

## Soupape anti-érosion à rotations épicycloïdales

L'invention concerne un dispositif destiné à ouvrir et fermer périodiquement des conduits où s'écoulent des fluides liquides, gazeux ou polyphasiques. L'invention est  
 5 une Soupape Anti-Erosion à Rotations Epicycloïdales (SAERE) qui se caractérise par :

1. un obturateur rotatif *directement* contrôlé par les mouvements de rotation d'un train épicycloïdal,
2. *l'obturateur tourne entre 2 butées à billes,*
- 10 3. un *seul arbre* du train épicycloïdal *permet de régler continûment et à volonté à la fois les moments d'ouverture/ fermeture du conduit et la section de passage* offerte au fluide qui s'y écoule,
4. *des sculptures à la périphérie* du disque rotatif.

15 **Ce qui procure les appréciables fonctionnalités suivantes :**

1. La course et la phase de la soupape sont librement choisies par la commande angulaire d'un *seul arbre en rotation, avec grande section d'écoulement de fluide et sans choc entre les pièces,*
- 20 2. *La friction est très réduite et n'érode pas significativement* le disque rotatif,
3. *Les pièces d'usure sont des butées à billes robustes et des segments, remplaçables si besoin.*

25 La présente invention(SAERE) trouve son application dans toute machine(MAC) où il est nécessaire d'obturer périodiquement l'écoulement d'un fluide selon des lois variables en phase et en ouverture, *en particulier dans le domaine des moteurs à combustion interne* où le déphasage  
 30 des soupapes en phase et le contrôle des amplitudes de leur mouvement sont deux voies majeures pour améliorer la combustion : ceci augmente la puissance du moteur(MAC) et/ou réduit les consommations et émissions de polluants.

La présente invention s'inscrit aussi dans deux précédentes demandes de brevets de la Société SYCOMOREEN : le dispositif(SAERE) est un perfectionnement du système de soupapes à calage variable entièrement pilotable en phase et en ouverture, utilisé et très partiellement décrit dans 5 FR2925571A (Machine à Pistons Rotatifs à Battement Contrôlé(MPRBC)). Ce système est aussi repris dans le dépôt de brevet INPI 0900756 du 19/02/2009 dans la version non-rotative des machines à Piston Octogonal à Géométrie 10 Déformable Contrôlée(POGDC).

Seront exposés successivement dans ce document :

1. L'histoire et l'état de l'art des techniques de soupapes :
  - 15 a. tiroir coulissant
  - b. valve à tige/tulipe ('poppet valve')
  - c. soupapes rotatives (de types ASPIN et CROSS)
  - d. chemises mobiles
2. L'histoire et l'état de l'art des contrôles de 20 soupapes
  - a. sur les machines à vapeur
  - b. le calage variable en phase et en ouverture(VVT)
  - c. cas particulier des distributions desmodromiques
3. Synthèse de l'état de l'art
- 25 4. Les Soupapes Anti-Erosion à Rotations Epicycloïdales
  - a. Le dispositif(SAERE)
  - b. Les performances techniques atteintes
  - c. Un train épicycloïdal standard
  - d. Trois cinématiques épicycloïdales remarquables
  - 30 e. Sculptures à la périphérie de l'obturateur
  - f. Description détaillée
    - i. Figs 1A à 1D
    - ii. Figs 2A et 2B
    - iii. Figs 3A à 3I
- 35 5. Les revendications

## 1. Etat de l'art des techniques de soupapes

1. a) La technologie la plus ancienne de valves est le tiroir coulissant, utilisé dans les machines à vapeur. Mais  
5 à la fin du XIXème siècle, le perfectionnement des machines à vapeur et *les premiers moteurs à explosion génèrent des pressions plus importantes : la friction s'accroît et compromet l'étanchéité et la longévité des tiroirs coulissants.* Ceci va conduire à la soupape « moderne ».

10 1. b) Les valves à tige/tulipe ('poppet valves') apparaissent à la fin du XIXème siècle pour des machines à vapeur perfectionnées (par exemple US339809 en 1886), puis leurs évolutions améliorent la respiration des moteurs à combustion pour l'admission et l'échappement. Elles  
15 résolvent les problèmes de friction et d'étanchéité par l'assemblage métallique solidaire d'une tige et d'une « tulipe », laquelle appuie sur une portée (le siège de soupape), grâce à un ressort de rappel et/ou à la pression des gaz dans la chambre de combustion. *La tige est guidée*  
20 *axialement en translation par la culasse du moteur et ouverte par une poussée intermittente en partie haute par divers moyens mécaniques (arbre à cames, embiellages, basculeurs, galets...) animés par la machine(MAC).*

Avant même le XXème siècle, des motoristes proposent  
25 déjà des implantations spécifiques de la culasse avec des soupapes 'poppet', comme dans GB189519735A datant de 1895 émanant de DE DION & BOUTON. Ces soupapes induisent des progrès importants dans le rendement des moteurs à combustion interne, lesquels permettent dès 1900 jusqu'à  
30 nos jours le plein essor des engins motorisés, notamment les automobiles.

Ce rappel historique n'est pas dénué d'intérêt car les valves 'poppet' ont géométriquement peu évolué. Elles sont presque universellement utilisées pour les moteurs.

1.c) Durant le XXème siècle, de nombreux ingénieurs et inventeurs souhaitent explorer une autre voie : les soupapes rotatives. Il paraît en effet mécaniquement peu judicieux de convertir le mouvement de rotation du moteur (en général à pistons, bielles et vilebrequin) en un mouvement de translation, de surcroît éloigné car placé en partie haute du moteur alors que le vilebrequin est en partie basse. Ainsi les soupapes rotatives se développent et sont expérimentées selon deux voies différentes :

- 10 - **Les soupapes à arbres rotatifs, d'axe parallèle à l'arbre moteur**, typiquement bien décrites par les brevets de Roland Claude CROSS (1923 à 1963, par exemple CA370900A), mais avec des variantes nombreuses, notamment antérieures telles que celles de la valve MINERVA BOURNONVILLE(années 1920), ou de FRAYER & HOWARD(1909), ou bien celle de BUTLER(1904). On peut citer comme autres travaux relatifs : MUELLER (1914), FRANCIS(1921), FREYLER(1927), MELLORS(1944), valves rotatives NORTON (années 1960), LOTUS 2 temps à valve rotative (années 1990), valves rotatives sphériques de Georges J.COATES (années 1990, par exemple US4944261A, encore en développement).
- 20
- **Les soupapes à arbres rotatifs, d'axe orthogonal à l'arbre moteur**, et bien décrites par les brevets de Franck ASPIN(1935 à 1975, par exemple FR931056A), avec de nombreuses autres variantes ultérieures comme celle de Walter FROEDE (années 1950), mais aussi antérieures comme celle de Léonard VALLILEE(1911) ou Fernand FOREST(1881). On peut citer comme autres travaux relatifs : Marcel ECHARD(1920), DENNISSON(1921), Frank W. OFELDT(1924), CRAWFORD(1925), PEACY(1926), Walter F. ISLEY(1942), TJAARDA pour BRIGGS(1942 à 1943), GERNANDT pour BRIGGS(1944) , et une récente approche élastique WO2008129392A1 par THYSSENKRUPP METALURGICA.
- 25
- 30

Par rapport aux soupapes à tige/tulipe traditionnelles, les soupapes rotatives sont conceptuellement plus séduisantes car elles permettent des ouvertures/fermetures rapides sur une large section d'écoulement, en déviant moins le fluide et sans problème d'inertie ou de vibration car leur chaîne cinématique ne comporte que des pièces équilibrées en rotation. Elles se développent significativement à partir des années 20 où Harry RICARDO les envisage pour les moteurs à vitesses de rotation élevées dans son livre « The High Speed Internal Combustion Engine ».

Et pourtant **les soupapes rotatives souffrent encore de deux importants problèmes techniques :**

- soumises à la pression de la chambre tout en étant en mouvement, elle dissipent par friction une importante puissance mécanique,
- la friction engendre une érosion des soupapes, de fait rapidement peu étanches. Le moteur perd de la puissance par des fuites lors de la compression et de la détente.

Ceci les a empêché, malgré de nombreux essais et propositions, de détrôner la soupape à tige/tulipe : cette dernière supprime le mouvement et met à profit la pression de la chambre de combustion pour l'étanchéité : ainsi cette pression devient une alliée qui ne dissipe aucune énergie. Les promoteurs de soupapes rotatives en sont conscients et proposent de nombreux systèmes destinés à limiter le frottement pour des soupapes rotatives :

- Soit par des mécanismes ralentissant la soupape rotative au moment de la compression/détente (le pic de pression) avec des cinématiques élaborées : croix de Malte / roue de Genève (MUELLER, MELLORS), ou engrenages à rapport de réduction variable au cours du mouvement (DENNISSON).

- Soit en *appliquant un effort contraire à la soupape pendant le pic de pression* (CROSS, CRAWFORD) : l'exercice étant particulièrement difficile puisque les fuites peuvent survenir et le bon compromis friction/fuites peut dériver au cours de la durée de vie du moteur (mécanisme complexe en haut-cylindre).
- Soit en *apportant du lubrifiant* de diverses manières entre la culasse et la valve rotative (ECHARD, FRANCIS, OFELDT, PEACEY, FREYLER, ASPIN, NORTON) avec plus ou moins de succès car ce lubrifiant part souvent dans la chambre de combustion et ne ralentit pas toujours suffisamment l'usure des soupapes.

Bien entendu, tous ces choix technologiques ont été repris, perfectionnés, modifiés conceptuellement ou concrètement par de nombreux intervenants (motoristes et indépendants) tout au long du XXème siècle.

**1.d) Citons enfin les systèmes à chemises mobiles (ou à « fourreau coulissant »)** destinés à supprimer la soupape : ils ouvrent et ferment périodiquement des lumières d'admission ou d'échappement à la manière de tiroirs coulissants élaborés. Le premier brevet de chemise mobile est déposé en 1905 par Charles Yale KNIGHT et Liman Bernard KILBOURNE (US14,729). Le système est repris jusque dans les années 1940 par PEUGEOT, PANHARD, VOISIN et MINERVA et sur quelques rares moteurs d'avions. Il est progressivement abandonné car *il consomme beaucoup d'huile et pose des problèmes d'usure et de frottements à cause d'une double friction* : la chemise mobile frotte à la fois sur le piston et le cylindre. Plus récemment, la société anglaise RCV, créée en 1997 poursuit le développement des « RCV engines » avec une chemise rotative, principalement pour motoriser les scooters.

## 2. Etat de l'art des contrôles de soupapes

2.a) Historiquement, les premiers contrôles de soupapes se développent sur les machines à vapeur au XIXème siècle. Les valves de STEPHENSON ou de CORLISS visaient à réduire le temps d'admission de la vapeur, et/ou de l'échappement. Dans les années 20 se développent quelques expérimentations dans l'aviation : le BRISTOL Radial Engine a une variation sur le temps de fermeture à l'admission. Le LYCOMING R-7755 possède 2 jeux de soupapes, l'un donnant la pleine puissance, l'autre permettant un vol économique.

Si la plupart des mécanismes de soupapes étaient découverts dès les années 1950, leur contrôle était encore peu développé. Le développement de moteurs de compétition, puis les normes de pollution plus strictes conduisent progressivement à *l'industrialisation en masse de mécanismes déphaseurs pour l'ouverture des soupapes, et plus rarement de mécanismes faisant varier la course des soupapes*, qui sont presque toujours de type 'poppet valve' selon la conception très ancienne de la fin XIX<sup>e</sup>/début XX<sup>e</sup>.

2.b) Les technologies de contrôle des soupapes, destinées à leur calage variable en phase et/ou en ouverture sont regroupées sous **l'appellation anglo-saxonne VVT : Variable Valve Timing**. Dès les années 1960, FIAT propose un système de contrôle de soupape en course (US3,641,988) par déplacement hydraulique d'un pivot. ALFA ROMEO propose son système VVT dans les années 1980 (US4,231,330) et commercialise la « Spider 2L ». Les Japonais démarrent leurs programmes déphaseurs VVT à la même période : NISSAN avec le 'variable cam system (NVCS,1986), HONDA avec le 'valve timing and lift electronic control' (VTEC,1989). Dans les années 1990, l'université CLEMSON brevète un VVT à arbres à cames concentriques, notamment dans US5253546A et WO9500748A1.

Les Allemands de BMW lancent le 'VARIABLE NOckwellen Steuerung' (VANOS,1992) (déphaseurs hydrauliques d'arbre à cames proches des VVT japonais). Dans les années 2000, BMW complète le système VANOS avec le VALVETRONIC pour régler  
 5 la course de la soupape, les VANOS continuant de déphaser.

Progressivement, de nombreux motoristes développent un VVT déphaseur. Les motoristes développant un VVT réglant aussi la course de la soupape sont moins nombreux et les modèles moins diffusés : BMW 'VALVETRONIC', HONDA 'A-VTEC',  
 10 MITSUBISHI 'MIVEC', NISSAN 'VVEL', PORSCHE 'PROTON CAMPRO CPS', SUBARU 'AVLS', TOYOTA 'VVTL-i' ou 'VALVEMATIC', et très récemment l'AUDI 'VALVELIFT'...

En ce qui concerne **la technologie des déphaseurs, il s'agit toujours d'avancer ou retarder l'arbre à cames :**  
 15 translation dans un fourreau hélicoïdal, injection d'huile (VANOS,VVT-i), trains épicycloïdaux tels qu'exposé dans JP9133200A ou KR20020015825A, ou bien actuateurs électromagnétiques (DE102008039359A1).

En ce qui concerne **la technologie des régleurs de**  
 20 **course, il s'agit toujours d'amplifier ou réduire la course de la soupape 'poppet', dans l'axe de sa tige.** Utilisation de jeux de cames différents, (passage de l'un à l'autre via un mécanisme *ad-hoc*) ou commande hydraulique : US3,641,988 de FIAT, EP2019189A1 de ISUZU ou CADILLAC 'Displacement on Demand' (DoD). BMW a choisi le VALVETRONIC : basculeur profilé poussé par deux cames : l'une de réglage(via moteur électrique), l'autre principale. Pour finir, JP11336514A et JP11336515A présentent la couronne d'un train épicycloïdal qui contrôle la course de la soupape via un  
 25 arbre à came, un basculeur à galets (le porte-satellites), et le planétaire dont la rotation alternative (de petite amplitude) percute plus ou moins la tige de soupape.  
 30



Certains autres motoristes dont RENAULT ont étudié le CAMLESS : contrôle électromagnétique direct de la soupape, en phase et potentiellement en ouverture.

2.c) En marge de tous ces VVT existent des **mécanismes**  
5 **desmodromiques** très particuliers. Leur naissance remonte aux brevets de Claude BONJOUR en 1893 (CH6911A) et 1899 (CH20200A). L'objectif est de contrôler bilatéralement la translation d'une tige. En 1914, un moteur DELAGE utilise une distribution desmodromique, et par la suite, MERCEDES  
10 et DUCATI. Ces derniers suppriment le ressort de rappel et le remplacent par une came de rappel : la soupape est bilatéralement accompagnée dans sa translation alternée par deux cames homocinétiques (via des basculeurs ou non), aux profils judicieusement calculés. Les déphasages sont  
15 possibles, mais pas le réglage de course, à moins d'avoir plusieurs jeux de cames desmodromiques (très complexe).

### 3. Synthèse de l'état de l'art

20 Pour synthétiser les faits de ces rappels très riches historiquement et technologiquement :

3.1. **Les soupapes rotatives n'ont pas complètement vaincu leurs problèmes de frottement ou d'étanchéité** liés à leur érosion. Pourtant, elles gardent tout leur intérêt car leur  
25 mouvement rotatif uniforme permet une grande section de passage et des ouvertures/fermetures rapides.

3.2. **Les soupapes « poppet » (à tige/tulipe) sont prépondérantes malgré des cinématiques complexes** pour les actionner. La **section de passage offerte est limitée**.

30 3.3. **Les systèmes VVT ne parviennent pas à régler le déphasage ET la course des soupapes avec un seul actionneur(CMD) ; de plus, les plages de réglage sont souvent limitées** à quelques dizaines de degrés pour le

déphasage, et quelques mm pour la course, **parfois avec choc entre les pièces mobiles.**

3.4. De rares mécanismes VVT utilisent des trains épicycloïdaux avec deux entrées : l'une principale(PRI) et  
5 l'autre réglage(REG).

#### 4. La nouveauté SAERE

**4.a) La Soupape Anti-Erosion à Rotations Epicycloïdales** (SAERE) se démarque nettement de l'état de  
10 l'art actuel, aussi bien par sa structure mécanique que par ses avantages techniques. Elle est composée (Figs. 1A-1G) :

- \* d'un socle(SOC) présentant un protubérance annulaire(PAN) à l'intérieur de laquelle se loge la première butée à billes(BAB1) et sur laquelle sont  
15 prévues des rainures pour une segmentation circulaire(SEGA,SEGB) étanche. Le socle(SOC) comporte au moins une lumière(LUM) autour de laquelle peuvent se répartir des segments horizontaux(SEGC,SEGD),
- \* d'un disque obturateur rotatif(OBT) à sculptures(SCU,SCU1,SCU2...) périphériques pour ouvrir et  
20 fermer sans choc la lumière(LUM) percée dans le socle(SOC) et communiquant avec une chambre(CHA). Des rainures périphériques sont prévues pour une segmentation(SEGE, SEGF,SEGG) étanche,
- \* d'un carter(CAR) recouvrant le disque rotatif(OBT) et appuyant sur lui par l'intermédiaire de la deuxième butée à billes(BAB2) et d'un assemblage vissé ou soudé sur le socle(SOC), avec un orifice échangeur(ECH),
- \* d'un train épicycloïdal en partie haute, composé d'un  
30 planétaire(PLA), de satellites (SAT,SAT1,SAT2...) d'un porte-satellites(PST) et d'une couronne(COU) : parmi (COU,PLA,PST), l'un est solidaire de l'obturateur rotatif(OBT), l'autre est l'entrée rotative principale(PRI) en provenance de la machine(MAC), et le  
35 dernier est la seule entrée de réglage(REG) via (CMD),

\* de tout dispositif de commande(CMD) capable d'imposer à l'entrée de réglage(REG) un mouvement de rotation contrôlée : moteur électrique, engrenage, vis-sans-fin, courroie, chaîne...

5 \* d'une lubrification optionnelle.

**4.b) Les performances techniques atteintes** sont :

- soupape à mouvement rotatif sensiblement uniforme, à grande section de fluide et ouverture/fermeture rapides sans choc entre les pièces,
- 10 - soupape à friction très réduite, grâce aux 2 butées à billes et aux nombreux roulements(RLT1,RLT2...) garantissant des rotations internes très peu dissipatives, même sans lubrification,
- 15 - soupape à calage variable entièrement pilotable en phase et en ouverture avec *un seul* organe rotatif de réglage(REG) à choisir parmi(COU,PST,PLA), piloté par le dispositif de commande(CMD).

Ainsi, les inconvénients des points 3.1. et 3.2. sont  
20 supprimés tandis que les avantages sont maintenus. Le système VVT, contrairement au 3.3. se fait avec un *seul* arbre en rotation commandé angulairement : cette commande angulaire peut être de 2 ordres :

- **statique** (arbre fixe): elle règle le **déphasage**,
- 25 - **dynamique** (arbre en rotation): elle règle **la section de passage du fluide** ; elle peut même maintenir constamment ouverte ou fermée la lumière (LUM) par le blocage en position du disque obturateur(OBT).

30 Le point 3.4 est repris : puisque le train épicycloïdal est un mécanisme bi-mobile, les positions de ses pièces requièrent la connaissance de 3 mouvements de rotation :

1. La rotation du planétaire(PLA)
2. La rotation du porte-satellites(PST)

### 3. La rotation de la couronne(COU)

C'est pourquoi un train épicycloïdal représente un optimum dans le cadre d'une soupape rotative à calage variable. La présente invention va toutefois expliquer maintenant en quoi elle apporte une nouveauté technique en terme de calage variable épicycloïdal.

**4.c) Un train épicycloïdal standard** est illustré à la figure 2A et comporte une couronne(COU) à  $Z_3$  dents intérieures, des satellites(SAT1,SAT2...) à  $Z_2$  dents externes, emmenés par le porte-satellites(PST), et le planétaire(PLA) à  $Z_1$  dents externes. Tous les trains épicycloïdaux compatibles pour (SAERE) sont illustrés aux figures 2A et 2C à 2J. Quel que soit le type de train épicycloïdal, on pose les notations suivantes :

\*  $\omega_{34}$  la vitesse de rotation de la couronne(COU), indicée 3 relativement au porte-satellites(PST), indicé 4

\*  $\omega_{14}$  la vitesse de rotation du planétaire(PLA), indicé 1 relativement au porte-satellites(PST), indicé 4

\*  $\omega_{30}$  la vitesse de rotation de la couronne(COU), indicée 3 relativement au carter(CAR), indicé 0

\*  $\omega_{10}$  la vitesse de rotation du planétaire(PLA), indicé 1 relativement au carter, indicé 0

\*  $\omega_{40}$  la vitesse de rotation du porte-satellites(PST), indicé 4 relativement au carter(CAR), indicé 0

\*  $\lambda = -\frac{Z_1}{Z_3} = -\frac{R_1}{R_3}$  la raison du train épicycloïdal : c'est un

nombre compris entre -1 et 0 car le rayon du planétaire reste compris entre 0 et le rayon de la couronne. Si le rayon de (PLA) est la moitié de celui (COU) :  $\lambda = -1/2$

En supposant le roulement sans glissement et en se plaçant

dans le référentiel du porte-satellites :  $\frac{\omega_{34}}{\omega_{14}} = -\frac{Z_1}{Z_3} = \lambda$

En utilisant les relations de composition des rotations :

$$\frac{\omega_{30} - \omega_{40}}{\omega_{10} - \omega_{40}} = \lambda \Leftrightarrow \boxed{\lambda \omega_{10} - \omega_{30} + (1 - \lambda) \omega_{40} = 0} : \text{la relation de WILLIS.}$$

#### 4.d) Trois cinématiques épicycloïdales remarquables

5 pour (SAERE) découlent de la relation de WILLIS (Fig.2B):

1. **Planétaire(PLA), indicé 1, mis en rotation par**

a. **la couronne(COU), indicée 3**

b. **et le porte-satellites(PST), indicé 4**

$$\boxed{\omega_{10} = \frac{1}{\lambda} \omega_{30} + \frac{\lambda - 1}{\lambda} \omega_{40}}$$

10 Comme  $-1 < \lambda < 0$  ;  $-\infty < \frac{1}{\lambda} < -1$  et  $2 < \frac{\lambda - 1}{\lambda} < +\infty$

Typiquement si  $\lambda = -1/2$  :  $\omega_{10} = -2\omega_{30} + 3\omega_{40}$

2. **Couronne(COU), indicée 3, , mise en rotation par**

a. **le planétaire(PLA), indicé 1**

15 b. **et le porte-satellites(PST), indicé 4**

$$\boxed{\omega_{30} = \lambda \omega_{10} + (1 - \lambda) \omega_{40}}$$

Avec  $-1 < \lambda < 0$  et  $1 < 1 - \lambda < 2$

Typiquement si  $\lambda = -1/2$  :  $\omega_{30} = -\frac{1}{2}\omega_{10} + \frac{3}{2}\omega_{40}$

20 3. **Porte-satellites(PST), indicé 4, mis en rotation par**

a. **le planétaire(PLA), indicé 1**

b. **et la couronne(COU), indicée 3**

$$\boxed{\omega_{40} = \frac{\lambda}{\lambda - 1} \omega_{10} + \frac{1}{1 - \lambda} \omega_{30}}$$

Comme  $-1 < \lambda < 0$  ;  $0 < \frac{\lambda}{\lambda - 1} < \frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{2} < \frac{1}{1 - \lambda} < 1$

25 Typiquement si  $\lambda = -1/2$  :  $\omega_{40} = \frac{1}{3}\omega_{10} + \frac{2}{3}\omega_{30}$

Sur la figure 2B, il y a toujours une relation de vitesses entre la sortie( $S$ ), l'entrée principale(PRI, indicée  $P$ ) et l'entrée de réglage(REG, indicée  $R$ ) :

$$\omega_S = k_P \omega_P + k_R \omega_R$$

On l'intègre par rapport au temps avec tous les angles

5  $\theta_S, \theta_P, \theta_R$  nuls initialement à  $t=0$ . Il vient :

$$\theta_S = k_P \theta_P + k_R \theta_R$$

Cette dernière relation est importante : avec la commande(CMD), on pilote à volonté l'angle  $\theta_s$ , qui est *in fine* celui de l'obturateur(OBT) : de cet angle  $\theta_s$  dépend directement **les instants** d'ouverture et de fermeture(**aspect**  
 5 **déphaseur**), mais aussi la **section de passage** à travers la lumière (aspect **dimension** de l'ouverture, **équivalent de la course** des 'poppet valves' à tige/tulipe). Ainsi :

- **en fonctionnement statique** (arbre de réglage(REG) fixe) :  $k_R \theta_R$  est la phase apportée *continûment* à  
 10 l'obturateur : cette phase est *illimitée* (+/- 360°),
- **en fonctionnement dynamique**, il est possible de régler la position de l'obturateur *continûment* en ayant  

$$\theta_R = \frac{\theta_s}{k_R} - \frac{k_p \theta_p}{k_R}$$
 Avec  $\theta_R$  piloté par la commande(CMD) : une

fois l'angle  $\theta_s$  choisi, l'arbre de réglage(REG) peut  
 15 même le maintenir constant *via* (CMD) malgré la rotation de l'entrée : la vitesse particulière

$$\boxed{\omega_R = \frac{k_p}{k_R} \omega_p}$$
 permet **de stopper l'arbre de sortie(S) dans**

**la position voulue malgré la rotation de la machine(MAC), notamment en pleine section.**

20 Le fonctionnement statique est peu exigeant pour l'actionneur(CMD) et son électronique de contrôle, car il s'agit d'asservissement en position, de type échelon pour  $\theta_R$ , la valeur de l'échelon variant avec les paramètres du moteur(MAC), mesurés par exemple tous les 1/10<sup>e</sup> de seconde.

25 En revanche, le fonctionnement dynamique nécessite un actionneur(CMD) rapide et une électronique de contrôle performante, car ce sont des asservissements en poursuite

qui interviennent : il faut en effet que  $\theta_R = \frac{\theta_s}{k_R} - \frac{k_p \theta_p}{k_R}$  à tout

instant avec  $\theta_p$  variant en permanence.

En contrepartie, les possibilités offertes sont très importantes car on peut régler en instantané la dimension de l'ouverture, et même bloquer l'obturateur dans n'importe quelle position (complètement ouverte, partiellement ouverte/fermée, complètement fermée). Pour obtenir les mesures angulaires précises à quelques degrés près, il faut typiquement mesurer tous les  $1/10\ 000^e$  de seconde à 3000 tr/min car les arbres tournent typiquement à environ 10 000°/s pour un moteur(MAC) à 3000 tr/min.

D'une manière générale, les possibilités de calage variable offertes par la soupape(SAERE) sont infinies en phase et en ouverture à condition d'avoir des capteurs de positions angulaires pour les différents arbres en rotation avec un asservissement de l'arbre de réglage(REG) à l'arbre principal(PRI) via la commande(CMD). Cet asservissement peut être mécanique (via courroie, embiellage...) ou de préférence sur les applications modernes, il sera électronique, avec une cartographie de calage variable dépendant de nombreux paramètres dont les principaux sont la charge et la vitesse la machine(MAC).

**4.e) Des sculptures(SCU,SCU1,SCU2...) à la périphérie de l'obturateur(OBT) permettent à la fois (Figs. 3A,3I) :**

- par leur nombre de diminuer la vitesse de rotation de la soupape, ce qui diminue la puissance qu'elle dissipe par frottement (déjà faible),
- par leur forme de créer des types d'écoulements particuliers et des variations de débits précises, aussi bien à l'ouverture qu'à la fermeture.

En effet, en répétant cycliquement, régulièrement et circulairement  $N$  fois la sculpture(SCU1) sur la périphérie du disque obturateur(OBT), celui-ci tournera  $N$  fois moins vite pour exactement la même distribution de fluide à travers la lumière(LUM).



Les sculptures périphériques(SCU,SCU1,SCU2...) peuvent avoir des formes très variées :

- le secteur angulaire refermé par des segments radiaux conduit à une évolution *linéaire* de la section de passage à l'ouverture ou à la fermeture, avec éventuellement une période de pleine section (constante) peu après l'ouverture et peu avant la fermeture.
- Le secteur angulaire refermé par des cercles(figs. 3D,3I) conduit à une évolution *sensiblement quadratique* de la section de passage à l'ouverture ou à la fermeture, avec éventuellement une période de pleine section (constante) peu après l'ouverture et peu avant la fermeture.
- Mais les géométries et combinaisons de secteurs angulaires sont infiniment variables (figs. 3A-3B) pour créer divers effets aéro ou hydro-dynamiques à l'admission comme à l'échappement : ces effets seront, non exhaustivement : maximisation de la section d'écoulement, modulations de débit, écoulement tourbillonnaire ou laminaire, résonances vibratoires avec d'autres écoulements ou oscillations mécaniques...

**4.f) La description détaillée** suivante se réfère aux dessins annexés sur 9 pages et fait apparaître d'autres caractéristiques et avantages de la présente invention.

**4.f.i) La figure 1A** illustre en perspective écorchée un dispositif(SAERE) conforme à l'invention. De bas en haut, on distingue la communication entre la chambre(CHA) et le fluide traversant le dispositif(SAERE) à travers l'échangeur(ECH), par l'intermédiaire de la lumière(LUM) périodiquement fermée par l'obturateur(OBT).

L'obturateur(OBT) est monté en pivot avec 2 roulements(RLT2,RLT3) solidaires du socle(SOC) et du

carter(CAR). L'obturateur(OBT) est bloqué axialement par 2  
 butées à billes, l'une inférieure(BAB1) et l'autre  
 supérieure(BAB2). Pour autant, l'obturateur peut avoir de  
 légers jeux mécaniques radiaux et axiaux car une  
 5 segmentation(SEG,SEGA,SEGB,SEGC,SEGD,SEFE,SEGG) empêche les  
 fuites malgré le décollement des surfaces principales. Ces  
*précautions de guidage (roulements et butée à billes) et*  
*d'étanchéification permettent au dispositif(SAERE)*  
*d'assurer des échanges de fluide sans fuites notables tout*  
 10 *en dissipant très peu d'énergie.*

**La figure 1B** représente en perspective une vue de  
 dessus du dispositif. En zone supérieure, des vis  
 (VIS1,VIS2,VIS3,VIS4) assemblent simplement et de manière  
 réversible le socle(SOC) et le carter(CAR), tout en  
 15 positionnant naturellement les éléments mobiles  
 internes(BAB1,BAB2,OBT,SEG). Le socle(SOC) peut constituer  
 une pièce indépendante, ou bien être directement intégré à  
 la culasse de la machine(MAC) où le dispositif(SAERE) prend  
 place. A l'extérieur du carter(CAR) et en zone supérieure  
 20 s'inscrit un train épicycloïdal avec ses 3 éléments  
 principaux : la couronne(COU), le porte-satellites(PST) et  
 le planétaire(PLA). Il y a au moins un  
 satellite(SAT1,SAT2,SAT3). Le nombre de satellites(SAT) n'a  
 pas d'incidence particulière sur la cinématique ;  
 25 toutefois, un nombre de 3 permet un auto-centrage et une  
 répartition des efforts sur 3 éléments principaux  
 (COU,PST,PLA). Parmi ces 3 éléments, l'un est homocinétique  
 avec l'obturateur(OBT), l'autre est l'entrée  
 principale(PRI) en rotation continue grâce à la  
 30 machine(MAC), et le dernier est l'entrée de réglage(REG)  
 pilotée via l'organe de commande(CMD). Les connexions entre  
 l'entrée principale(PRI) et la machine(MAC), ou entre la  
 commande(CMD) et l'arbre de réglage(REG) se font par tout

moyen adéquat comme une poulie, des chaînes/courroies, des engrenages, l'électromagnétisme, la piézoélectricité..

**La figure 1C** illustre en perspective une vue de dessous du dispositif assemblé. En partie inférieure se trouve la lumière(LUM). Le nombre de lumières(LUM) peut être supérieur à un, par exemple pour alimenter plusieurs chambres(CHA) avec une seule soupape(SAERE), ou bien alimenter une seule chambre(CHA) avec plusieurs lumières(LUM), de manière à augmenter la section de passage du fluide. On retrouve en partie supérieure l'organe de commande(CMD) de l'arbre de régulation(REG) à choisir parmi(COU,PST,PLA). L'organe(CMD) sera classiquement un moteur électrique, mais on peut aussi envisager des moyens plus traditionnels, comme des embiellages purement mécaniques, ou au contraire très élaborés comme des 15 actuateurs électromagnétiques, piezoélectriques, etc..

**La figure 1D** montre une coupe de(SAERE) selon le plan médian séparant la lumière(LUM) en 2 parties égales. 3 types de segmentation se démarquent : une première 20 segmentation circulaire interne(SEGA,SEGB) qui s'implante en partie inférieure centrale sur la protubérance annulaire(PAN) ; une deuxième segmentation avec des segments horizontaux(SEGC,SEGD) qui s'implantent localement de part et d'autre de la lumière(LUM) et entre le socle(SOC) et l'obturateur(OBT) ; une troisième 25 segmentation circulaire externe(SEGE,SEGF,SEGG) qui s'implante entre l'obturateur(OBT) et le carter(CAR). Le nombre de segments du premier type est au minimum 1, du deuxième type au minimum 2, et du troisième type au minimum 30 1. Ainsi, l'obturateur(OBT) reste étanche sans frotter sur le carter ou le socle. Cela limite son usure et la puissance dissipée par le dispositif(SAERE). Les butées à billes(BAB1,BAB2) positionnent axialement l'obturateur(OBT) et on peut même envisager de libérer les billes qui se

répartiront régulièrement entre l'obturateur(OBT) et le socle(SOC) ou le carter(CAR) sous l'effet des forces centrifuges et du mouvement.

**Les figures 1E et 1F** représentent le dispositif(SAERE) en perspective éclatée. On y distingue sur la gauche les roulements(RL1,RLT2,RL4,RLT5,RLT6) qui permettent au train épicycloïdal de tourner précisément et sans frottement. Le choix a été de solidariser le planétaire(PLA) avec l'obturateur(OBT) et de se servir de la couronne(COU) et du porte-satellites(PST) comme entrées de réglage(REG) ou principale(PRI) : des gorges sont aménagées dans la couronne(COU) et le porte-satellites(PST) en vue d'accueillir des courroies. Néanmoins, ces choix techniques ne sont qu'une possibilité parmi beaucoup d'autres : la partie supérieure du dispositif(SAERE) est entièrement flexible, tant dans le type de train épicycloïdal (figs 2C-2J) que dans les rôles des arbres(COU,PST,PLA) ou leurs liaisons mécaniques avec le reste de la machine(MAC).

Enfin, **la figure 1G** montre le dispositif(SAERE) en vue éclatée de profil, partie inférieure à droite, supérieure à gauche, et l'on peut remarquer que l'assemblage ne pose pas de difficultés techniques.

**4.f.ii) Les figures 2A et 2C-2J** représentent les trains épicycloïdaux compatibles avec (SAERE). Leurs organes rotatifs principaux sont la couronne(COU) indiquée 3, le porte-satellites(PST) indicé 4, et le planétaire(PLA) indicé 1. Ces éléments roulent sans glissement l'un sur l'autre par l'intermédiaire des satellites (SAT,SAT1,SAT2,SAT3), indicés 2 ou 2'. De préférence, (COU,PST,PLA,SAT) sont des roues dentées ou bien ont une adhérence suffisante. Cette cinématique est implantée en partie supérieure du dispositif(SAERE). Les angles  $\theta_{10}$ ,  $\theta_{30}$  et  $\theta_{40}$  mesurent respectivement la rotation du planétaire, indicé 1, de la couronne, indiquée 3 et du porte-satellites, indicé

4 par rapport au carter(CAR) indicé 0. La rotation  $\theta_{20}$  des satellites, indicés 2, n'est pas indiquée car elle est sans importance dans les calculs.

5 **La figure 2B** est un tableau qui répertorie les 6 combinaisons possibles (C1,C2,C3,C4,C5,C6) d'attribution des arbres en rotation pour un dispositif(SAERE) ainsi que les relations cinématiques qui en découlent. C'est mathématiquement le nombre de permutations des 3 éléments(COU,PST,PLA). Techniquement, il y a au départ 3  
10 possibilités pour l'arbre de sortie, indicé S, qui est solidaire de l'obturateur(OBT), puis pour chacun de ces 3 cas, il y a encore 2 possibilités pour attribuer l'entrée de réglage(REG), indicé R, et l'entrée principale(PRI, indicée P). Le tableau montre les relations cinématiques du  
15 type  $\omega_s = k_p \omega_p + k_R \omega_R$  où  $\omega$  désigne une vitesse instantanée de rotation. Les coefficients  $k_p$  et  $k_R$  reflètent la cinématique choisie parmi les 6 combinaisons : ils s'expriment uniquement en fonction de  $\lambda = -R_1/R_3$  qui est la raison du train épicycloïdal. Comme le rayon  $R_1$  du planétaire est  
20 compris strictement entre 0 et  $R_3$  le rayon de la couronne, la raison  $\lambda$  reste incluse entre -1 et 0 strictement. Le tableau donne les plages de variation de  $k_p$  et  $k_R$  lorsque  $\lambda$  varie entre -1 et 0. Lorsqu'on multiplie la relation sur les vitesses par  $dt$  un temps infinitésimal :

$$25 \quad \omega_s dt = k_p \omega_p dt + k_R \omega_R dt$$

On a les variations angulaires infinitésimales  $d\theta = \omega dt$  :

$$d\theta_s = k_p d\theta_p + k_R d\theta_R$$

On a par intégration entre l'instant  $t=0$  et l'instant  $t$  :

$$\theta_s^t - \theta_s^{t=0} = k_p (\theta_p^t - \theta_p^{t=0}) + k_R (\theta_R^t - \theta_R^{t=0})$$

30 Avec des angles initiaux tous nuls, il vient :  $\theta_s = k_p \theta_p + k_R \theta_R$

Il est à noter que  $k_p$  et  $k_R$  sont du même ordre de grandeur pour  $\lambda \approx -1/2$ , c'est à dire un rayon de planétaire(PLA) valant environ la moitié du rayon de la couronne(COU).

5           **4.f.iii) La figure 3A** indique quelques formes possibles pour les sculptures périphériques de l'obturateur(OBT), tandis que **la figure 3B** présente quelques formes possibles pour la lumière(LUM). La **figure 3C** suggère quelques superpositions entre une forme de sculpture(SCU) et une autre forme de lumière(LUM). Les  
10 géométries présentées ne sont qu'indicatives et sont susceptibles de varier infiniment en forme et en orientation, **et en 3D** pour influencer l'écoulement : on peut ainsi créer des effets sur la section d'écoulement, le  
15 débit en résultant, mais aussi changer la nature de l'écoulement (laminaire, turbulent en fonction du nombre de Reynolds), et éventuellement créer un remplissage tourbillonnaire (effet 'swirl') par une géométrie 3D adéquate et défléchissante pour la lumière(LUM) et la  
20 sculpture. Des résonances vibratoires peuvent aussi être mises à profit par les formes de (SCU) et (LUM).

Enfin, **les figures 3D,3E,3F,3G,3H et 3I** illustrent un obturateur(OBT) avec respectivement 1,2,3,4,5 et 6 sculptures(SCU,SCU1,SCU2,SCU3,SCU4,SCU5,SCU6) de type  
25 secteur angulaire refermé par des cercles ; la lumière (LUM) est aussi circulaire. Le train épicycloïdal est présent : une couronne(COU), un porte-satellites(PST), les satellites(SAT1,SAT2,SAT3) et le planétaire(PLA). Parmi (COU,PST,PLA), l'un des éléments est l'entrée de  
30 réglage(REG) pilotée par l'organe de commande(CMD), l'autre est l'entrée principale(PRI) en rotation continue grâce à la machine(MAC), et le dernier est la sortie solidaire de l'obturateur(OBT).  $N$  sculptures(SCU) régulièrement réparties circulairement permettent, avec une distribution

de fluide identique, de diviser la vitesse de rotation de l'obturateur par  $N$ , et ainsi de réduire l'usure et la friction entre les pièces mobiles et les pièces fixes.

## 5. Les Revendications

5           Revendications provisoirement non disponibles  
              The claims are temporarily non available  
              Die Ansprüche sind dorübergehend nicht verfügbar  
              Las demandas son temporalmente non disponible



## Soupape Anti-Erosion à Rotations Epicycloïdales

### ABRÉGÉ

Soupape Anti-Erosion à Rotations Epicycloïdales (SAERE) destinée à ouvrir et fermer les conduits d'une machine(MAC) où s'écoulent des fluides, comprenant :

- un obturateur rotatif (OBT) directement contrôlé par un train épicycloïdal en partie haute, composé de : satellites(SAT), couronne(COU), porte-satellites(PST) et planétaire(PLA),
- un orifice échangeur(ECH)
- des sculptures(SCU) périphériques sur l'obturateur(OBT),
- 2 butées à billes(BAB) entre lesquelles tourne l'obturateur(OBT),
- un ensemble de segments(SEG) et de roulements(RLT)
- un carter(CAR) et un socle(SOC).

Parmi les 3 éléments(COU,PST,PLA), l'un principal(PRI) reçoit la rotation continue de la machine(MAC), l'autre est solidaire de l'obturateur(OBT) et le dernier devient l'arbre de réglage(REG) contrôlé par l'organe de commande(CMD).

(SAERE) permet ainsi :

1. Une forte réduction de l'érosion des pièces et de la dissipation d'énergie.
2. Avec la seule rotation de l'arbre de réglage(REG), un calage variable continu illimité en phase et en ouverture sans choc entre les pièces.