

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international

(43) Date de la publication internationale  
20 février 2025 (20.02.2025)



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2025/036664 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
F04D 31/00 (2006.01) F04D 29/54 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2024/070957

(22) Date de dépôt international :  
24 juillet 2024 (24.07.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2308750 17 août 2023 (17.08.2023) FR

(71) Déposant : IFP ENERGIES NOUVELLES [FR/FR] ; 1  
et 4 avenue de Bois Préau, 92500 RUEIL-MALMAISON  
(FR).

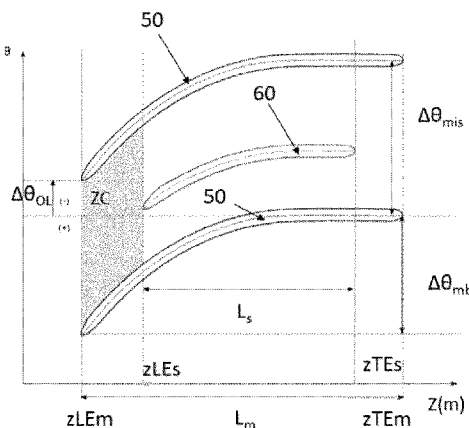
(72) Inventeurs : MOENNE LOCCOZ, Victor ; IFP Ener-  
gies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852 RUEIL-  
MALMAISON CEDEX (FR). MARTINEZ ALVARA-  
DO, Luis Enrique ; IFP Energies nouvelles, 1 et 4 ave-  
nue de Bois Préau, 92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX  
(FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,  
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,  
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,  
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,  
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(54) Title: STATOR FOR A PUMP COMPRISING MAIN BLADES AND SECONDARY BLADES

(54) Titre : STATOR POUR POMPE COMPRENANT DES PALES PRINCIPALES ET DES PALES SECONDAIRES

[Fig 5]



(57) Abstract: The invention relates to a pump stator comprising a hub and a casing which are coaxial about a longitudinal axis, an axial inlet and an axial outlet, a first series of main blades (50) and a second series of secondary blades (60), the generatrices of the main (50) and secondary (60) blades extending substantially axially, the secondary blades (60) being inserted circumferentially between the main blades (50), the leading edges of the main blades (50) being on a single first transverse plane. Moreover, the leading edges of the secondary blades (60) are positioned on a second transverse plane parallel to the first transverse plane, at a first predetermined distance from the first transverse plane, in the direction of the axial outlet, the first predetermined distance being between 0.1 and 0.3 times the axial length (Lm) of the main blades (50). The invention also relates to a pump with such a stator.

(57) Abrégé : L'invention concerne un stator de pompe comprenant un moyeu et un carter coaxiaux autour d'un axe longitudinal, une entrée axiale et une sortie axiale, une première série de pales principales (50) et une deuxième série de pales secondaires (60), les génératrices des pales principales (50) et secondaires (60) s'étendant sensiblement axialement, les pales secondaires (60) étant intercalées

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,  
ZA, ZM, ZW.

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

**Publiée:**

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

---

circonférentiellement entre les pales principales (50), les bords d'attaque des pales principales (50) étant sur un même premier plan transverse. De plus, les bords d'attaque des pales secondaires (60) sont positionnés sur un deuxième plan transverse parallèle au premier plan transverse, à une première distance prédéterminée du premier plan transverse, en direction de ladite sortie axiale, la première distance prédéterminée étant comprise entre 0,1 et 0,3 fois la longueur axiale (Lm) des pales principales (50). L'invention concerne également une pompe avec un tel stator.

## STATOR POUR POMPE COMPRENANT DES PALES PRINCIPALES ET DES PALES SECONDAIRES

### Domaine technique

L'invention concerne le domaine des dispositifs de compression ou de pompage de fluides et  
5 elle concerne plus particulièrement un stator d'un dispositif de compression ou de pompage  
de fluides.

Un dispositif de compression comprend généralement un ou plusieurs étages de  
compression. Chaque étage de compression comprend au moins une partie mobile avec une  
10 roue tournante (cette partie mobile est également appelée « rotor » ou « impulseur ») et au  
moins une partie fixe, un redresseur (également appelé « stator » ou « diffuseur »). Ces  
éléments peuvent être mis en place au sein d'un carter du dispositif de compression.

Le stator est placé en aval d'une roue tournante et a pour rôle de redresser l'écoulement du  
fluide sortant de la roue, l'écoulement étant entraîné en rotation par la roue tournante. Son  
15 but est de pouvoir alimenter l'étage de compression suivant (une autre roue tournante en  
aval du stator) ou d'utiliser le flux de fluide directement. Le stator sert à convertir l'énergie  
cinétique du fluide en énergie potentielle. Pour cela, le stator comprend généralement des  
pales.

Le stator est statique, c'est-à-dire fixe par rapport à l'enveloppe externe du dispositif de  
20 compression, alors que les roues tournantes sont mobiles en rotation autour d'un axe  
longitudinal. Le but de ces roues tournantes est d'augmenter l'énergie cinétique et l'énergie  
potentielle du fluide. Elles sont généralement fixées à un arbre rotatif et comprennent  
généralement des aubes.

25 Plus particulièrement, l'invention concerne une pompe et un stator de pompe destinés à  
pomper un fluide compressible, notamment du CO<sub>2</sub>.

### Technique antérieure

La figure 1 est issue de la demande de brevet US2018/106270 AA. Elle montre un exemple  
30 de pompe multiphasique comprenant au moins un ou plusieurs étages de compression (la  
figure 1 ne montre qu'un seul étage), chaque étage comprenant une roue tournante 1 et un  
stator 2. Les roues tournantes sont fixées au moyeu 10. Les roues tournantes 1 peuvent  
comprendre une pluralité de pales 3 et les stators 2 peuvent comprendre une pluralité de  
pales 4. Dans cette figure, le sens de l'écoulement du fluide est représenté par une flèche S.  
35 En raison de la forme géométrique de certains dispositifs de compression, l'écoulement peut  
former, avec l'axe de rotation du dispositif, un très grand angle à la sortie dynamique de la

roue tournante (par exemple, de l'ordre de 60 degrés à 70 degrés). La géométrie des stators cherche à limiter l'angle résiduel en sortie du stator, avec l'axe de rotation du dispositif.

La demande de brevet US2018/106270 AA concerne un stator de pompe. Le stator peut être en deux parties successives, situées axialement l'une derrière l'autre et séparées par une

Toutefois, l'espace formé entre les pales amont de la partie amont du stator et les pales aval de la partie aval du stator génère des pertes de performances importantes.

La demande de brevet CN 115 388 038 A concerne un stator d'un compresseur centrifuge avec une entrée radiale et une sortie axiale. Le stator comprend deux séries de pales.

Le but de l'invention est de chercher à améliorer les performances du stator d'une pompe, telle qu'une pompe polyphasique, où le flux de fluide se dirige essentiellement axialement le long de la pompe et du stator, en limitant notamment les phénomènes de décollement, et ce plus particulièrement pour les fluides compressibles, tel que le CO<sub>2</sub>.

### Résumé de l'invention

L'invention concerne un stator de pompe comprenant un moyeu et un carter coaxiaux autour d'un axe longitudinal, une entrée axiale pour l'introduction d'un fluide dans le stator et une sortie axiale pour l'évacuation du fluide du stator, une première série de pales principales et une deuxième série de pales secondaires, lesdites pales principales et secondaires s'étendant radialement du moyeu au carter, les génératrices des pales principales et secondaires s'étendant sensiblement axialement, les pales secondaires étant intercalées circonférentiellement entre les pales principales, les bords d'attaque des pales principales étant sur un même premier plan transverse. En outre, les bords d'attaque des pales secondaires sont positionnés sur un deuxième plan transverse parallèle au premier plan transverse, le deuxième plan transverse étant positionné axialement à une première distance prédéterminée du premier plan transverse, en direction de ladite sortie axiale, la première distance prédéterminée étant comprise entre 0,1 et 0,3 fois, de préférence entre 0,15 et 0,25 fois, la longueur axiale des pales principales.

De préférence, la longueur axiale des pales secondaires est inférieure ou égale à ladite longueur axiale des pales principales.

De manière avantageuse, les bords de fuite des pales secondaires forment un troisième plan transverse positionné à une deuxième distance prédéterminée d'un quatrième plan transverse formé par les bords de fuite des pales principales, la deuxième distance prédéterminée étant comprise entre -0,3 fois et +0,3 fois, de préférence entre -0,1 fois et

+0,1 fois, ladite longueur axiale des pales principales, de préférence, la deuxième distance prédéterminée est nulle.

Avantageusement, les pales secondaires sont décalées, dans la direction circonférentielle, des pales principales les précèdent directement dans la direction circonférentielle, d'un angle  
5 compris entre 0,2 et 0,5 fois, de préférence entre 0,25 et 0,35 fois, le décalage angulaire circonférentiel des pales principales.

Préférentiellement, le rapport entre la section de la sortie axiale et la section de l'entrée axiale de fluide est compris entre 0,5 et 2,5, de préférence entre 0,5 et 1,5.

Selon une configuration avantageuse de l'invention, le rapport entre ladite longueur axiale  
10 des pales principales et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales est compris entre 0,36 et 1,80, de préférence entre 0,65 et 1,64.

Selon une variante préférée de l'invention, le diamètre externe des pales principales et/ou secondaires décroît de l'entrée axiale vers la sortie axiale.

Avantageusement, le diamètre interne des pales principales et/ou secondaires décroît de  
15 l'entrée axiale vers la sortie axiale.

Préférentiellement, les pales principales sont décalées deux à deux successivement dans la direction circonférentielle d'un écart angulaire circonférentiel  $\Delta\theta_{mis}$  vérifiant sensiblement :

$$\Delta\theta_{mis} = (1 - OL) \cdot \Delta\theta_{mb}$$

$$OL = a * ALR + b$$

20 Avec  $\Delta\theta_{mb}$  l'écart angulaire circonférentiel des pales principales, correspondant sensiblement à l'écart angulaire circonférentiel généré entre le bord d'attaque et le bord de fuite de chaque pale principale ;

$ALR$  : le rapport entre ladite longueur axiale des pales principales et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales

25 et  $a$  et  $b$  étant des valeurs prédéterminées.

L'invention concerne également une pompe, de préférence polyphasique, la pompe comprenant une enveloppe externe, une succession axiale de parties fixes et de parties rotatives à l'intérieur de l'enveloppe externe, une première ouverture d'entrée axiale pour l'entrée d'un fluide dans la pompe et une deuxième ouverture de sortie axiale pour la sortie  
30 du fluide de la pompe. Au moins une partie fixe comprend un stator tel que décrit précédemment, de préférence l'enveloppe externe correspondant au carter du stator.

De préférence, l'enveloppe externe comprend au moins une portion avec une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide axialement à travers la pompe et préférentiellement, l'enveloppe externe comprend plusieurs  
35 portions avec, chacune, une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide axialement à travers la pompe.

**Liste des figures**

D'autres caractéristiques et avantages du stator et/ou de la pompe selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

5

La figure 1 (déjà décrite) représente un exemple de pompe polyphasique selon l'art antérieur.

La figure 2 illustre un premier exemple de pompe selon l'invention.

10

La figure 3 illustre un deuxième exemple de pompe selon l'invention.

La figure 4 illustre une vue dans un plan longitudinal d'un stator de pompe selon l'invention.

15 La figure 5 illustre une vue développée le long de la direction circonférentielle d'un stator de pompe avec certains paramètres selon l'invention.

La figure 6 illustre une vue développée le long de la direction circonférentielle d'un stator de pompe avec des paramètres additionnels à ceux de la figure 5 selon l'invention.

20

La figure 7 illustre une courbe de performance en fonction du décalage axial du bord d'attaque des pales secondaires par rapport au bord d'attaque des pales principales, d'un stator de pompe selon l'invention.

25 La figure 8 illustre une courbe de performance en fonction du décalage angulaire circonférentiel du bord d'attaque des pales secondaires par rapport au bord d'attaque des pales principales, d'un stator de pompe selon l'invention.

30 La figure 9 illustre en schéma a), les profils des moyeux et carter du stator de la pompe, le long de l'axe longitudinal, et en schéma b) le profil des pales, sur les parties en liaison avec le moyeu et avec le carter.

La figure 10 illustre une comparaison des champs de vitesse axiale d'un stator de l'art antérieur (a)) et de l'invention (b)) dans un plan longitudinal.

35

**Description des modes de réalisation**

Les termes « axial » et « axialement » signifient généralement le long ou parallèlement à un axe longitudinal, tandis que les termes « radial » et « radialement » signifient généralement perpendiculairement à l'axe longitudinal. Par exemple, une longueur axiale fait référence à une distance mesurée le long ou parallèlement à l'axe longitudinal, et une longueur radiale correspond à une distance mesurée radialement, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe longitudinal. L'utilisation de « haut », « bas », « au-dessus », « en dessous » et des variantes de ces termes est faite pour des raisons de commodité, en référence aux figures, sans préjuger de leur positionnement spatial en conditions d'utilisation, et ne nécessite aucune orientation particulière des composants.

Dans le présent document, le terme « dispositif de compression de fluide » désigne les compresseurs et les pompes destinés respectivement à comprimer ou à pomper un fluide. Ces dispositifs peuvent être des dispositifs de surface, sous-marins ou de fond (c'est-à-dire dans des formations souterraines).

Les termes « amont » et « aval » s'entendent dans le sens de l'écoulement du fluide passant dans le stator ou dans la pompe.

Le bord d'attaque est le bord de la pale qui fait face au fluide. Ainsi, il sépare le fluide qui arrive en amont de la pale en deux flux, un qui passe d'un côté de la pale (à l'extrados par exemple) et l'autre qui passe sur le côté opposé (à l'intrados par exemple).

Le bord de fuite est le bord de la pale qui est à l'opposé du bord d'attaque. Au niveau du bord de fuite, les deux écoulements séparés par le bord d'attaque peuvent à nouveau se mélanger pour former un flux unique. En d'autres termes, le bord d'attaque est à l'extrémité amont de la pale et le bord de fuite est à l'extrémité aval de la pale.

La génératrice d'une pale est la ligne médiane de la pale c'est-à-dire la ligne située à égale distance de l'extrados et de l'intrados. Elle est généralement incurvée et s'étend sensiblement axialement.

L'extrados est la surface externe convexe d'une pale alors que l'intrados est la surface interne concave d'une pale.

Au sens de la présente description, un plan transverse est un plan orthogonal à l'axe longitudinal du stator ou de la pompe.

L'invention concerne un stator (également appelé « redresseur » ou « diffuseur ») de pompe, de préférence polyphasique, comprenant :

- un moyeu (ou « moyeu interne ») et un carter (aussi appelé « moyeu externe ») coaxiaux autour d'un axe longitudinal,
- une entrée axiale pour l'introduction d'un fluide dans le stator,
- une sortie axiale pour l'évacuation du fluide du stator,

- une première série de pales principales,
- et une deuxième série de pales secondaires.

Ainsi, dans le stator de l'invention, le flux de fluide s'étend essentiellement axialement de l'entrée axiale vers la sortie axiale. Ce type de stator est donc adapté à des pompes, telles que des pompes dites « polyphasiques », c'est-à-dire aptes à pomper un fluide multiphasique.

Selon l'invention, les pales principales et secondaires s'étendent radialement du moyeu au carter et les génératrices des pales principales et secondaires s'étendent sensiblement axialement. Par « sensiblement axialement », on entend que les pales et leurs génératrices sont incurvées, et donc elles ne s'étendent bien entendu pas uniquement dans la direction axiale.

Les pales principales et secondaires peuvent de préférence ne pas avoir d'ouvertures, telles que des trous et/ou des rainures, de manière à limiter les pertes de performances du stator et de la pompe. Cela est d'autant plus vrai lorsque le but du stator est de convertir de l'énergie cinétique en énergie potentielle car les ouvertures peuvent générer des turbulences.

De plus, les pales secondaires sont intercalées circonférentiellement entre les pales principales. Ainsi, le stator de l'invention comprend autant de pales principales que de pales secondaires et comprend circonférentiellement une alternance de pales principales et de pales secondaires. Les pales secondaires, ainsi intercalées, permettent de limiter les décollements du fluide entre les pales principales.

En outre, les bords d'attaque des pales principales sont sur un même premier plan transverse : en d'autres termes, leurs projections sur l'axe longitudinal forment un unique point sur l'axe longitudinal. De la même manière, les bords d'attaque des pales secondaires sont positionnés sur un deuxième plan transverse parallèle au premier plan transverse. En d'autres termes, les projections des bords d'attaque des pales secondaires sur l'axe longitudinal forment également un unique point sur l'axe longitudinal.

Selon l'invention, le deuxième plan transverse est positionné axialement à une première distance prédéterminée du premier plan transverse, en direction de ladite sortie axiale, c'est-à-dire en aval du premier plan transverse. La première distance prédéterminée est comprise entre 0,1 et 0,3 fois, de préférence entre 0,15 et 0,25 fois, la longueur axiale des pales principales. Cela permet d'améliorer les performances du stator et donc de la pompe associée, en améliorant le coefficient de récupération de pression  $C_p$ , défini ainsi :

$$C_p = \frac{\Delta P_{statique}}{P_{dynamique_{in}}} = \frac{P_{s,out} - P_{s,in}}{P_{t,in} - P_{s,in}}$$

Avec

$\Delta P_{statique}$  : différence de pression statique du fluide entre la sortie axiale et l'entrée axiale

$P_{\text{dynamique in}}$  : pression dynamique du fluide à l'entrée axiale

$P_{s,\text{out}}$  : pression statique du fluide à la sortie axiale

$P_{s,\text{in}}$  : pression statique du fluide à l'entrée axiale

$P_{t,\text{in}}$  : pression totale du fluide à l'entrée axiale.

- 5 Ainsi, le coefficient de récupération de pression  $C_p$  traduit les capacités du stator à transformer la pression dynamique due à l'énergie cinétique du fluide en pression statique. Plus ce coefficient est grand, plus les performances du stator sont élevées.

La position des bords d'attaque des pales secondaires par rapport au bord d'attaque des pales principales permet de définir une zone de captage du stator, située entre le premier  
10 plan transverse et le deuxième plan transverse. Augmenter cette zone de captage permet d'augmenter la plage de fonctionnement potentielle du stator en réduisant sa sensibilité aux fortes incidences. En effet, les fortes incidences peuvent générer des décollements de fluide sur l'extrados de la pale, obstruant l'entrée du diffuseur. Avec une grande zone de captage, le fluide décollé peut plus facilement être transporté au sein du stator. Selon la viscosité du  
15 fluide, d'importants décollements peuvent être générés. C'est notamment le cas lorsque la viscosité est relativement faible, telle que la viscosité du  $\text{CO}_2$ .

L'invention permet de maintenir également les capacités de redressement du stator, en réduisant la vitesse tangentielle du fluide sortant du rotor : la vitesse tangentielle du fluide est réduite en sortie du stator par rapport à son entrée dans le stator.

- 20 Ainsi, par rapport à une conception de stator sans pales secondaires, le stator de l'invention comporte moins de pales principales. En d'autres termes, le stator a sensiblement le même nombre total de pales mais comprend la moitié de ce nombre en pales principales et l'autre moitié en pales secondaires. Cela permet d'augmenter la zone de captage, en amont des pales secondaires, puis d'améliorer l'accompagnement de l'écoulement dans le stator grâce  
25 aux pales secondaires.

Selon une variante de l'invention, la longueur axiale des pales secondaires peut être inférieure ou égale à ladite longueur axiale des pales principales. Cela permet de limiter la taille du stator et d'obtenir un bon compromis entre performances attendues du stator, sa  
30 compacité et donc son coût.

De préférence, les bords de fuite des pales secondaires peuvent former un troisième plan transverse positionné à une deuxième distance prédéterminée d'un quatrième plan transverse formé par les bords de fuite des pales principales et la deuxième distance  
35 prédéterminée peut alors être comprise entre -0,3 fois et +0,3 fois, de préférence entre -0,1 fois et +0,1 fois, ladite longueur axiale des pales principales. Avec des bords de fuite des

pales principales et secondaires proches, on peut limiter l'encombrement et obtenir de bonnes performances.

De manière encore préférée, la deuxième distance prédéterminée peut être nulle. En

- 5 d'autres termes, les bords de fuite des pales principales et secondaires sont sur un même plan transverse de manière à limiter l'encombrement du stator tout en maximisant ses performances.

Selon une configuration de l'invention, les pales secondaires peuvent être décalées

- 10 angulairement, dans la direction circonférentielle, des pales principales les précèdent directement dans la direction circonférentielle (la direction circonférentielle étant définie depuis l'intrados vers l'extrados, l'orientation des intrados et des extrados étant le même pour toutes les pales principales et secondaires), d'un angle compris entre 0,2 et 0,5 fois, de préférence entre 0,25 et 0,35 fois, le décalage angulaire circonférentiel des pales principales.
- 15 En d'autres termes, les pales secondaires sont angulairement plus proches de l'extrados de la pale principale la précèdent que de l'intrados de l'autre pale principale la suivant. Cette configuration permet également d'augmenter le coefficient de récupération de la pression  $C_p$  défini précédemment, en limitant notamment le potentiel décollement situé sur l'extrados de la pale principale.

20

De manière avantageuse, le rapport entre la section de la sortie axiale et la section de l'entrée axiale de fluide peut être compris entre 0,5 et 2,5, de préférence entre 0,5 et 1,5. En effet, une augmentation trop importante de la section de sortie entraînerait des décollements et donc des pertes de performances, alors qu'une réduction trop importante de la section de

25

Avantageusement, le rapport entre ladite longueur axiale des pales principales et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales peut être compris entre 0,36 et 1,80, de préférence entre 0,65 et 1,64, de manière à assurer un bon compromis entre performance et compacité. En effet, un rapport trop grand réduit la compacité et entraîne aussi d'importantes

30 pertes par frottement sur les pales. Au contraire, un rapport trop petit améliore la compacité mais oblige une déviation trop importante sur une petite distance (avec une courbure importante), ce qui génère des décollements.

Selon une mise en œuvre de l'invention, le diamètre externe des pales principales et/ou

- 35 secondaires peut décroître de l'entrée axiale vers la sortie axiale. En diminuant le diamètre, la section de sortie est réduite, ce qui permet une meilleure compression du fluide. Cela est particulièrement avantageux avec les fluides compressibles tels que le  $\text{CO}_2$ .

Avantageusement, le diamètre interne des pales principales et/ou secondaires peut décroître de l'entrée axiale vers la sortie axiale, de manière à ce que le diamètre interne côté sortie axiale soit compatible, c'est-à-dire sensiblement égal au diamètre interne de l'impulseur en aval du stator de manière à limiter les pertes de charge qui pourraient être générées par des changements brusques de section.

Préférentiellement, les pales principales peuvent être décalées deux à deux successivement dans la direction circonférentielle d'un écart angulaire circonférentiel  $\Delta\theta_{mis}$  vérifiant

sensiblement :

$$\Delta\theta_{mis} = (1 - OL) \cdot \Delta\theta_{mb}$$

$$OL = a * ALR + b$$

Avec  $\Delta\theta_{mb}$  l'écart angulaire circonférentiel de chaque pale principale, correspondant sensiblement à l'écart angulaire circonférentiel généré entre le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale considérée (la pale principale ici). ;

$ALR$  : le rapport entre ladite longueur axiale des pales principales et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales

et  $a$  et  $b$  étant des valeurs prédéterminées.  $a$  et  $b$  peuvent être déterminées à partir de simulations numériques ou de tests expérimentaux. Par exemple, on peut avoir  $a=1,16$  et  $b=0,57$ .

La terminologie « vérifiant sensiblement » signifie « au plus près ». En effet, le nombre de pales est nécessairement un nombre entier et par conséquent, les équations précédentes ne peuvent être déterminées qu'au plus près, compte tenu de ce nombre entier.

En effet, de manière surprenante, cette formulation basée sur la linéarisation du paramètre  $OL$  en fonction du rapport  $ALR$  permet d'obtenir une position optimale, malgré de nombreux paramètres possibles pour l'optimisation et des simulations numériques et phénomènes complexes mis en jeu.

Avantageusement, les pales principales peuvent avoir des génératrices similaires, c'est-à-dire que les génératrices des différentes pales principales peuvent se superposer.

De préférence, les pales secondaires peuvent également avoir des génératrices similaires entre elles, c'est-à-dire que les génératrices des différentes pales secondaires peuvent se superposer.

De manière encore préférée, les pales principales et secondaires peuvent avoir des génératrices au moins partiellement similaires : par exemple lorsque le bord de fuite des pales secondaires est en amont du bord de fuite des pales principales, la génératrice des pales secondaires se superpose alors sur une partie de la génératrice des pales principales.

A l'inverse, lorsque le bord de fuite des pales secondaires est en aval du bord de fuite des pales principales, la partie de la génératrice des pales secondaires située entre le deuxième plan transverse et le quatrième plan transverse se superpose alors sur une partie de la génératrice des pales principales.

- 5 Avec des génératrices qui ont ainsi des courbures similaires (entre pales principales et/ou secondaires), on limite les perturbations du flux et donc les pertes énergétiques.

L'invention concerne également une pompe, de préférence polyphasique, comprenant une enveloppe externe, une succession axiale d'étages de compression à l'intérieur de cette  
10 enveloppe externe. Chaque étage de compression comprend une partie fixe et une partie rotative. La pompe comprend également une première ouverture d'entrée axiale pour l'entrée d'un fluide dans la pompe et une deuxième ouverture de sortie axiale pour la sortie du fluide de la pompe. De plus, au moins une partie fixe (de préférence, chaque partie fixe) comprend un stator tel que décrit précédemment.

- 15 La pompe de l'invention permet aussi bien le pompage de fluide polyphasique que de fluide monophasique, notamment de fluide compressible, comprenant notamment du CO<sub>2</sub>.  
L'utilisation d'un stator tel que décrit précédemment permet d'améliorer les performances de la pompe.

L'enveloppe externe de la pompe peut servir de carter du stator. En d'autres termes,  
20 l'enveloppe externe de la pompe peut avantageusement correspondre au carter du stator décrit précédemment pour limiter le nombre de pièce et simplifier l'assemblage.

De préférence, l'enveloppe externe peut comprendre au moins une portion avec une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide  
25 axialement à travers la pompe (c'est-à-dire que la portion a un diamètre interne strictement décroissant entre la première ouverture d'entrée axiale et la deuxième ouverture de sortie axiale). Cette portion de l'enveloppe externe peut notamment se trouver en vis-à-vis du stator de l'invention de manière à améliorer les performances de compression. Cela est particulièrement avantageux lorsque le fluide est compressible comme le CO<sub>2</sub>.

- 30 De préférence, l'enveloppe externe peut comprendre plusieurs portions avec chacune une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide axialement à travers la pompe (c'est-à-dire que la portion a un diamètre interne strictement décroissant entre la première ouverture d'entrée axiale et la deuxième ouverture de sortie axiale). Ces portions de l'enveloppe externe peuvent notamment se trouver en vis-  
35 à-vis de chacun des stators de la pompe de manière à améliorer les performances de compression. Cela est particulièrement avantageux lorsque le fluide est compressible comme le CO<sub>2</sub>.

Par exemple, l'enveloppe externe peut comprendre une succession de cylindres, en vis-à-vis de chaque partie rotative, et de portions avec, chacune, une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant (c'est-à-dire que la portion a un diamètre interne strictement décroissant entre la première ouverture d'entrée axiale et la deuxième ouverture de sortie axiale), en vis-à-vis de chaque stator. Cette configuration est préférée pour comprimer efficacement les gaz compressibles comme le CO<sub>2</sub>.

La figure 2 illustre, de manière schématique et non limitative, un premier exemple de pompe polyphasique selon l'invention.

10 La pompe polyphasique 100 ainsi représentée dans un plan longitudinal avec  $Z(m)$ , la position le long de l'axe longitudinal de la pompe et  $R(m)$  la position radiale, comprend plusieurs rotors mobiles Ro1, Ro2 et Ro3 et plusieurs stators fixes St1, St2 et St3. Ainsi, la pompe polyphasique 100 a ici trois étages de compression (mais pourrait comprendre un nombre différent d'étages de compression), chaque étage de compression comprenant un

15 rotor suivi d'un stator.

La pompe polyphasique 100 comprend également une enveloppe externe 101 (dans lequel sont insérés les différents rotors Ro1, Ro2 et Ro3 et les différents stators St1, St2 et St3), pouvant également servir de carter de stator. Dans cet exemple, l'enveloppe externe est formée par un cylindre de diamètre interne constant.

20

La figure 3 illustre, de manière schématique et non limitative, un deuxième exemple de pompe polyphasique selon l'invention.

La pompe polyphasique 100 ainsi représentée dans un plan longitudinal avec  $Z(m)$ , la position le long de l'axe longitudinal de la pompe et  $R(m)$  la position radiale, comprend

25 plusieurs rotors mobiles Ro1, Ro2 et Ro3 et plusieurs stators fixes St1, St2 et St3. Ainsi, la pompe polyphasique 100 a ici trois étages de compression (mais pourrait comprendre un nombre différent d'étages de compression), chaque étage de compression comprenant un rotor suivi d'un stator.

L'écoulement à travers la pompe débute par le rotor Ro1, puis par le stator St1, suivi par le

30 rotor Ro2 puis par le stator St2. Le fluide traverse ensuite le rotor Ro3 puis le stator St3. Sur la figure, l'écoulement a donc lieu de la gauche vers la droite

La pompe polyphasique 100 comprend également une enveloppe externe 101 (dans lequel sont insérés les différents rotors Ro1, Ro2 et Ro3 et les différents stators St1, St2 et St3), pouvant également servir de carter de stator. Dans cet exemple, l'enveloppe externe est

35 formée par un cylindre de diamètre interne décroissant entre l'entrée de la pompe et sa sortie. L'enveloppe externe comprend notamment des portions 102, en vis-à-vis de chaque stator St1, St2 et St3 dans lesquelles le diamètre interne décroît le long de l'axe longitudinal,

dans le sens de déplacement de l'écoulement de fluide à travers la pompe. Cette configuration est particulièrement avantageuse pour les fluides très compressibles, comme le CO<sub>2</sub>. En effet, cette grande compressibilité génère une diminution de volume qui nécessite une diminution de section. Les rotors Ro1, Ro2 et Ro3 sont alors adaptés à la décroissance

5 du débit volumique du fluide.

La figure 4 illustre, de manière schématique et non limitative, une vue dans un plan longitudinal d'un stator selon l'invention.  $Z(m)$  représente la position de long de l'axe longitudinal.

10 Les bords d'attaque 10 des pales principales sont positionnés en amont des bords d'attaque 20 des pales secondaires (le fluide s'écoulant de la gauche vers la droite) et les bords de fuite 30 des pales secondaires sont positionnés en amont des bords de fuite 40 des pales principales (alternativement, les bords de fuite 30 des pales secondaires pourraient être en

15 transverse que les bords de fuite 40 des pales principales).

Le stator comprend une section d'entrée A1 et une section de sortie A2.

$r_{1h}$ ,  $r_{1t}$ ,  $r_{2h}$  et  $r_{2t}$  représentent respectivement le rayon au moyeu en entrée du stator, le rayon au carter en entrée du stator, le rayon au moyeu en sortie du stator, et le rayon au carter en sortie du stator.

20  $L_d$  représente la longueur axiale du stator.

La figure 5 illustre, de manière schématique et non limitative, une vue développée d'un stator selon l'invention.  $Z(m)$  représente la position de long de l'axe longitudinal et  $\theta$  représente l'évolution azimutale du stator.

25 La zone de captage ZC est la zone située entre le premier plan transverse défini par les bords d'attaque des pales principales 50 et le deuxième plan transverse défini par les bords d'attaque des pales secondaires 60. Elle correspond donc à la zone grisée.

Le premier plan transverse est défini par la position  $zLEm$  qui correspond à la position le long de l'axe longitudinal des bords d'attaque des pales principales 50.

30 Le deuxième plan transverse est défini par la position  $zLEs$  qui correspond à la position le long de l'axe longitudinal des bords d'attaque des pales secondaires 60.

Les bords de fuite des pales secondaires 60 définissent un troisième plan transverse correspondant à la position  $zTEs$  le long de l'axe longitudinal.

35 Les bords de fuite des pales principales 50 définissent un quatrième plan transverse correspondant à la position  $zTEm$  le long de l'axe longitudinal.

Le stator représenté comprend donc une succession circonférentielle de pales principales 50 et de pales secondaires 60 (une seule partie des pales est représentée ; bien entendu, le

stator comprend autant de pales principales 50 que de pales secondaires 60 et le nombre de pales principales 50 et secondaires 60 dépend de l'application choisie.

Les pales principales 50 ont une longueur axiale  $L_m$  et les pales secondaires 60 ont une longueur axiale  $L_s$ , qui est ici strictement inférieure à la longueur axiale  $L_m$  des pales

5 principales 50.

Les génératrices (représentée par les lignes courbes en pointillés) des pales principales 50 sont similaires : elles peuvent se superposer. Les génératrices des pales secondaires 60 peuvent se superposer aux génératrices des pales principales 50 sur leur longueur axiale  $L_s$  entre le deuxième plan transverse et le troisième plan transverse défini par les bords de fuite des pales secondaires 60.

10

En outre, les pales principales sont définies par l'écart angulaire  $\Delta\theta_{mb}$  entre le bord d'attaque et le bord de fuite de chaque pale principale 50 et le stator est défini par le recouvrement angulaire,  $\Delta\theta_{OL}$ , qui est l'écart entre le bord de fuite d'une pale principale 50 et le bord d'attaque de la pale principale 50 suivante (directement dans la direction circonférentielle, de l'intrados des pales vers l'extrados).

15

Ce recouvrement angulaire  $\Delta\theta_{OL}$ , est défini, de manière surprenante, par une équation linéaire en fonction du paramètre  $ALR$  qui est le rapport entre la longueur axiale des pales principales et le rayon externe en entrée (au bord d'attaque) des pales principales, comme exprimé ci-dessous :

20

$$OL = \frac{\Delta\theta_{OL}}{\Delta\theta_{mb}} = a * ALR + b$$

Avec par exemple  $a= 1.16$  et  $b=-0.57$

$\Delta\theta_{OL}$  peut être positif lorsqu'il est dirigé vers (+) : dans ce cas, il y a bien un recouvrement partiel des pales principales 50. Il peut également être négatif lorsqu'il est dirigé vers (-) : dans ce cas, il n'y a pas de recouvrement des pales principales mais au contraire un décalage.

25

En effet, les simulations numériques ont montré que cette linéarisation permet d'obtenir un optimum, malgré la présence de nombreux paramètres influents pour ces simulations multi-paramètres complexes.

30

L'écart angulaire  $\Delta\theta_{mis}$  entre deux pales principales successives directement (écart entre les génératrices de ces deux pales) peut être défini comme suit :

$$\Delta\theta_{mis} = \Delta\theta_{OL} + \Delta\theta_{mb} = (1 - OL)\Delta\theta_{mb}$$

La figure 6 illustre, de manière schématique et non limitative, une vue développée d'un stator selon l'invention avec d'autres paramètres.  $Z(m)$  représente la position de long de l'axe

35

longitudinal et  $X=r\theta$  représente l'évolution azimutale du stator,  $r$  étant la position radiale et  $\theta$  l'angle circonférentiel.

Le premier plan transverse est défini par la position  $zLE_m$  qui correspond à la position le long de l'axe longitudinal des bords d'attaque des pales principales 50.

- 5 Le deuxième plan transverse est défini par la position  $zLE_s$  qui correspond à la position le long de l'axe longitudinal des bords d'attaque des pales secondaires 60.

Les bords de fuite des pales secondaires 60 définissent un troisième plan transverse correspondant à la position  $zTE_s$  le long de l'axe longitudinal.

- 10 Les bords de fuite des pales principales 50 définissent un quatrième plan transverse correspondant à la position  $zTE_m$  le long de l'axe longitudinal.

Le stator représenté comprend donc une succession circonférentielle de pales principales 50 et de pales secondaires 60 (une seule partie des pales est représentée ; bien entendu, le stator comprend autant de pales principales 50 que de pales secondaires 60 et le nombre de pales principales 50 et secondaires 60 dépend de l'application choisie).

- 15 Les pales principales 50 ont une longueur axiale  $L_m$  et les pales secondaires 60 ont une longueur axiale  $L_s$ , qui est ici strictement inférieure à la longueur axiale  $L_m$  des pales principales 50 (mais cette longueur axiale  $L_s$  des pales secondaires pourrait être supérieure ou égale à la longueur axiale  $L_m$  des pales principales).

- 20 Les génératrices (représentée par les lignes courbes en pointillés) des pales principales 50 sont similaires : elles peuvent se superposer. Les génératrices des pales secondaires 60 peuvent se superposer aux génératrices des pales principales 50 sur leur longueur axiale  $L_s$  entre le deuxième plan transverse et le troisième plan transverse défini par les bords de fuite des pales secondaires 60.

- 25 En outre, les pales secondaires 60 sont définies par les décalages axiaux des bords d'attaque  $\delta z_{LE}$  et des bords de fuite  $\delta z_{TE}$  respectivement par rapport aux bords d'attaque et aux bords de fuite des pales principales 50. Ainsi, on peut définir ces décalages axiaux  $\delta z_{LE}$  et  $\delta z_{TE}$  par

$$\begin{aligned}\delta z_{LE} &= zLE_s - zLE_m \\ \delta z_{TE} &= zTE_s - zTE_m\end{aligned}$$

- 30 De plus, les pales secondaires 60 sont également définies par le décalage de la distance circonférentielle entre l'extrados de la pale principale et l'intrados de la pale intermédiaire  $\delta X_s$  et les pales principales sont également définies par la distance circonférentielle inter-pales principales  $\Delta X_m$ .

- 35 Les études numériques ont montré que les résultats optimaux sont obtenus pour les critères suivants :

$$- \quad 0,1 \leq SLES = \frac{\delta z_{LE}}{L_m} \leq 0,3 \text{ et de préférence } 0,15 \leq SLES = \frac{\delta z_{LE}}{L_m} \leq 0,25$$

- $-0,3 \leq STES = \frac{\delta z_{TE}}{L_m} \leq 0,3$  et de préférence  $-0,1 \leq STES = \frac{\delta z_{TE}}{L_m} \leq 0,1$
- $0,2 \leq SCP = \frac{\delta X_s}{\Delta X_m} \leq 0,5$  et de préférence  $0,25 \leq SCP = \frac{\delta X_s}{\Delta X_m} \leq 0,35$

La figure 7 illustre, de manière schématique et non limitative, la courbe du coefficient de récupération de pression Cp en fonction du paramètre SLES défini précédemment en description de la figure 6.

La courbe Ref représente la courbe du coefficient de récupération Cp pour un stator de l'art antérieur (sans pales secondaires, avec uniquement des pales principales). Les caractéristiques des pales principales sont identiques à celles utilisées pour l'invention (mis à part le nombre de pales qui est le double du nombre de pales principales).

Les points Sim représentent les résultats issus des simulations numériques du stator de l'invention et la courbe FC représente la courbe passant au mieux par les points Sim.

La courbe Ref+10 en pointillé représente une augmentation de 10% du coefficient de récupération de pression Cp de la courbe Ref. On observe que cette augmentation d'au moins 10% est obtenue lorsque le paramètre SLES est compris entre 0,1 et 0,3 et que l'augmentation est maximale lorsque le paramètre SLES est entre 0,15 et 0,25.

Cette augmentation n'impacte peu ou pas l'angle de sortie du fluide, ce qui signifie que les performances de redressement du flux de fluide sont conservées.

La figure 8 illustre, de manière schématique et non limitative, la courbe du coefficient de récupération de pression Cp en fonction du paramètre SCP défini précédemment en description de la figure 6.

La courbe Ref représente la courbe du coefficient de récupération pour un stator de l'art antérieur (sans pales secondaires, avec uniquement des pales principales). Les

caractéristiques des pales principales sont identiques à celles utilisées pour l'invention (mis à part le nombre de pales qui est le double du nombre de pales principales).

Les points CFD\_Values représentent les résultats issus des simulations numériques du stator de l'invention et la courbe en noir représente la courbe passant au mieux par les points CFD\_Values.

On observe sur cette figure un gain obtenu lorsque le paramètre SCP est inférieur à 0,5 et un gain plus intéressant lorsqu'il se situe entre 0,25 et 0,35.

La figure 9 illustre, de manière schématique et non limitative, des exemples de profils moyen et carter et des profils de pales d'un stator selon l'invention.

Le schéma a) illustre les profils du moyeu P1 (courbe en noir) et du carter P2 (en gris plus clair) en fonction de la position  $Z(m)$  le long de l'axe longitudinal et en fonction de la position radiale  $R(m)$ .

Le schéma b) illustre le profil des pales principales au niveau du moyeu P1 et au niveau du carter P2, en fonction de la position  $Z(m)$  le long de l'axe longitudinal et en fonction de la position circonférentielle  $X(m)$  qui dépend de l'angle d'azimut et de la position radiale.

Les données géométriques des différents paramètres définis dans la présente description et fixées par ces profils des pales principales sont regroupées dans le tableau suivant.

|    | $\Delta\theta_{mb}$ (rad) | $r_{1t}$ (m) | $L_m(m)$ | $ALR$ |
|----|---------------------------|--------------|----------|-------|
| P1 | 0.840                     | 0.143        | 0.110    | 0.77  |
| P2 | 0.604                     | 0.143        | 0.110    | 0.77  |

Le stator de l'invention comprend par exemple ici 13 pales principales et 13 pales secondaires.

Les pales secondaires sont définies par les paramètres suivants, également définis préalablement dans la présente description.

| SLES | STES | SCP |
|------|------|-----|
| 0.2  | 0.   | 0.3 |

### Exemple

Le stator de l'invention, notamment avec les paramètres décrits précédemment pour la figure 9 a été comparé à un stator de l'art antérieur pour lequel les pales principales sont identiques par leurs caractéristiques et pour lequel le nombre de pales principales est le double de celui du nombre de pales principales du stator de l'invention.

Les simulations numériques ont les conditions d'entrée suivantes :

- Le fluide est du  $CO_2$  ;
- La pression d'entrée dans le stator est de 23 bar (soit  $2,3 \cdot 10^6$  Pa) ;
- La densité du fluide est de :  $1061,89 \text{ kg/m}^3$  ;
- La viscosité du fluide est de :  $1,5567 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s}$  ;
- L'angle de l'écoulement à l'entrée du stator est de :  $71,14^\circ$  ;
- Le débit massique en entrée du stator est de :  $31,7 \text{ kg/s}$ .

Le coefficient de pression représente la capacité du stator à transformer la pression dynamique de l'écoulement en pression statique. L'angle de sortie donne une information sur

sa capacité à redresser l'écoulement (le ramener dans la direction axiale) pour l'étage suivant de la pompe.

5 L'ajout de pales secondaires permet une augmentation du coefficient de récupération de la pression  $C_p$  de plus de 38%, passant de 0,52 à 0,72, traduisant ainsi la bonne capacité du stator à transformer la pression dynamique de l'écoulement en pression statique. L'angle de sortie du fluide reste dans une plage de +/-10% par rapport à la version de l'art antérieur sans pales secondaires, ce qui permet d'assurer un redressement de l'écoulement suffisant. Le gain important obtenu pour le coefficient de récupération de la pression  $C_p$  est directement imputable à une modification de la topologie de l'écoulement dans le stator de 10 l'invention grâce au décalage des bords d'attaque des pales secondaires, en aval des bords d'attaque des pales principales.

La figure 10 illustre des vues dans un plan longitudinal du champ de vitesse axiale pour le stator de l'art antérieur (schéma (a)) et pour le stator de l'invention (schéma (b)).

15 Sur le schéma (a), on observe des zones 210 et 220 à faible vitesse liées à des décollements de l'écoulement.

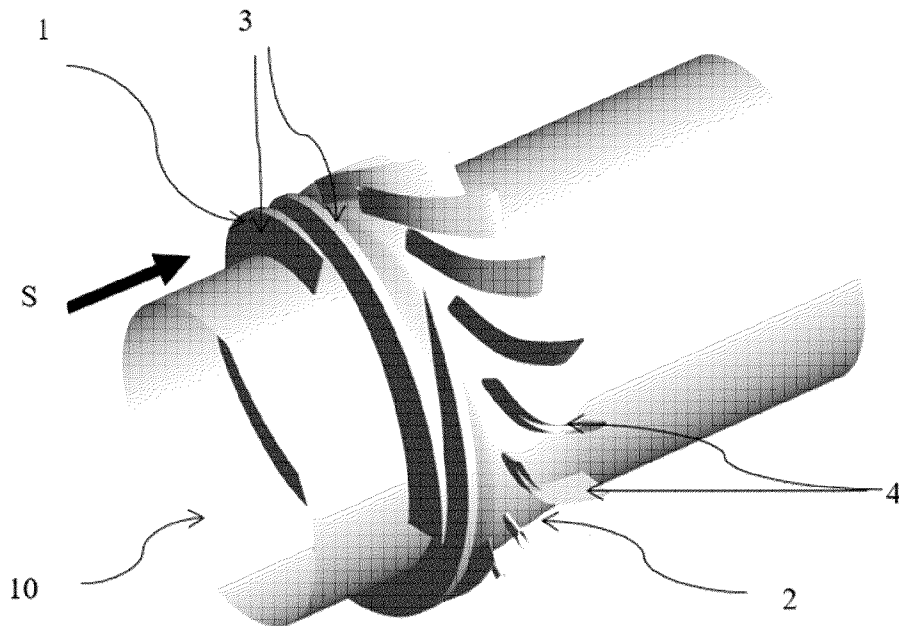
On peut observer sur le schéma b), une réduction massive des zones à faible vitesse (et donc une réduction des décollements de l'écoulement) grâce à l'utilisation des pales secondaires selon l'invention.

### Revendications

1. Stator (St1, St2, St3) de pompe comprenant un moyeu et un carter coaxiaux autour d'un axe longitudinal, une entrée axiale (A1) pour l'introduction d'un fluide dans le stator et une sortie axiale (A2) pour l'évacuation du fluide du stator, une première série de pales principales (50) et une deuxième série de pales secondaires (60), lesdites pales principales (50) et secondaires (60) s'étendant radialement du moyeu au carter, les génératrices des pales principales (50) et secondaires (60) s'étendant sensiblement axialement, les pales secondaires (60) étant intercalées circonférentiellement entre les pales principales (50), les bords d'attaque (10) des pales principales (50) étant sur un même premier plan transverse, caractérisé en ce que les bords d'attaque (20) des pales secondaires (60) sont positionnés sur un deuxième plan transverse parallèle au premier plan transverse, le deuxième plan transverse étant positionné axialement à une première distance prédéterminée ( $\delta z_{LE}$ ) du premier plan transverse, en direction de ladite sortie axiale (A2), la première distance prédéterminée ( $\delta z_{LE}$ ) étant comprise entre 0,1 et 0,3 fois, de préférence entre 0,15 et 0,25 fois, la longueur axiale ( $L_m$ ) des pales principales (50).
2. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon la revendication 1, dans lequel la longueur axiale ( $L_s$ ) des pales secondaires (60) est inférieure ou égale à ladite longueur axiale ( $L_m$ ) des pales principales (50).
3. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les bords de fuite (30) des pales secondaires (60) forment un troisième plan transverse positionné à une deuxième distance prédéterminée ( $\delta z_{TE}$ ) d'un quatrième plan transverse formé par les bords de fuite (40) des pales principales (50), la deuxième distance prédéterminée ( $\delta z_{TE}$ ) étant comprise entre -0,3 fois et +0,3 fois, de préférence entre -0,1 fois et +0,1 fois, ladite longueur axiale ( $L_m$ ) des pales principales (50), de préférence, la deuxième distance prédéterminée ( $\delta z_{TE}$ ) est nulle.
4. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les pales secondaires (60) sont décalées, dans la direction circonférentielle, des pales principales (50) les précédent directement dans la direction circonférentielle, d'un angle compris entre 0,2 et 0,5 fois, de préférence entre 0,25 et 0,35 fois, le décalage angulaire circonférentiel ( $\Delta\theta_{mis}$ ) des pales principales (50).
5. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le rapport entre la section de la sortie axiale (A2) et la section de l'entrée axiale (A1) de fluide est compris entre 0,5 et 2,5, de préférence entre 0,5 et 1,5.

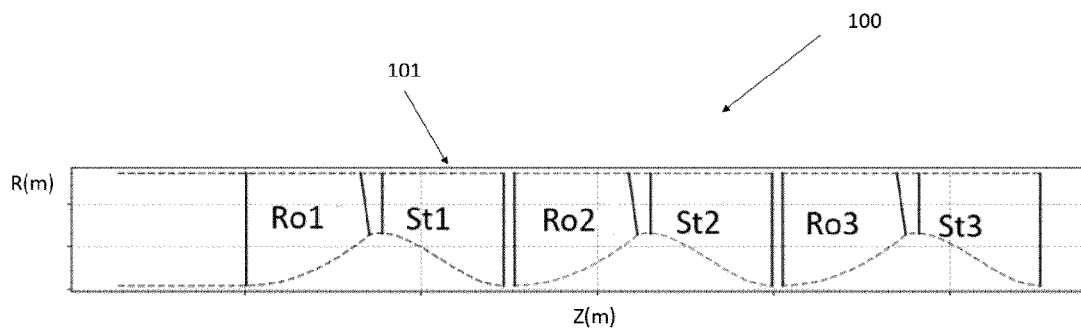
6. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le rapport entre ladite longueur axiale (Lm) des pales principales (50) et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales est compris entre 0,36 et 1,80, de préférence entre 0,65 et 1,64.
- 5 7. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le diamètre externe des pales principales (50) et/ou secondaires (60) décroît de l'entrée axiale (A1) vers la sortie axiale (A2).
8. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le diamètre interne des pales principales (50) et/ou secondaires (60) décroît de l'entrée axiale (A1) vers la sortie axiale (A2).
- 10 9. Stator (St1, St2, St3) de pompe selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les pales principales (50) sont décalées deux à deux successivement dans la direction circonférentielle d'un écart angulaire circonférentiel  $\Delta\theta_{mis}$  vérifiant sensiblement :
- 15 
$$\Delta\theta_{mis} = (1 - OL) \cdot \Delta\theta_{mb}$$
  
 et 
$$OL = a * ALR + b$$
  
 Avec  $\Delta\theta_{mb}$  l'écart angulaire circonférentiel des pales principales, correspondant sensiblement à l'écart angulaire circonférentiel généré entre le bord d'attaque et le bord de fuite de chaque pale principale (50) ;
- 20  $ALR$  : le rapport entre ladite longueur axiale (Lm) des pales principales (50) et le rayon externe au bord d'attaque des pales principales (50)  
 et  $a$  et  $b$  étant des valeurs prédéterminées.
10. Pompe (100), de préférence polyphasique, comprenant une enveloppe externe (101), une succession axiale de parties fixes et de parties rotatives (Ro1, Ro2, Ro3) à l'intérieur de l'enveloppe externe (101), une première ouverture d'entrée axiale pour l'entrée d'un fluide dans la pompe et une deuxième ouverture de sortie axiale pour la sortie du fluide de la pompe, dans laquelle au moins une partie fixe comprend un stator (St1, St2, St3) selon l'une des revendications précédentes, de préférence l'enveloppe externe (101) correspondant au carter du stator.
- 25 11. Pompe (100) selon la revendication précédente, dans laquelle l'enveloppe externe (101) comprend au moins une portion (102) avec une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide axialement à travers la pompe (100), de préférence l'enveloppe externe (101) comprend plusieurs portions (102) avec chacune une surface interne de diamètre intérieur strictement décroissant, dans le sens de l'écoulement du fluide axialement à travers la pompe (100).
- 30 35

[Fig 1]

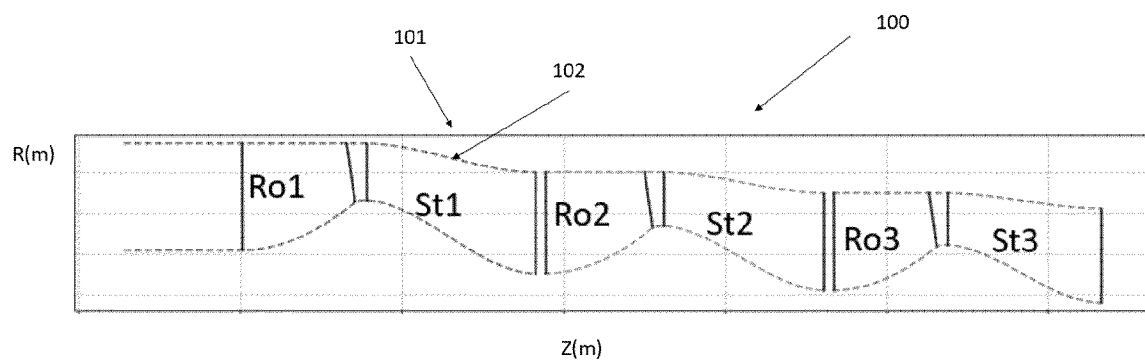


Prior Art

[Fig 2]

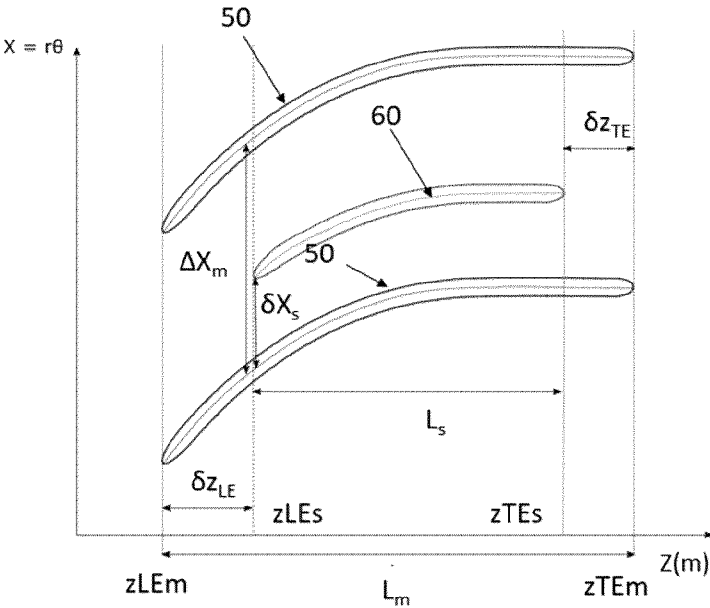


[Fig 3]

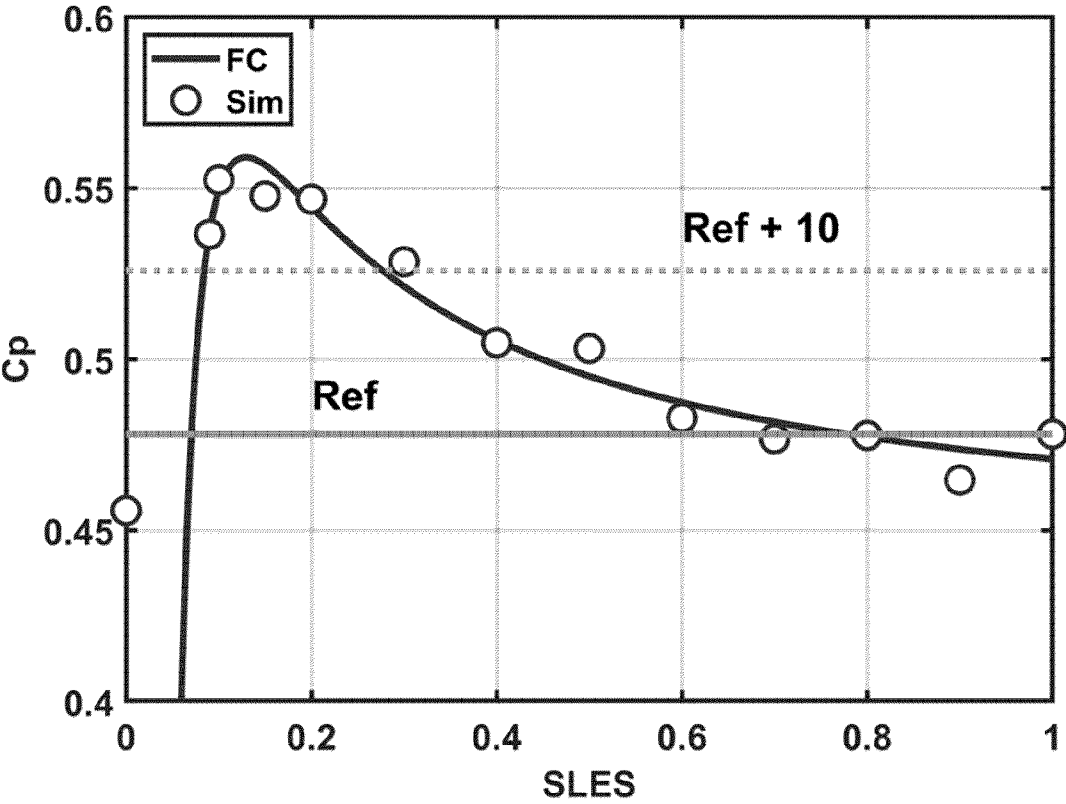




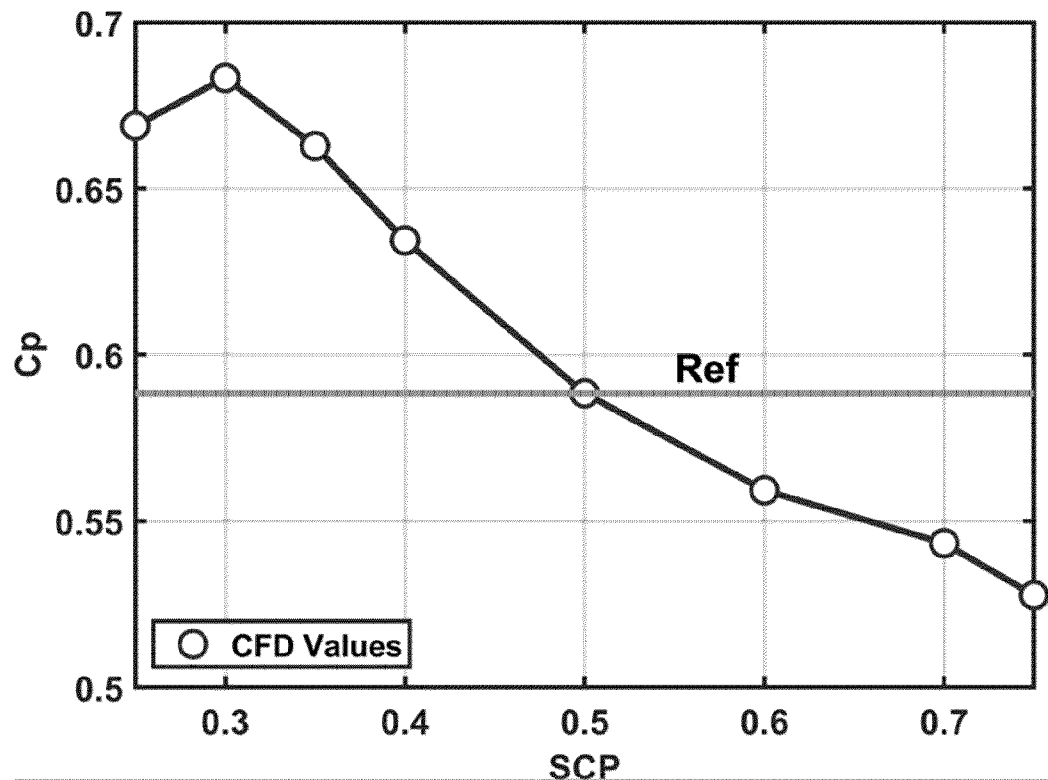
[Fig 6]



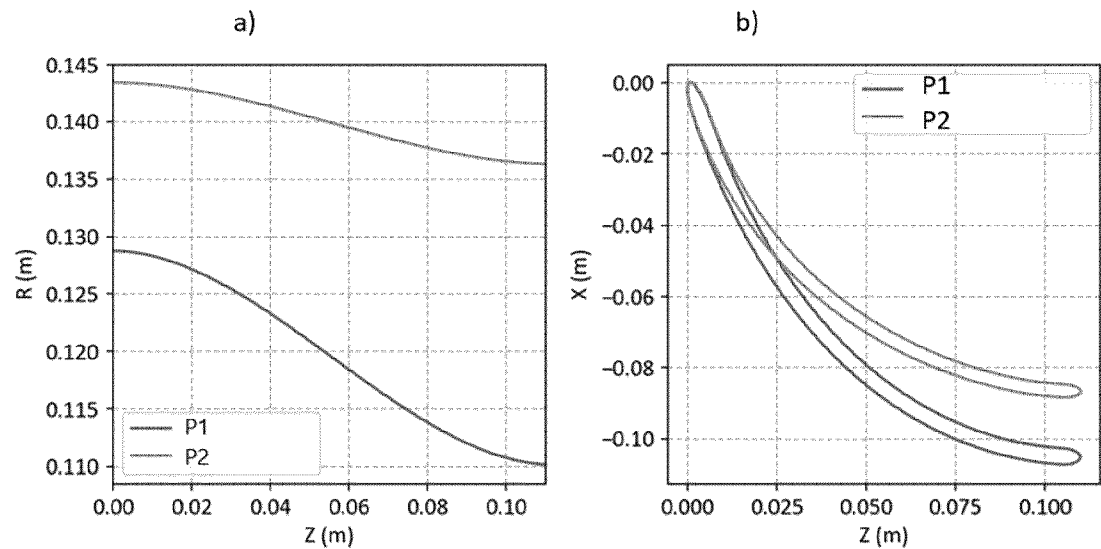
[Fig 7]



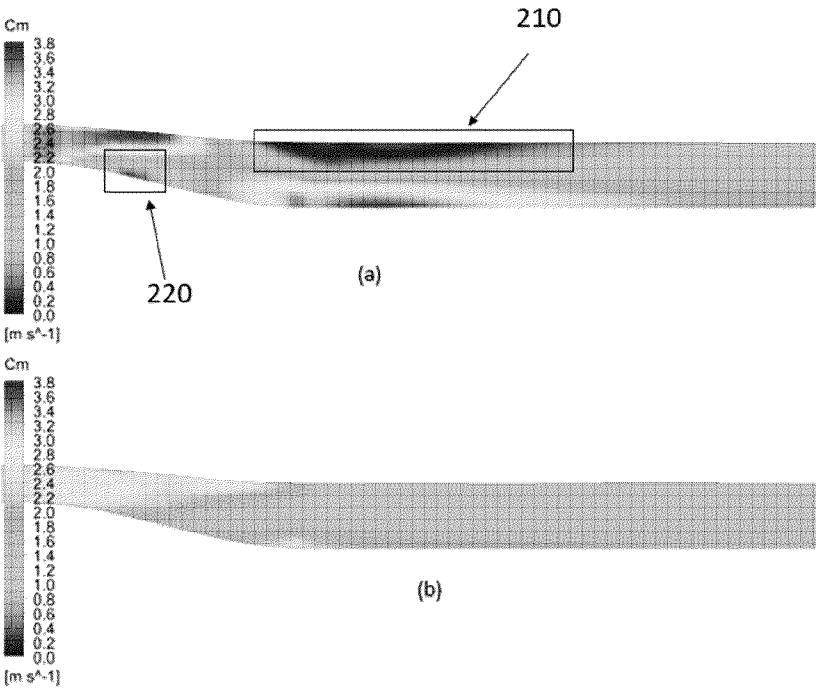
[Fig 8]



[Fig 9]



[Fig 10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/070957

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F04D 31/00**(2006.01)i; **F04D 29/54**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F04D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | EP 3594503 A1 (SAFRAN AERO BOOSTERS SA [BE]) 15 January 2020 (2020-01-15)<br>paragraph [0016] - paragraph [0040]<br>figures 1,3                                                                                                                                                   | 1-8,10,11             |
| X         | US 2021199019 A1 (WALLIN FREDRIK [SE]) 01 July 2021 (2021-07-01)<br>paragraph [0077] - paragraph [0078]<br>paragraph [0086] - paragraph [0092]<br>paragraph [0095]<br>paragraph [0102] - paragraph [0104]<br>paragraph [0117] - paragraph [0120]<br>figures 4,6-8,11b,11c,12a,12b | 1-11                  |
| X         | US 2009317237 A1 (WOOD TREVOR HOWARD [US] ET AL) 24 December 2009<br>(2009-12-24)<br>paragraph [0015] - paragraph [0017]<br>figure 2                                                                                                                                              | 1-11                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 September 2024

Date of mailing of the international search report

10 October 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office  
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk  
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Morales Gonzalez, M

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2024/070957**

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | US 10995770 B2 (IFP ENERGIES NOW [FR]; ONESUBSEA IP UK LTD [GB]) 04 May 2021 (2021-05-04)<br>column 6, line 41 - line 52<br>figure 3 | 1-11                  |
| <hr/>     |                                                                                                                                      |                       |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2024/070957**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|--------------|----|--------------------------------------|
| EP                                        | 3594503    | A1 | 15 January 2020                      | BE                      | 1026455      | A1 | 30 January 2020                      |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 110700891    | A  | 17 January 2020                      |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3594503      | A1 | 15 January 2020                      |
| US                                        | 2021199019 | A1 | 01 July 2021                         | CN                      | 111465750    | A  | 28 July 2020                         |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3707349      | A1 | 16 September 2020                    |
|                                           |            |    |                                      | GB                      | 2568109      | A  | 08 May 2019                          |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2021199019   | A1 | 01 July 2021                         |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2019091965   | A1 | 16 May 2019                          |
| US                                        | 2009317237 | A1 | 24 December 2009                     | NONE                    |              |    |                                      |
| US                                        | 10995770   | B2 | 04 May 2021                          | BR                      | 102017022150 | A2 | 02 May 2018                          |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 107965473    | A  | 27 April 2018                        |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3312432      | A1 | 25 April 2018                        |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2018106270   | A1 | 19 April 2018                        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>INV.    F04D31/00                      F04D29/54<br>ADD.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>F04D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br>EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Catégorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                                                                                                                                          | no. des revendications visées                                                      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | EP 3 594 503 A1 (SAFRAN AERO BOOSTERS SA [BE]) 15 janvier 2020 (2020-01-15)<br>alinéa [0016] - alinéa [0040]<br>figures 1,3<br>-----                                                                                                                                    | 1 - 8, 10, 11                                                                      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | US 2021/199019 A1 (WALLIN FREDRIK [SE]) 1 juillet 2021 (2021-07-01)<br>alinéa [0077] - alinéa [0078]<br>alinéa [0086] - alinéa [0092]<br>alinéa [0095]<br>alinéa [0102] - alinéa [0104]<br>alinéa [0117] - alinéa [0120]<br>figures 4, 6-8, 11b, 11c, 12a, 12b<br>----- | 1 - 11                                                                             |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | US 2009/317237 A1 (WOOD TREVOR HOWARD [US] ET AL) 24 décembre 2009 (2009-12-24)<br>alinéa [0015] - alinéa [0017]<br>figure 2<br>-----<br>- / - -                                                                                                                        | 1 - 11                                                                             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe                                                                                                                                                                        |                                                                                    |
| <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée<br><br>26 septembre 2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                         | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale<br><br>10/10/2024 |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                         | Fonctionnaire autorisé<br><br>Morales Gonzalez, M                                  |

| C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |                                                                                                                                                         |                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Catégorie*                                      | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                          | no. des revendications visées |
| A                                               | US 10 995 770 B2 (IFP ENERGIES NOW [FR];<br>ONESUBSEA IP UK LTD [GB])<br>4 mai 2021 (2021-05-04)<br>colonne 6, ligne 41 - ligne 52<br>figure 3<br>----- | 1 - 11                        |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/070957

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|----|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| EP 3594503                                      | A1 | 15-01-2020             | BE 1026455 A1                           | 30-01-2020             |
|                                                 |    |                        | CN 110700891 A                          | 17-01-2020             |
|                                                 |    |                        | EP 3594503 A1                           | 15-01-2020             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| US 2021199019                                   | A1 | 01-07-2021             | CN 111465750 A                          | 28-07-2020             |
|                                                 |    |                        | EP 3707349 A1                           | 16-09-2020             |
|                                                 |    |                        | GB 2568109 A                            | 08-05-2019             |
|                                                 |    |                        | US 2021199019 A1                        | 01-07-2021             |
|                                                 |    |                        | WO 2019091965 A1                        | 16-05-2019             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| US 2009317237                                   | A1 | 24-12-2009             | AUCUN                                   |                        |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| US 10995770                                     | B2 | 04-05-2021             | BR 102017022150 A2                      | 02-05-2018             |
|                                                 |    |                        | CN 107965473 A                          | 27-04-2018             |
|                                                 |    |                        | EP 3312432 A1                           | 25-04-2018             |
|                                                 |    |                        | US 2018106270 A1                        | 19-04-2018             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |