

**MOTEUR MONO ET/OU BI-ENERGIE A AIR COMPRIME ET/OU A ENERGIE
ADDITIONNELLE A CHAMBRE ACTIVE INCLUSE DANS LE CYLINDRE**

L'invention concerne un moteur fonctionnant notamment avec de l'air
5 comprimé, ou tout autre gaz, et utilisant une chambre dite « chambre
active ».

Les inventeurs ont déposé de nombreux brevets concernant des
motorisations ainsi que leurs installations, utilisant des gaz et plus
particulièrement de l'air comprimé pour un fonctionnement totalement propre
10 en site urbain et suburbain :

Ils ont notamment déposé une demande de brevet internationale
WO-A1-03/036088 au contenu duquel on pourra se reporter, concernant un
groupe moto-compresseur – moto-alternateur à injection d'air comprimé
additionnel fonctionnant en mono-énergie et en pluri-énergies.

15 Dans ces types de moteur fonctionnant avec de l'air comprimé et
comportant un réservoir de stockage d'air comprimé, il est nécessaire de
détendre l'air comprimé stocké à très haute pression dans le réservoir mais
dont la pression diminue au fur et à mesure que le réservoir se vide, à une
pression intermédiaire stable dite pression finale d'utilisation, dans une
20 capacité tampon - dite capacité de travail - avant son utilisation dans le ou
les cylindres moteurs.

Les détendeurs conventionnels à clapets et ressorts bien connus ont
des débits très faibles et leur utilisation pour cette application demande des
appareils très lourds et peu performants. En outre, ils sont très sensibles au
25 givrage dû à l'humidité de l'air refroidi lors de la détente.

Pour résoudre ce problème, les inventeurs ont aussi déposé une
demande de brevet WO-A1-03/089764, au contenu de laquelle on pourra se
reporter, concernant un détendeur dynamique à débit variable et une
distribution pour moteurs alimentés avec injection d'air comprimé,
30 comportant un réservoir d'air comprimé à haute pression et une capacité de
travail.

Dans le fonctionnement de ces moteurs à « détente de charge » le
remplissage de la chambre d'expansion représente toujours une détente
sans travail nuisible au rendement général de la machine.

35 Pour résoudre le problème indiqué ci-dessus les inventeurs ont
encore déposé une demande de brevet WO-A1-2005/049968 décrivant un
moteur à air comprimé alimenté préférentiellement par de l'air comprimé ou
tout autre gaz comprimé contenu dans un réservoir de stockage à haute

pression, préalablement détendu à une pression nominale de travail dans une capacité tampon dite capacité de travail. La capacité de travail en version bi-énergies comporte un dispositif de réchauffage de l'air alimenté par une énergie additionnelle (fossile ou autre énergie) permettant
5 d'augmenter la température et/ou la pression de l'air qui la traverse.

Dans ce type de moteur selon WO-A1-2005/049968 :

- la chambre d'expansion est constituée d'un volume variable équipé de moyens permettant de produire un travail, elle est jumelée et en contact par un passage permanent avec l'espace compris au-dessus du piston
10 moteur principal qui est équipé d'un dispositif d'arrêt du piston à son point mort haut,

- durant l'arrêt du piston moteur à son point mort haut, l'air ou le gaz sous pression est admis dans la chambre d'expansion lorsque celle-ci est à son plus petit volume et, sous la poussée, va augmenter son volume en
15 produisant un travail,

- la chambre d'expansion étant maintenue sensiblement à son volume maximum, l'air comprimé qui y est contenu se détend ensuite dans le cylindre moteur en repoussant ainsi le piston moteur dans sa course descendante en fournissant un travail à son tour,

- durant la remontée du piston moteur pendant le temps échappement, le volume variable de la chambre d'expansion est ramené à son plus petit volume pour recommencer un cycle de travail complet.

La chambre d'expansion du moteur selon cette invention participe activement au travail. Le moteur est ainsi dit moteur à « chambre active ».

25 WO-A1-2005/049968 revendique notamment un cycle thermodynamique en quatre phases lors de son fonctionnement en mode mono énergie air comprimé caractérisé par :

- une détente isotherme sans travail ;
- un transfert – légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- 30 - une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante.

Le document WO-A1-2008/028881, qui présente une variante de WO-A1-2005/049968, revendique le même cycle thermodynamique mais en utilisant un dispositif bielle-manivelle traditionnel. Il est alimenté
35 préférentiellement par de l'air comprimé ou tout autre gaz comprimé contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, préalablement détendu à une pression nominale de travail dans une capacité tampon dite capacité de travail. La capacité de travail en version bi-énergies comporte un dispositif

de réchauffage de l'air alimenté par une énergie additionnelle (fossile ou autre énergie) permettant d'augmenter la température et/ou la pression de l'air qui la traverse.

Dans ce type de moteur selon WO-A1-2008/028881 :

5 - la chambre d'expansion, dite chambre active, est constituée d'un volume variable équipé de moyens permettant de produire un travail et elle est reliée par un passage comportant un obturateur permettant ainsi de l'isoler ou de la mettre en contact avec le volume compris dans le cylindre moteur au-dessus du piston moteur à son point mort haut ;

10 - l'air ou le gaz sous pression est admis dans la chambre active lorsque celle-ci est à son plus petit volume et, sous la poussée va augmenter son volume en produisant un travail ;

 - lorsque la chambre active est sensiblement à son volume maximum, et le piston moteur sensiblement à son point mort haut, l'admission est
15 obturée, ladite chambre est mise en communication avec le cylindre moteur et l'air comprimé y contenu se détend repoussant ainsi le piston moteur dans sa course descendante en fournissant un travail à son tour ;

 - durant la détente le volume de la chambre active est ramené à son volume minimum pour permettre un nouveau cycle.

20 La chambre d'expansion du moteur selon l'invention participe activement au travail. Les moteurs selon WO-A1-2005/049968 et WO-A1-2008/028881 sont dits moteurs à chambre active.

 Pour un fonctionnement optimisé de ces derniers types de moteur il faut prendre en compte les pertes de charge lors du transfert de la chambre
25 active à la chambre de détente pour le WO-A1-2008/028881, ainsi que les volumes morts engendrés par la construction du transfert pour le WO-A1-2005/049968.

 La présente invention propose de résoudre ce problème tout en simplifiant la construction de la machine.

30 Le moteur à chambre active incluse dans le cylindre moteur selon l'invention utilise les mêmes cycles thermodynamiques que WO-A1-2005/049968 et WO-A1-2008/028881 décrits ci-avant, ainsi qu'un dispositif bielle manivelle traditionnel.

 L'invention propose ainsi un moteur à chambre active, comportant au
35 moins un piston monté coulissant dans un cylindre et entraînant un vilebrequin au moyen d'un dispositif bielle-manivelle traditionnel et fonctionnant selon un cycle thermodynamique à quatre phases comportant :

 - une détente isotherme sans travail ;

- un transfert – légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante ;

alimenté préférentiellement par de l'air comprimé, ou tout autre gaz
5 comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, à travers
une capacité tampon dite capacité de travail qui est alimentée par de l'air
comprimé, ou tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de
stockage à haute pression, qui est détendu à une pression moyenne dite
pression de travail dans une capacité de travail préférentiellement à travers
10 un dispositif de détendeur dynamique,
caractérisé :

- en ce qu'il comporte au moins un piston monté coulissant dans au
moins un cylindre dont le volume balayé par le piston est divisé,
successivement, en deux parties distinctes dont une première partie
15 constituant la chambre active CA qui est incluse dans le cylindre et une
deuxième partie constituant la chambre de détente ;

- en ce que le volume du cylindre qui est balayé par le piston est
fermé en sa partie supérieure par une culasse comportant au moins un
conduit et orifice d'admission et au moins un conduit et orifice
20 d'échappement et qui est aménagé de telle sorte que, lorsque le piston est à
son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston et la culasse
est, par construction, réduit aux seuls jeux minimum permettant le
fonctionnement sans contact entre le piston et la culasse ;

- en ce que l'air comprimé ou le gaz sous pression est admis dans le
25 cylindre au dessus du piston, et, sous la poussée continue de l'air comprimé
à pression constante de travail, le volume de la chambre active augmente en
produisant un travail représentant la phase de transfert quasi-isotherme ;

- en ce que l'admission de l'air comprimé, ou du gaz sous pression,
dans le cylindre est obturée dès lors que le volume maximal de la chambre
30 active CA est atteint, et que la quantité d'air comprimé, ou du gaz sous
pression, comprise dans ladite chambre active se détend alors en repoussant
le piston sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de
détente CD en produisant un travail assurant ainsi la phase de détente ;

- en ce que, le piston ayant atteint son point mort bas, l'orifice
35 d'échappement est alors ouvert pour assurer la phase d'échappement
pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course.

Le volume maximal de la chambre active CA incluse dans le cylindre
moteur et le volume de la chambre de détente CD sont dimensionnés de telle

sorte qu'à la pression nominale de fonctionnement du moteur la pression en fin de détente au point mort bas est proche de la pression atmosphérique.

Pour exemple, à la pression nominale de fonctionnement de 20 bars, un moteur de 300 cm³ de cylindrée totale - c'est-à-dire le volume de la chambre active plus le volume de la chambre de détente - le volume maximal de la chambre active CA incluse dans le cylindre sera de 35 cm³, atteint à 45 degrés de rotation moteur après le point mort haut, et le volume de la chambre de détente CD sera de 265 cm³, et la pression au point mort bas à l'ouverture de l'échappement sera de 1,03 bar.

Le moteur selon l'invention est avantageusement équipé d'un détendeur à débit variable selon WO-A1-03/089764, dit détendeur dynamique, qui permet d'alimenter la capacité de travail à sa pression nominale de fonctionnement par de l'air comprimé provenant du réservoir à haute pression de stockage en effectuant une détente sans travail de type isotherme.

Le cycle thermodynamique du moteur à chambre active selon l'invention est identique à celui de WO-A1-2005/049968 et de WO-A1-2008/028881. Il est caractérisé par une détente isotherme sans travail permise par le détendeur dynamique, suivie d'un transfert accompagné d'une très légère détente quasi isotherme – par exemple une capacité de 3 000 centimètres cube dans une capacité de 3050 centimètres cube - avec travail par l'utilisation de la pression de l'air compris dans la capacité de travail durant le remplissage de la chambre d'expansion, puis suivie d'une détente polytropique de la chambre d'expansion dans le cylindre moteur avec travail et abaissement considérable de la température, pour se terminer par l'échappement de l'air détendu à l'atmosphère.

Il n'est pas rare que la température de l'échappement d'un tel type de moteur se retrouve à des valeurs de l'ordre de -75 à -100 degrés centigrade en dessous de la température ambiante.

Préférentiellement, et notamment en fonctionnement mono énergie à air comprimé, le moteur à chambre active incluse dans le cylindre selon l'invention comporte plusieurs étages de cylindres successifs en cascade dont chacun est conçu et fonctionne selon le principe de l'invention qui vient d'être défini, ces cylindres consécutifs étant de cylindrées croissantes.

Le premier cylindre, de cylindrée la plus petite, est alimenté en air comprimé par la capacité de travail.

Le ou les cylindres suivants, de cylindrées croissantes, sont alimentés en air comprimé par l'échappement du cylindre amont/précédent.

Un ou plusieurs échangeur(s) thermique(s) avec l'atmosphère est/sont positionné(s) entre chaque cylindre, c'est-à-dire entre deux cylindres consécutifs, permettant d'augmenter la température de l'air de l'échappement du cylindre précédent pour la ramener proche de la température ambiante et augmenter ainsi le volume de l'air échappé.

La cylindrée totale, le volume de la chambre active et le volume de la chambre de détente de chaque cylindre sont dimensionnés de telle sorte que le volume de l'air échappé de chacun des cylindres, à savoir le volume de la cylindrée totale majoré de l'augmentation de volume provoqué par l'augmentation de la température dans les échangeurs, soient sensiblement équivalents au volume maximal de la chambre active du cylindre suivant.

En fonction du nombre de cylindres choisi, et de la cylindrée totale du moteur, les caractéristiques de chaque cylindre sont définies de telle sorte que les températures d'échappement de chaque cylindre soient sensiblement identiques. En conséquence, les facteurs d'abaissement de la pression à l'échappement se retrouvent eux aussi sensiblement similaires.

A titre d'exemple non limitatif, un moteur de 3 cylindres selon l'invention d'une cylindrée totale de 508,7 cm³ alimenté par une capacité de travail à pression nominale de 100 bars aura les caractéristiques suivantes :

		Cylindre 1	Cylindre 2	Cylindre 3
Cylindrée	cm ³	19,7	89	400
Volume de la chambre active incluse	cm ³	5,5	26	129
Volume de la chambre de détente	cm ³	14,2	63	271
Pression d'admission	bar	100	22,3	4,7
Température d'admission	K	293	293	293
Pression d'échappement	bar	22,3	4,7	1
Température d'échappement	K	197	195	195

20

Dans son application bi-énergies selon l'invention, et en mode avec carburant additionnel, l'air comprimé à la température ambiante contenu dans la capacité de travail est réchauffé à pression constante par une énergie additionnelle dans un réchauffeur thermique. Cette disposition permet d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, avant son introduction dans la chambre active CA, va accroître sa température et augmenter de volume en permettant l'augmentation de l'autonomie d'une machine (par exemple un véhicule automobile) équipée du moteur selon l'invention, dans la proportion de ladite augmentation de volume.

30

Il s'agit d'un chauffage isobare et le fait de multiplier par deux la température permet de doubler le volume utile d'air comprimé, et ainsi de suite.

Ainsi un réservoir de 200 litres d'air comprimé à 200 bars, soit 40 m³ d'air à 293K (20° Celsius) permettra de disposer à 586K (soit 313° Celsius) de 80 m³ d'air comprimé.

La combustion, démarrant à la température ambiante, permet avec peu d'énergie d'obtenir des résultats considérables en restant en dessous des températures de formation d'oxyde d'azote particulièrement polluantes. L'utilisation d'un dispositif de réchauffage thermique, ou réchauffeur thermique, présente l'avantage de pouvoir utiliser des combustions continues propres qui peuvent être catalysées ou dépolluées par tous moyens connus dans le but d'obtenir des émissions infimes de polluants.

Le réchauffeur thermique peut utiliser pour énergie un carburant fossile tel que de l'essence, du gazole ou bien du gaz GPL ou GNV. Le réchauffeur peut aussi utiliser des biocarburants ou de l'alcool/éthanol, en permettant de réaliser ainsi un fonctionnement bi-énergies à combustion externe, dans lequel un brûleur va provoquer une élévation de température. Le réchauffeur peut aussi utiliser des procédés thermochimiques permettant cette élévation de la température.

Selon une variante de l'invention, le moteur à chambre active utilise l'énergie solaire pour réchauffer l'air comprimé et il est équipé à cet effet d'une parabole solaire, ou de tout autre système de récupération de l'énergie solaire, focalisant dans une chambre permettant l'augmentation de température de l'air comprimé qui traverse la capacité de travail.

Cette caractéristique permet d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, avant son introduction dans le cylindre, va accroître sa température et augmenter de volume en permettant l'augmentation de l'autonomie de la machine équipée du moteur selon l'invention, dans la proportion de ladite augmentation de volume.

Les différentes énergies utilisées peuvent être utilisées séparément ou en combinaison.

Dans le cas d'un moteur bi-énergies comportant plusieurs cylindres, les moyens permettant le réchauffement de l'air par énergie additionnelle sont préférentiellement installés entre les deux derniers cylindres pour permettre de conserver l'apport d'énergie thermique ambiante lors de l'augmentation de température dans le ou les échangeurs thermiques positionnés entre les cylindres précédents.

Toutefois des dispositifs de réchauffage et/ou de complément de réchauffe entre chaque paire de cylindres pourront être utilisés, sans pour autant changer le principe de la présente invention.

Selon une variante de cette disposition, après chaque étage, l'air de l'échappement est dirigé vers un seul réchauffeur à plusieurs étages en permettant ainsi de n'utiliser qu'une seule source de combustion.

En mode de fonctionnement avec énergie additionnelle, le cycle thermodynamique du premier cylindre comprend alors cinq phases :

- une détente isotherme ;
- 10 - une augmentation de la température ;
- un transfert - légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante ;

et le cycle thermodynamique des cylindres suivants/consécutifs dans le cas d'un pluri-cylindres comprend quatre phases :

- une augmentation de la température ;
- un transfert - légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante ;

En mode à air comprimé, par exemple sur un véhicule automobile en site urbain, seule la pression de l'air comprimé dans le réservoir à haute pression est utilisée pour le fonctionnement. En fonctionnement en mode avec énergie additionnelle, fossile ou autre, par exemple sur un véhicule automobile sur route, le réchauffage de la capacité de travail est alors commandé, en permettant ainsi d'augmenter la température de l'air qui traverse la capacité de travail, et par voie de conséquence le volume et/ou la pression utilisable pour le travail de charge de la chambre active et de la détente.

Le moteur selon l'invention est piloté en couple et en régime, par le contrôle de la pression dans la capacité de travail, ce contrôle étant avantageusement assuré par le détendeur dynamique, lorsqu'il fonctionne en mode bi-énergies avec énergie additionnelle (fossile ou autre) et au moyen d'un calculateur électronique qui équipe le moteur et qui contrôle la quantité d'énergie additionnelle apportée, en fonction de la pression dans ladite capacité de travail.

Selon une variante de l'invention qui permet le fonctionnement autonome en bi-énergies du moteur selon l'invention, le moteur à chambre active est couplé à un compresseur d'air permettant, pendant son

fonctionnement avec l'énergie additionnelle, d'alimenter en air comprimé le réservoir de stockage d'air comprimé à haute pression. Préférentiellement, un échangeur thermique est positionné entre le compresseur et le réservoir de stockage, de telle sorte que l'air comprimé à haute pression à
5 température élevée en sortie du compresseur retrouve, dans le réservoir, une température proche de la température ambiante.

Le moteur à chambre active selon l'invention mono-énergie et bi-énergies ainsi équipé fonctionne selon trois modes :

- le fonctionnement en mode mono-énergie - zéro pollution - avec
10 l'air préalablement comprimé contenu dans le réservoir de stockage à haute pression ;

- le fonctionnement en mode bi-énergies avec l'air préalablement comprimé contenu dans le réservoir de stockage à haute pression, plus avec l'énergie additionnelle apportée par le réchauffeur thermique ;

15 - le fonctionnement en mode bi-énergies autonome avec l'air comprimé dans le réservoir par un compresseur d'air entraîné par le moteur, plus avec l'énergie additionnelle apportée par le réchauffeur thermique.

Les échangeurs thermiques peuvent être des échangeurs air/air ou air/liquide, ou tout autre dispositif ou gaz produisant l'effet recherché de
20 réchauffage.

Le moteur à chambre active selon l'invention peut être utilisé sur tous véhicules terrestres, maritimes, ferroviaires, aéronautiques. Le moteur à chambre active selon l'invention peut aussi et avantageusement trouver son application dans les groupes électrogènes de secours, de même que dans de
25 nombreuses applications domestiques de cogénération produisant de l'électricité, du chauffage et de la climatisation.

D'autres buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description, à titre non limitatif, de plusieurs modes de réalisation, faite en regard des dessins annexés dans lesquels :

30 - la figure 1 représente schématiquement un moteur selon l'invention, à chambre active incluse dans le cylindre, qui est illustré en coupe axiale à son point mort bas, et son dispositif d'alimentation en air comprimé ;

- les figures 2 à 4 représentent, sur des vues schématiques en
35 coupe, les différentes phases de fonctionnement du moteur selon l'invention ;

- la figure 5 représente, vu en coupe, un moteur à chambre active selon l'invention pluri-cylindres comportant trois étages ;

- la figure 6 représente schématiquement un moteur à chambre active selon l'invention, vu en coupe, et son dispositif d'alimentation en air à haute pression comportant un dispositif de réchauffage de l'air comprimé au moyen d'une parabole solaire ;

5 - la figure 7 représente, vu en coupe, un moteur pluri-cylindres et son dispositif de réchauffage par combustion ;

- la figure 8 représente schématiquement un moteur à chambre active selon l'invention couplé à un compresseur alimentant le réservoir de stockage.

10 La figure 1 représente un moteur à chambre active selon l'invention sur laquelle on peut voir un cylindre moteur 1 dans lequel coulisse un piston 2 relié par une bielle 3 au maneton 4 d'un vilebrequin 5.

Le volume du cylindre moteur 1 selon l'invention qui est balayé par le piston 2 est divisé selon une ligne imaginaire DD' (correspondant à un plan de division orthogonal à l'axe du cylindre) en deux parties : une première partie constituant la chambre active CA, qui est ainsi incluse dans le cylindre, et une deuxième partie constituant la chambre de détente CD.

15 Le cylindre moteur 1 est coiffé d'une culasse supérieure 6 comportant un conduit d'admission 7 et un conduit d'échappement 8, ainsi que des moyens associés d'obturation desdits conduits, ces moyens étant ici des soupapes d'admission 9 et d'échappement 10 respectivement.

Le conduit d'admission est relié à une capacité de travail 11 à pression de travail qui est alimentée par un réservoir à haute pression 12 à travers un détendeur dynamique 13.

25 L'air comprimé à haute pression contenu dans le réservoir de stockage à haute pression 12 est détendu à la pression de travail dans la capacité de travail 11 à travers le détendeur dynamique 13 en effectuant ainsi la première phase du cycle thermodynamique : une détente isotherme sans travail.

30 Un dispositif (non représenté), commandé par la pédale d'accélérateur, commande le détendeur dynamique 13 pour permettre de réguler la pression dans la chambre de travail et pour permettre ainsi de piloter le moteur.

35 Lorsque le piston 2 est à son point mort haut, par construction, le volume résiduel entre la face supérieure du piston et la portion en vis-à-vis de la culasse 6 est nul, ou quasi nul, et le volume des chambres active CA et de détente CD est alors nul.

A partir du point mort haut du piston, le volume du cylindre balayé par le piston et situé au-dessus de la face supérieure du piston va augmenter progressivement en créant ainsi successivement la chambre active CA, puis la chambre de détente CD.

5 La course descendante du piston 2 dans le cylindre 1 comporte ainsi, consécutivement, une première partie « supérieure » correspondant à la formation progressive de la chambre dite active CA, et une deuxième partie « inférieure » correspondant à la formation progressive de la chambre dite de détente CD.

10 La figure 2 représente le moteur à chambre active selon l'invention en cours d'admission, la soupape d'admission 9 ayant été ouverte dès le point mort haut. L'air comprimé à pression nominale de travail contenu dans la capacité de travail 11 alimente à pression constante la chambre active incluse CA dont le volume augmente progressivement et il repousse le piston
15 2 dans sa course descendante en produisant un travail et en effectuant la deuxième phase du cycle thermodynamique : transfert avec légère détente avec travail dit quasi-isotherme.

La figure 3 représente le moteur à chambre active incluse CA selon l'invention alors que le piston 2 atteint la ligne DD', moment auquel le
20 volume de la chambre active CA est maximal et auquel la pression dans la chambre active se trouve à la pression nominale de travail identique à la pression de l'air contenu dans la capacité de travail 11. La soupape d'admission 9 est alors fermée et interrompt l'arrivée de l'air sous pression. L'air comprimé à la pression nominale contenu dans la chambre active CA se
25 détend alors en repoussant le piston 1 vers son point mort bas (figure 4) en faisant un travail moteur de détente et en effectuant la troisième phase du cycle thermodynamique : détente polytropique avec travail.

Le piston 1 atteint ensuite son point mort bas (figure 1), correspondant au volume maximal disponible du cylindre balayé par le
30 piston, et la soupape d'échappement 10 est alors ouverte pour évacuer, à travers le conduit d'échappement 8, l'air détendu - à une pression proche de la pression atmosphérique - vers l'atmosphère durant sa course de remontée en effectuant la quatrième phase du cycle thermodynamique : échappement à pression ambiante/atmosphérique.

35 La figure 5 représente un moteur pluri-cylindres à trois étages de cylindrées croissantes selon l'invention. On peut voir, de gauche à droite, le premier cylindre 1 de cylindrée la plus petite dans lequel coulisse un piston 2 relié par une bielle 3 au maneton 4 d'un vilebrequin 5. Ce cylindre moteur 1

est divisé selon une ligne DD' en deux parties : une chambre active CA et une chambre de détente partielle CD (non visible sur le dessin). Le cylindre moteur 1 est coiffé d'une culasse 6 comportant un conduit d'admission 7 et un conduit d'échappement 8 ainsi que des moyens d'obturation de ces conduits qui sont ici des soupapes d'admission 9 et d'échappement 10. Le conduit d'admission 7 est relié à une capacité de travail 11 à pression de travail alimentée par le réservoir à haute pression 12 à travers un détendeur dynamique 13. Le conduit d'échappement 8 débouche à l'entrée d'un premier échangeur thermique air/air 14.

Le deuxième étage est constitué d'un deuxième cylindre 1A, dont la cylindrée est supérieure à celle du premier cylindre 1, dans lequel coulisse un piston 2A relié par une bielle 3A au maneton 4A du vilebrequin commun 5. Le deuxième cylindre moteur 1A est divisé selon une ligne DD' en deux parties : une deuxième chambre active CA1 dont le volume est sensiblement égal à la cylindrée du premier cylindre 1 augmenté de l'augmentation de volume provoquée par le réchauffement de l'échappement dans l'échangeur air/air 14, et une deuxième chambre de détente partielle CD1. Le deuxième cylindre moteur 1A est coiffé d'une culasse commune 6 comportant un conduit d'admission 7A et un conduit d'échappement 8A, ainsi que des moyens d'obturation desdits conduits qui sont ici des soupapes d'admission 9A et d'échappement 10A. Le conduit d'admission 7A est relié à la sortie de l'échangeur thermique air/air 14 qui l'alimente en air comprimé à la pression constante de l'échappement du premier cylindre. Le conduit d'échappement 8A débouche à l'entrée d'un deuxième échangeur thermique air/air 15.

Le troisième étage est constitué d'un troisième cylindre 1B dont la cylindrée est encore plus importante et est supérieure à la cylindrée du deuxième cylindre 1A, dans lequel coulisse un piston 2B relié par une bielle 3B au maneton 4B du vilebrequin commun 5. Le cylindre moteur 1B est divisé selon une ligne DD' en deux parties : une troisième chambre active CA2 dont le volume est sensiblement égal à la cylindrée du deuxième cylindre 1A augmenté de l'augmentation de volume provoqué par le réchauffement de l'échappement dans le deuxième échangeur thermique air/air 15 et une troisième chambre de détente CD2 non visible sur le dessin. Le cylindre moteur 1B est coiffé de la culasse 6, ici commune aux trois cylindres, comportant un conduit d'admission 7B et un conduit d'échappement 8B ainsi que des moyens d'obturation de ces conduits qui sont ici des soupapes d'admission 9B et d'échappement 10B. Le conduit d'admission 7B est relié à la sortie du deuxième échangeur thermique air/air 15 qui

l'alimente en air comprimé à une pression constante de l'échappement du deuxième cylindre 1A. Le conduit d'échappement 8B débouche à l'atmosphère.

5 L'air comprimé à haute pression contenu dans le réservoir de stockage à haute pression 12 est détendu par le détendeur dynamique 13 à une pression nominale de travail qui, dans ce cas, peut être beaucoup plus élevée - par exemple 100 bars - que dans le cas d'un moteur monocylindre tel que décrit plus haut.

10 Les valeurs de volumes, de pressions et de températures indiquées dans la description ci-après du fonctionnement sont données à titre d'exemple non limitatif d'une réalisation réaliste et possible de l'invention.

Lorsque le piston 2 du premier cylindre 1 est à son point mort haut, la soupape d'admission 9 est ouverte et l'air comprimé à pression nominale de travail contenu dans la capacité de travail 11 alimente à pression
15 constante la chambre active incluse CA du premier cylindre 1 et repousse le piston 2 dans sa course descendante en produisant un travail. Le piston 2 atteint la ligne DD' à laquelle le volume de la chambre active CA de 5.5 cc se trouve à la pression nominale de travail de 100 bars identique à la pression de l'air contenu dans la capacité de travail 11. La soupape d'admission 9 est
20 fermée et elle interrompt l'arrivée de l'air sous pression. L'air comprimé à la pression nominale contenue dans la chambre active CA se détend partiellement dans la chambre de détente en repoussant le piston 1 vers son point mort bas en faisant un travail moteur de détente.

Lors de cette détente partielle, l'air comprimé se refroidit à moins 78
25 degrés. Le premier piston 1 arrive à son point mort bas alors que la pression de l'air contenu dans le cylindre 1 d'un volume total donné de 90 cm³ est encore importante, de l'ordre de 20 bars. La soupape d'échappement 10 est alors ouverte et le piston 1 repousse à pression quasi constante l'air comprimé dans l'échangeur air/air 14 dans lequel il va s'échauffer et
30 retrouver sensiblement la température ambiante en augmentant de volume pour passer de 20 cm³ à 26 cm³.

Lorsque le piston 2A du deuxième cylindre 1A est à son point mort, haut la soupape d'admission 9A est ouverte et l'air comprimé à pression
35 secondaire de travail contenu dans l'échangeur 14 alimente à pression constante (20 bars) la deuxième chambre active incluse CA1 du cylindre 1A et repousse le deuxième piston 2A dans sa course descendante en produisant un travail. Le piston 2A atteint la ligne DD' à laquelle le volume de la deuxième chambre active CA1 de 26 cm³ se trouve à la pression

secondaire de travail de 20 bars identique à la pression de l'air contenu dans l'échangeur 14. La soupape d'admission 9A est fermée et interrompt l'arrivée de l'air sous pression. L'air comprimé à la pression secondaire (20 bars) contenu dans la deuxième chambre active CA1 se détend alors partiellement en repoussant le deuxième piston 1A vers son point mort bas en faisant un travail moteur de détente.

Lors de cette détente partielle, l'air comprimé se refroidit à moins 78 degrés. Le deuxième piston 1A arrive à son point mort bas alors que la pression de l'air contenu dans le deuxième cylindre 1A, d'un volume total donné de 90 cm^3 , est encore importante de l'ordre de 5 bars. La soupape d'échappement 10A est alors ouverte et le deuxième piston 1A repousse à pression quasi constante l'air comprimé dans le deuxième échangeur air/air 15 dans lequel il va s'échauffer et retrouver sensiblement la température ambiante en augmentant de volume pour passer de 90 cm^3 à 129 cm^3 .

Lorsque le troisième piston 2B du troisième cylindre 1B est à son point mort haut, la soupape d'admission 9B est ouverte et l'air comprimé à pression tertiaire de travail - 5 bars - contenu dans le deuxième échangeur 15 alimente à pression constante la troisième chambre active incluse CA2 du troisième cylindre 1B et repousse le piston 2B dans sa course descendante en produisant un travail, le piston 2B atteint la ligne DD' à laquelle le volume de la troisième chambre active CA2 de 129 cm^3 se trouve à la pression tertiaire de travail - 5 bars - identique à la pression de l'air contenu dans le deuxième échangeur 15. La soupape d'admission 9B est fermée et elle interrompt l'arrivée de l'air sous pression. L'air comprimé à la pression tertiaire contenu dans la troisième chambre active CA2 se détend alors complètement en repoussant le troisième piston 1B vers son point mort bas en faisant un travail moteur de détente, pour atteindre la pression atmosphérique.

Lors de cette détente, l'air comprimé se refroidit à moins 78 degrés. Le troisième piston 1B arrive à son point mort bas alors que la pression de l'air contenu dans le troisième cylindre 1B d'un volume total donné de 400 cm^3 est proche de la pression atmosphérique et la soupape d'échappement 8B est alors ouverte et le troisième piston 2B repousse à l'atmosphère l'air contenu dans le troisième cylindre 1B.

La figure 6 représente un moteur à chambre active incluse selon l'invention et son dispositif d'alimentation en air à haute pression comportant un dispositif de réchauffage de l'air comprimé par une parabole solaire 16 qui focalise dans la capacité de travail en permettant l'augmentation de la

température de l'air comprimé qui la traverse. Cet agencement permet d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, avant son introduction dans la chambre active incluse, va accroître sa température et augmenter de pression et/ou de volume en permettant l'augmentation des performances du moteur et/ou de l'autonomie du véhicule équipé du moteur.

La figure 7 représente le moteur à chambre active selon l'invention pluri-cylindres en version bi-énergies sur laquelle on peut voir un dispositif schématique 17 de réchauffage de l'air comprimé positionné entre le dernier (deuxième) échangeur thermique 15 et l'admission du dernier (troisième) cylindre avec apport d'énergie additionnelle. Ce dispositif de réchauffage est ici un brûleur 17 alimenté par une bouteille de gaz 18. La combustion mise en œuvre est donc ainsi ici une combustion externe-interne et elle permet d'augmenter considérablement le volume et/ou la pression de l'air comprimé en provenance de l'échappement du cylindre précédent (deuxième cylindre).

La figure 8 représente le moteur à chambre active selon l'invention fonctionnant en mode bi-énergies autonome avec l'énergie dite additionnelle fossile ou végétale lorsque, selon une variante de l'invention, il entraîne un compresseur 19 d'air comprimé qui alimente le réservoir de stockage 12 à travers un échangeur thermique air/air 20. Le fonctionnement général du moteur est identique à celui décrit précédemment en référence aux figures 1 à 4. Toutefois cette disposition additionnelle permet de remplir le réservoir de stockage en cours d'utilisation, au moyen d'une énergie additionnelle.

Par comparaison avec l'état de la technique constitué par les inventions précédentes des inventeurs relatives aux moteurs dits à « chambre active », la présente invention propose un procédé de pilotage du fonctionnement d'un moteur comportant au moins un cylindre fermé par une culasse et balayé par un piston, avec possibilité d'arrêt du piston au point mort haut, qui permet d'incorporer/d'inclure fonctionnellement et ainsi structurellement dans le cylindre moteur une chambre active CA qui, dans les inventions précédentes, était « externe » au cylindre auquel cette chambre active « externe » était reliée.

Cette inclusion/incorporation de la chambre active CA dans le cylindre ne permet pas seulement une simplification structurelle d'un moteur à air ou gaz comprimé dit à chambre active, mais elle permet aussi une amélioration de ses performances et de son rendement.

Le moteur à chambre active selon l'invention a été décrit avec un fonctionnement avec de l'air comprimé. Toutefois, il peut utiliser n'importe

quel gaz comprimé/gaz à haute pression, sans pour autant sortir du champ de l'invention revendiquée.

L'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisations décrits et représentés : les matériaux, les moyens de commande, les dispositifs décrits
5 peuvent varier dans la limite des équivalents, pour produire les mêmes résultats. Le nombre de cylindres moteurs, leurs cylindrées, le volume maximum de la chambre active par rapport au volume déplacé du/des cylindre(s) et le nombre d'étages de détente, peuvent varier.

REVENDICATIONS

- 1.- Moteur à chambre active, comportant au moins un piston (2) monté coulissant dans un cylindre (1) et entraînant un vilebrequin (5) au moyen d'un dispositif bielle-manivelle (3,4) traditionnel et fonctionnant selon un cycle thermodynamique à quatre phases comportant :
- une détente isotherme sans travail ;
 - un transfert – légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
 - une détente polytropique avec travail ;
 - un échappement à pression ambiante ;
- alimenté préférentiellement par de l'air comprimé, ou par tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression (12), à travers une capacité tampon dite capacité de travail (11) qui est alimentée par de l'air comprimé, ou tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression (12), qui est détendu à une pression moyenne dite pression de travail dans une capacité de travail (11), préférentiellement à travers un dispositif de détendeur dynamique (13), caractérisé :
- en ce qu'il comporte au moins un piston monté coulissant (2) dans au moins un cylindre (1) dont le volume balayé par le piston est divisé en deux parties distinctes dont une première partie constituant la chambre active (CA) qui est incluse dans le cylindre et une deuxième partie constituant la chambre de détente (CD) ;
 - en ce que le volume du cylindre (1) qui est balayé par le piston (2) est fermé en sa partie supérieure par une culasse (6) comportant au moins un conduit et orifice d'admission (7) et au moins un conduit et orifice d'échappement (9) et qui est aménagé de telle sorte que, lorsque le piston (2) est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston et la culasse (6) est, par construction réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston et la culasse ;
 - en ce que l'air comprimé ou le gaz sous pression est admis dans le cylindre au dessus du piston, et, sous la poussée continue de l'air comprimé, ou tout autre gaz, à pression constante de travail, le volume de la chambre active (CA) augmente en produisant un travail représentant la phase de transfert quasi-isotherme ;
 - en ce que l'admission de l'air comprimé, ou du gaz sous pression, dans le cylindre est obturée dès lors que le volume maximal de la chambre active (CA) est atteint, et que la quantité d'air comprimé, ou du gaz sous pression, comprise dans ladite chambre active se détend alors en repoussant

le piston sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de détente (CD) en produisant un travail assurant ainsi la phase de détente ;

- en ce que, le piston ayant atteint son point mort bas, l'orifice d'échappement est alors ouvert pour assurer la phase d'échappement pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course.

2.- Moteur à chambre active selon la revendication 1, caractérisé en ce que le volume maximal de la chambre active incluse (CA) et le volume de la chambre de détente (CD) sont dimensionnés de telle sorte que, à la pression nominale de fonctionnement du moteur, la pression en fin de détente au point mort bas est proche de la pression atmosphérique.

3.- Moteur à chambre active selon les revendications 1 et 2, caractérisé :

- en ce qu'il comporte plusieurs cylindres consécutifs (1 ; 1A ; 1B) de cylindrée croissante fonctionnant chacun selon le même principe qui vient d'être décrit ;

- en ce que le premier cylindre de plus petite cylindrée est alimenté en air comprimé, ou du gaz sous pression, par la capacité de travail (11) et que le ou les cylindres suivants sont chacun alimentés par l'échappement (8A, 8B) du cylindre précédent ;

- en ce que un ou plusieurs échangeur(s) thermique(s) avec l'atmosphère est/sont positionné(s) entre chaque cylindre permettant d'augmenter la température de l'air de l'échappement du cylindre précédent pour la ramener proche de la température ambiante et augmenter ainsi le volume de l'air échappé.

4.- Moteur à chambre active selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans son application bi-énergies, caractérisé en ce que la capacité de travail (13) comporte un dispositif de réchauffage (17) par une énergie additionnelle, fossile ou autre de l'air comprimé, ou du gaz sous pression, à pression constante ledit dispositif de réchauffage permettant d'augmenter la température de l'air ou du gaz qui le traverse et d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, ou du gaz sous pression, avant son introduction dans la chambre active, va accroître sa température et augmenter de volume en permettant l'augmentation de l'autonomie d'une machine équipée du moteur selon l'invention, dans la proportion de ladite augmentation de volume.

5.- Moteur à chambre active selon les revendications 3 et 4, caractérisé en ce qu'un dispositif de réchauffage à pression constante est positionné entre les deux derniers desdits cylindres consécutifs, après

l'échangeur, ledit dispositif permettant d'augmenter la température de l'air ou du gaz qui le traverse et d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, ou le gaz sous pression, avant son introduction dans la chambre active, va accroître sa température et augmenter de volume en permettant l'augmentation de l'autonomie d'une machine équipée du moteur selon l'invention.

6.- Moteur à chambre active dans son application bi-énergies, selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que le dispositif de réchauffage (25) comporte une parabole solaire focalisant dans la capacité de travail pour permettre l'augmentation de la température de l'air comprimé, ou du gaz sous pression, et d'augmenter la quantité d'énergie utilisable et disponible par le fait que l'air comprimé, ou le gaz sous pression, avant son introduction dans la chambre active, va accroître sa température et augmenter de volume en permettant l'augmentation de l'autonomie d'une machine équipée du moteur selon l'invention.

7.- Moteur à chambre active selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le couple et le régime du moteur sont pilotés par le contrôle de la pression dans la capacité de travail (11).

8.- Moteur à chambre active selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que, lors du fonctionnement en mode bi-énergies avec énergie additionnelle, un calculateur électronique contrôle la quantité d'énergie apportée en fonction de la pression de l'air comprimé, ou du gaz sous pression, et donc de la masse d'air, ou de gaz, introduite dans la capacité de travail.

9.- Moteur à chambre active selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans son application bi-énergies autonome, caractérisé en ce que le moteur est couplé avec et entraîne un compresseur de l'air, ou du gaz, permettant, pendant son fonctionnement avec l'énergie additionnelle, d'alimenter en air comprimé, ou en gaz sous pression, le réservoir de stockage.

10. Moteur à chambre active selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'un échangeur thermique est positionné entre le compresseur et le réservoir de stockage telle sorte que l'air comprimé, ou le gaz, à haute pression à température élevée en sortie du compresseur retrouve dans le réservoir une température proche de la température ambiante.

11.- Moteur à chambre active selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il fonctionne selon trois modes pouvant être utilisés séparément ou en combinaison :

- 5 - le fonctionnement mono-énergie zéro pollution, avec l'air, ou le gaz, préalablement comprimé contenu dans le réservoir de stockage à haute pression ;
- le fonctionnement bi-énergies avec l'air, ou le gaz, préalablement comprimé contenu dans le réservoir plus l'énergie additionnelle apportée par un dispositif de réchauffage ;
- 10 - le fonctionnement bi-énergies autonome avec l'air, ou le gaz, comprimé dans le réservoir par un compresseur entraîné par le moteur plus l'énergie additionnelle apportée par le dispositif de réchauffage.