

# Un moteur Ericsson en technologie libre

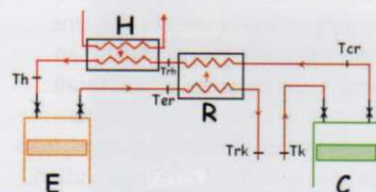
Par Luc Dando, ingénieur conseil

Mettre dans le domaine public des données technologiques qui peuvent servir à tous : c'est le point de départ de cette tribune où les partenaires d'un projet sur le moteur Ericsson exposent le résultat de leurs recherches.



Depuis 1999, j'ai eu l'occasion de travailler avec Pascal Stouffs sur différents projets autour des technologies Stirling

et Ericsson pour le Laboratoire de thermique, énergétique et procédés (LaTEP) de l'université de Pau et des Pays de l'Adour. Pascal s'occupait des dimensionnements thermodynamiques et je prenais en charge la conception mécanique dans sa globalité (voir encadré). Le choix de divulguer nos connaissances, partagé dès le départ avec Pascal, a pour moi rapidement pris un sens éthique profond. Je considère que les innovations technologiques susceptibles de servir l'intérêt commun et en particulier la protection de l'environnement, doivent pouvoir être utilisées le plus librement possible. Il arrive parfois que des innovations techniques gênent les intérêts économiques des grands groupes industriels. Ils rachètent alors ces brevets pour protéger leurs marchés en mettant ces technologies concurrentes au placard. Nos écosystèmes et nos structures sociales se portent mal. Nous devons placer l'environnement et les intérêts du plus grand nombre avant le rendement du capital. Cela nécessite, entre autres, de rendre libres certaines technologies et de nous interroger plus globalement sur nos responsabilités dans notre communauté humaine\*. C'est pour encourager cette nécessaire mutation

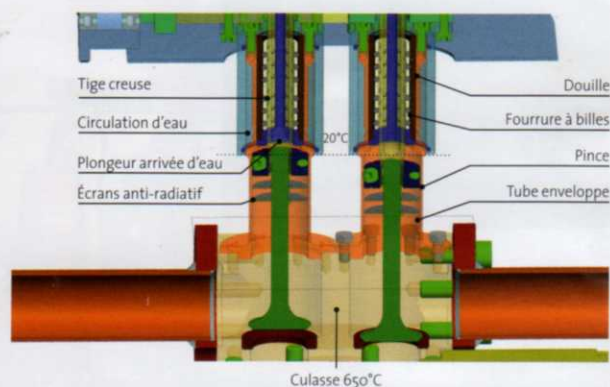


► Figure 1: Principe d'un moteur Ericsson

que je donne, dans cet article, des explications détaillées sur des innovations susceptibles d'être brevetées et qui tomberont de fait dans le domaine public.

## Les problématiques de l'Ericsson

Pour que le type de moteur envisagé (voir encadré) ait de bonnes performances énergétiques, il est d'abord souhaitable d'introduire l'air comprimé chaud dans le cylindre de détente E à la température la plus élevée possible (voir figure 1). Nous avons choisi une température de 650°C. Cela signifie que la soupape d'admission du cylindre de détente fonctionne constamment à cette température. De plus, il est fondamental d'avoir le moins de pertes mécaniques possible. Nous avons donc opté pour une configuration à un seul cylindre à double effet, la face inférieure du piston réalisant la compression, la face supérieure réalisant la détente. Il est également nécessaire que la distribution consomme le moins d'énergie mécanique possible alors que simultanément, nous avons choisi un fonctionnement



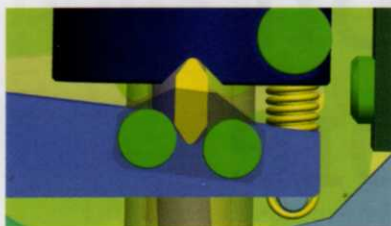
► Figure 2 : Les soupapes chaudes de l'espace de détente

sans lubrifiant liquide, pour éviter tout risque en présence d'air chaud à 650°C. La réponse à ces contraintes thermomécaniques suscita différentes innovations, que nous avons dû valider expérimentalement. Dans la première version, les soupapes avec leurs rallonges à circulation d'eau interne étaient guidées par des bagues lisses en matériau polymère. Cette solution n'a pas donné entière satisfaction et m'a conduit à utiliser une technologie plus complexe de guidage par billes fonctionnant à sec.

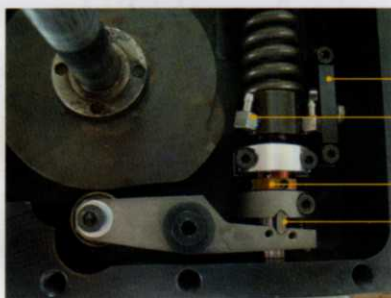
## Les soupapes chaudes de l'espace de détente

Les deux ensembles de guidages ne sont liés que par la culasse (voir figure 2), ce qui leur permet de s'écarter en suivant la dilatation de l'entre-axe des sièges. Les soupapes guidées en partie froide restent ainsi toujours centrées sur leurs sièges situés en partie chaude. Que les soupapes s'ouvrent en montant ou en descendant, il s'agit du même principe. Le culbuteur oscille autour de son axe, il est actionné par un galet roulant sur la came. Des vés sont usinés dans le culbuteur ainsi que dans la pince solidaire





« Figures 3 et 4 :  
Couteau de  
levage soupape



Guide anti rotation  
Raccords  
Écrou de réglage  
Pincettes

► de la tige de soupape, et reçoivent des couteaux par l'intermédiaire desquels le culbuteur lève la soupape (voir figure 3). Ce couteau oscille légèrement pour compenser le décalage dû au mouvement en arc de cercle du véc de culbuteur et le mouvement rectiligne pur de la soupape (voir figures 3 et 4). Les rayons usinés aux extrémités des couteaux sont plus faibles que ceux usinés dans le véc, ce qui permet aux couteaux de rouler sans glisser dans les deux empreintes qui le contiennent. La composante radiale sur le guidage à billes devient négligeable par l'absence de glissement et les pertes mécaniques, négligeables également.

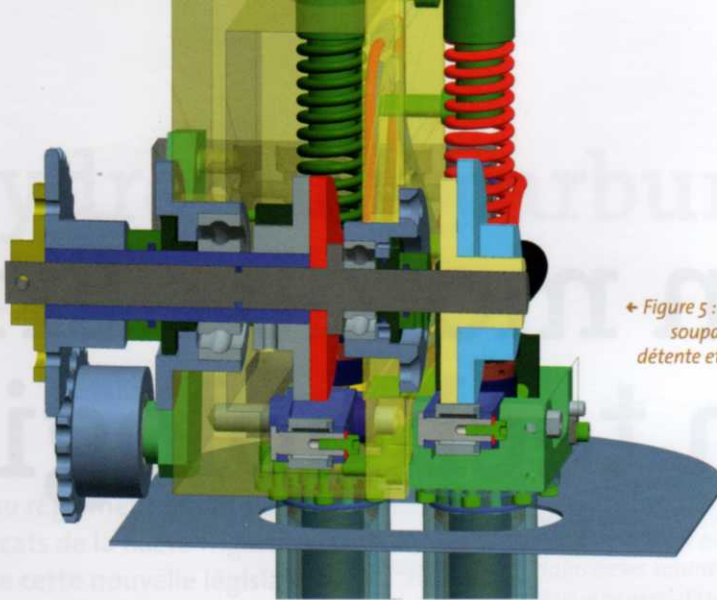
### Étanchéité de la soupape d'admission

Une fuite d'air à 650°C et 3 bar à travers le guidage à billes détruirait immédiatement les composants de roulement. Cette fuite d'air chaud est annulée par une contrepression identique à celle



« Figure 6 : Détails  
des soupapes

► Figure 7 :  
Piston refroidi



« Figure 5 : Arbre à came  
soupape admission  
détente et compression

de l'admission, de l'autre côté du guidage à billes. La came et le culbuteur d'admission sont donc enfermés dans une enceinte à pression, et l'étanchéité est assurée par des garnitures mécaniques sur l'arbre à cames. Une étanchéité sur la tige de soupape en mouvement rectiligne alterné serait probablement moins fiable et plus pénalisante en pertes mécaniques, mais cela peut également être une solution. Les cames réalisées en deux demis profils permettent de régler depuis l'extérieur la durée d'ouverture de la soupape d'admission (voir figure 5). Ce réglage n'est pas indispensable pour une machine série fonctionnant à rapport de température constant,  $\theta = 3,15$  pour notre machine, mais c'est une solution applicable si l'on souhaite réaliser une machine à  $\theta$  variable. L'ensemble de ces solutions sont également applicables à la soupape de refoulement.

### Piston refroidi par circulation d'eau

Afin d'améliorer les performances thermiques du cycle, ainsi que la durée de vie de la segmentation, j'ai réalisé une circulation d'eau à l'intérieur du

piston. Cette circulation s'effectue en boucle annulaire entre les deux segments. Des boucles souples réalisées en tube rilsan permettent l'alimentation en eau lors du mouvement du piston. Les accélérations alternées du piston n'ont aucune influence sur les masses liquides en mouvement car le circuit est bouclé sur un contour fermé :  $\oint \vec{\gamma} \cdot m \vec{dl} = 0$  la circulation dans les soupapes est soumise à la même règle.

### La segmentation sèche

Le faible rapport puissance/cylindre impose pour cette machine d'autres choix technologiques que la segmentation habituelle des moteurs à combustion interne. Selon les grandeurs thermodynamiques choisies, on peut très rapidement arriver à un travail de frottement par cycle supérieur au travail fourni par la détente, ce qui interdirait le fonctionnement de la machine. L'enjeu est donc de correctement évaluer ces pertes par frottement pour obtenir un rendement mécanique acceptable, 87% ont été mesurés expérimentalement sur notre machine de détente. J'ai adopté une solution de segments en deux parties (voir figure 8). L'âme métallique a pour fonction d'assurer un plaquage sur le cylindre par déformation élastique et un revêtement en matériau polymère pour le frottement étanche. Différentes solutions sont envisageables pour la liaison entre l'anneau élastique et l'anneau de frottement : collage, surmoulage, emboîtement mécanique par rainurage, etc. La jonction des deux extrémités de la bague de frottement permet de conserver l'étanchéité dans

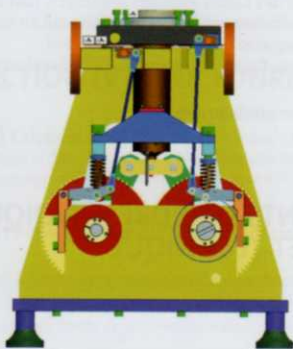




» Figure 8: Solution pour la segmentation sèche



Matériau collant



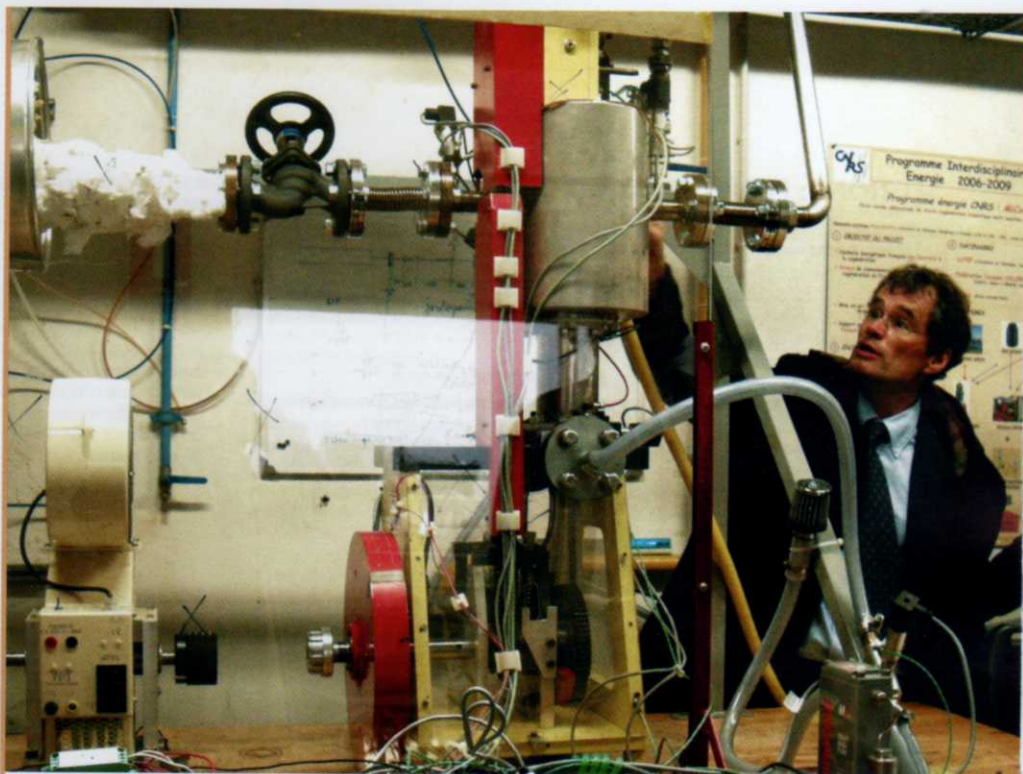
» Figure 9: Ensemble compresseur

cette zone déformable et est réalisé avec un matériau collant et souple. J'ai personnellement utilisé un mastic silicone polymérisé après application.

### Compresseur et ses clapets

L'espace de compression se situe sous le piston dans l'espace annulaire côté tige. Chaque clapet oscillant est piloté par un ensemble came, culbuteur et bielle de manœuvre. Les sections de passage rendent les pertes de charge négligeables. Une came est montée sur chacun des vilebrequins (voir figure 9). La machine est actuellement à l'essai au LaTEP de Pau. De nombreuses mesures sont effectuées sur les deux espaces, afin d'en établir les courbes caractéristiques (pression, débit) et d'évaluer les transferts thermiques au sein des cylindres. Les deux cylindres seront ensuite prochainement bouclés sur l'échangeur récupérateur et le réchauffeur pour obtenir un fonctionnement en moteur autonome.» ●

\* L'auteur défend ses idées dans *Vers une éco-industrie locale*, en librairie le 26 septembre, aux éditions Yves Michel.



» Le LaTEP de l'université des Pays de l'Adour effectue des recherches sur les "moteurs à air chaud".

Pascal Stouffs, enseignant-chercheur au LaTEP

## «Démontrer les bonnes performances énergétiques de ce moteur»

« Nous effectuons des recherches sur les "moteurs à air chaud" depuis 1992, une famille de moteurs thermiques à apport de chaleur externe qui comprend les moteurs Stirling, sans soupapes, et les moteurs Ericsson, avec soupapes. Pour certaines applications, le moteur Ericsson peut présenter des avantages très importants. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons décidé au LaTEP de construire un prototype en 2007, avec le soutien de France Télécom et du CNRS. Sa configuration est celle d'une machine fonctionnant avec de l'air, en cycle ouvert, avec échangeur récupérateur R. Après avoir effectué le dimensionnement énergétique du moteur, et donné quelques contraintes sur les aspects mécaniques, nous avons confié à Luc Dando la conception et la réalisation du prototype. L'objectif principal est de démontrer la faisabilité de ce type de moteur et les bonnes performances énergétiques qu'il permet d'atteindre. Le prototype permettra également de valider des théories portant notamment sur le dimensionnement de ce type de moteur, l'influence des volumes morts dans les cylindres et le comportement dynamique de ces machines. Nous pourrions également réaliser des études plus fondamentales sur les transferts thermiques dont les cylindres sont le siège et l'impact positif ou non de ces transferts sur les performances énergétiques du moteur. Cette configuration, comportant un espace de détente et un espace de compression, peut également être utilisée en détente motrice d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur, pour précompresser le gaz de travail en sortie de d'évaporateur.»