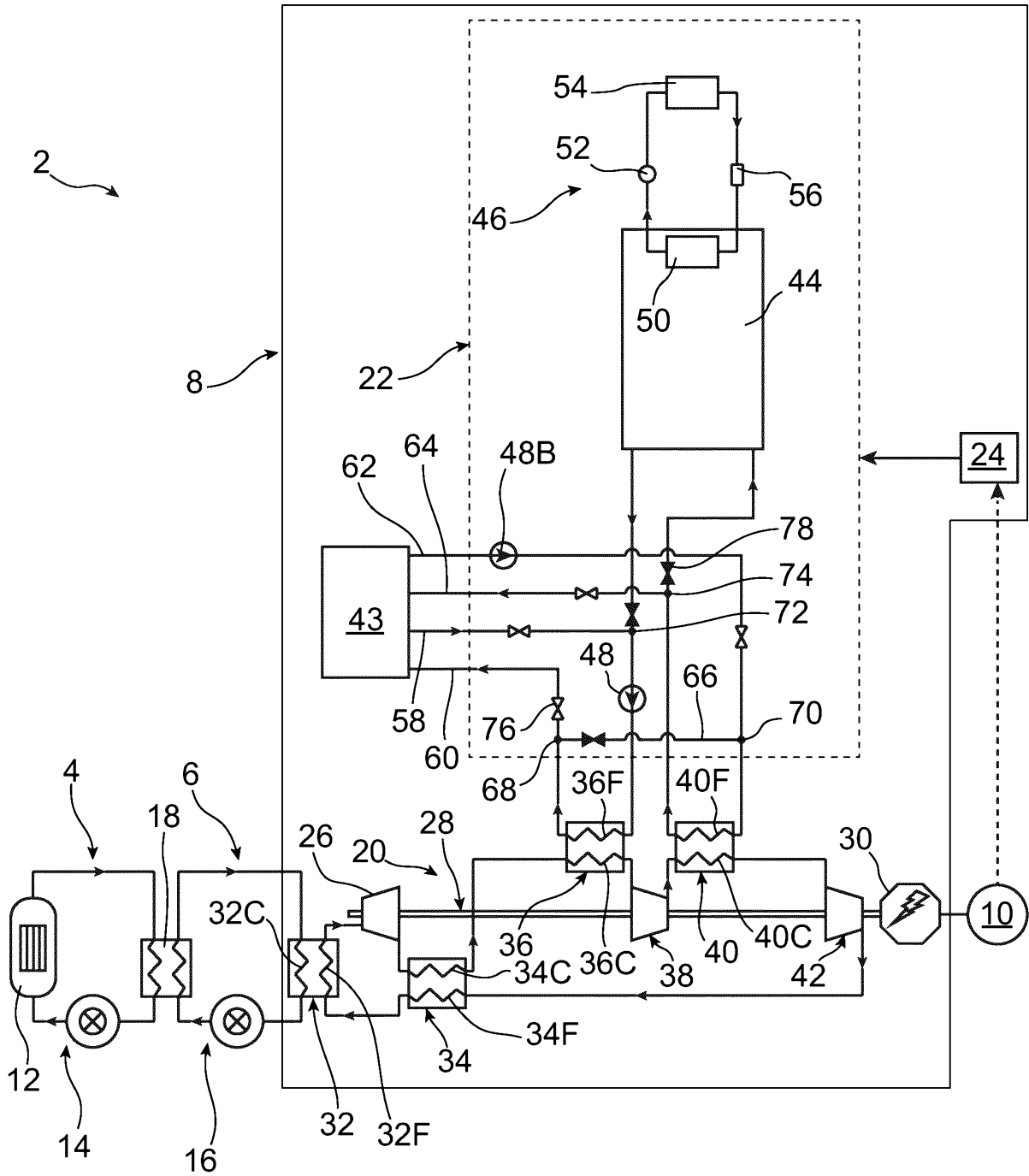


FIG. 2

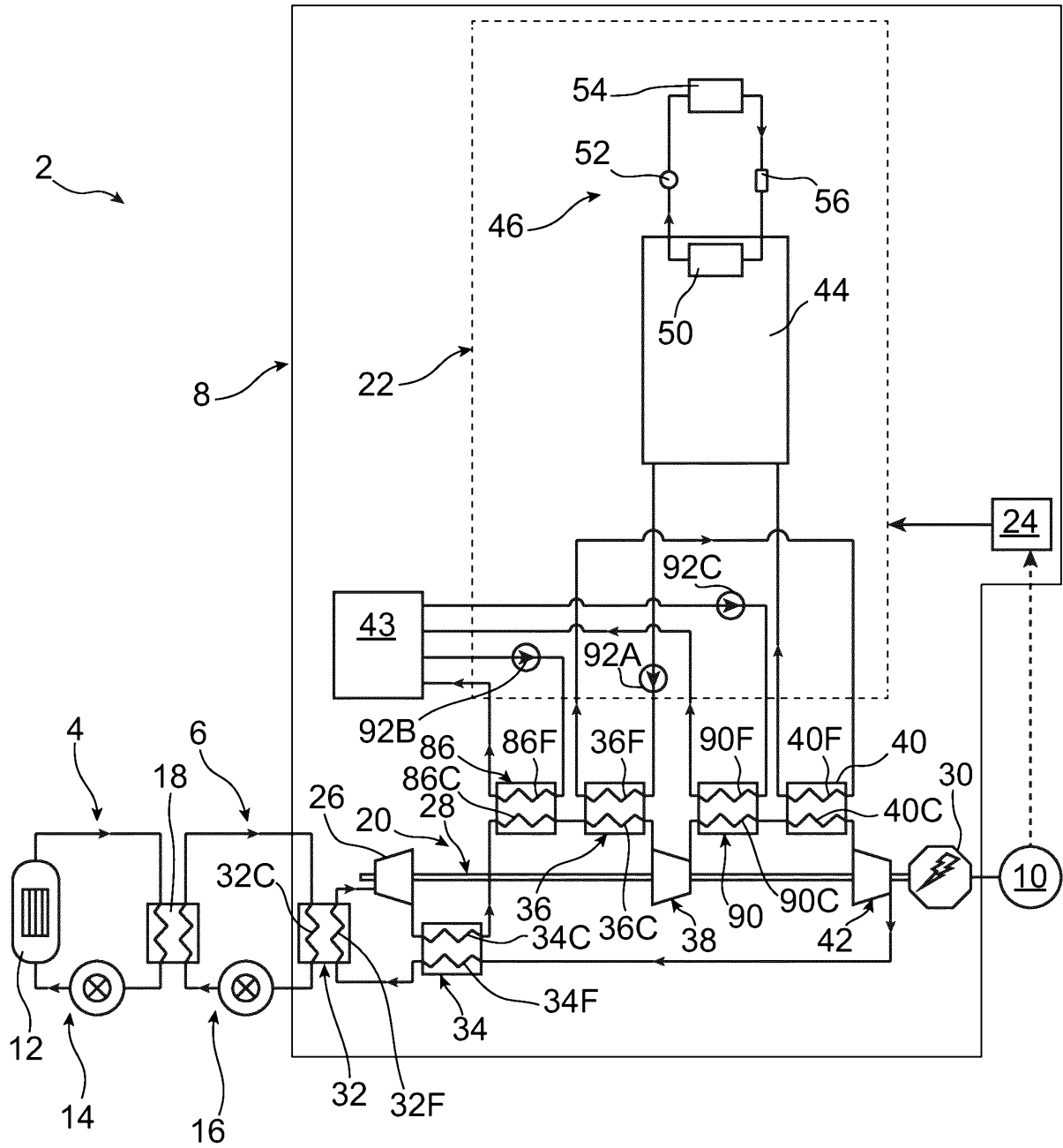


FIG. 3

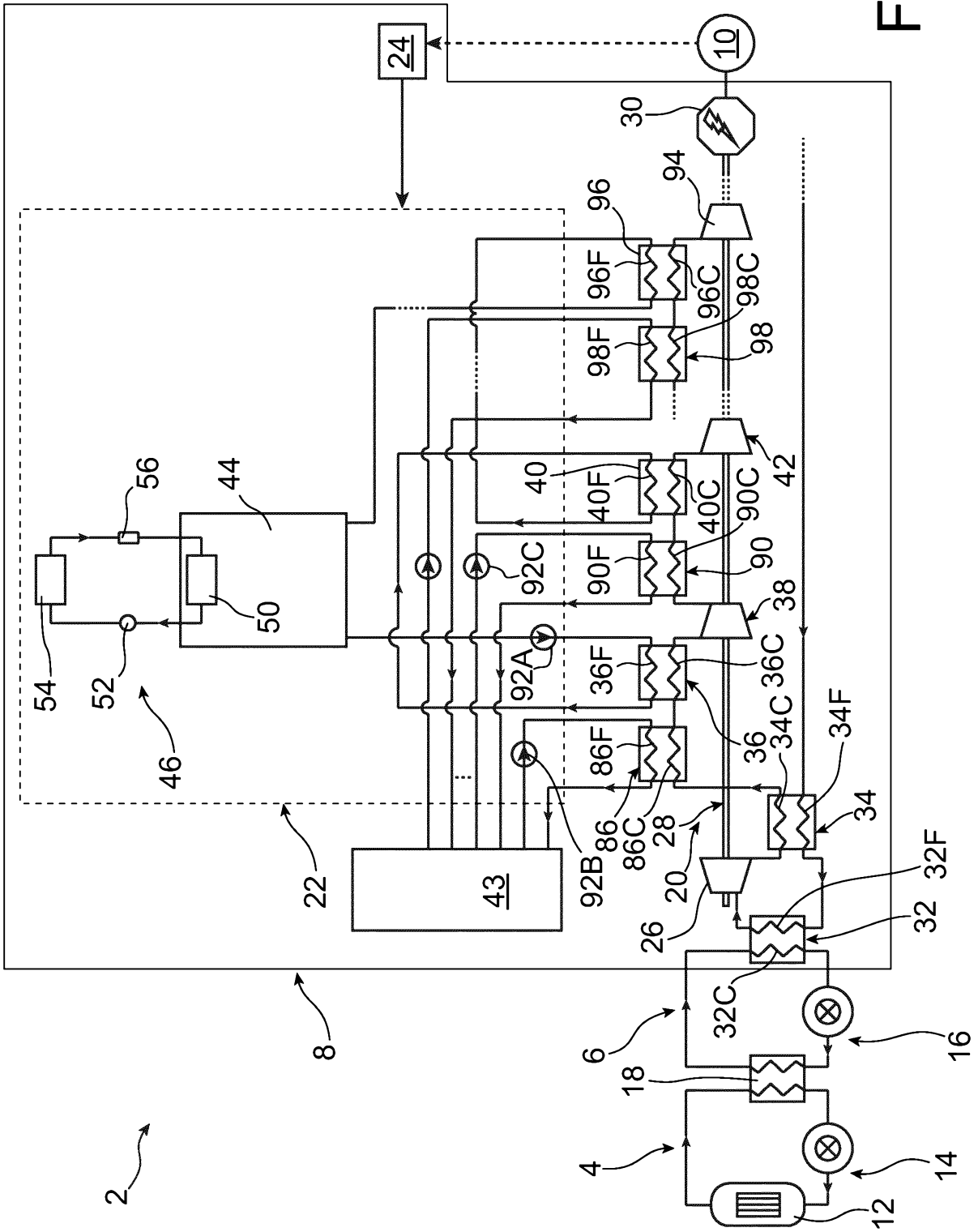


FIG. 4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2016/319749 A1 (LAFFONT PATRICK [FR]) 3 novembre 2016 (2016-11-03)

GB 1 275 754 A (ROLLS ROYCE) 24 mai 1972 (1972-05-24)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT