

FONCTIONNEMENT DES TURBOCOMPRESSEURS

1. DESCRIPTION D'UN TURBOCOMPRESSEUR

1.1. Rôle

Le turbocompresseur permet d'augmenter les performances d'un moteur en lui fournissant la quantité d'air sous pression nécessaire à la bonne combustion de la masse de combustible injectée.

1.2. Description

Le turbo compresseur est essentiellement constitué d'un compresseur centrifuge et d'une turbine mono-étage qui peut être axiale ou radiale. Ces deux éléments sont montés sur un arbre. L'ensemble constitue le mobile.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

2.1. Partie compresseur:

Elle est constituée d'une roue mobile et d'un diffuseur lisse ou à ailettes (organe fixe). La mise en pression de l'air est réalisée par:

- Le compresseur qui donne une énergie cinétique à l'air.
- Le diffuseur qui a pour rôle de transformer l'énergie cinétique en pression.
- Par la volute de refoulement qui canalise l'air avant de le diriger vers le collecteur d'admission.

2.2. Partie turbine:

Les gaz de combustion, canalisés dans le collecteur d'échappement, sont dirigés par l'intermédiaire de la volute d'échappement sur un anneau de tuyère ou distributeur qui a pour rôle d'augmenter la vitesse des gaz. Ceux-ci pénètrent ensuite sur la roue de la turbine, et se détendent à la traversée de celle-ci pour la mettre en rotation par cession d'une partie de leur énergie.

3. ELEMENTS CONSTITUTIFS:

3.1. Carter d'entrée des gaz d'échappement:

Pièce moulée en fonte, reliée au collecteur d'échappement par des soufflets de dilatation. Les soufflets de dilatation permettent:

- D'absorber les dilatations dues aux T° de fonctionnement.
- Les désalignements.
- D'absorber les vibrations.

Une paroi d'isolation thermique sépare l'air des gaz (acier inoxydable).

3.2. La turbine:

Elle peut être axiale (diamètre > 300mm) ou centripète ($\varnothing < 160\text{mm}$), les deux solutions sont utilisées dans les dimensions intermédiaires.

Les ailettes peuvent être rapportées (par une fixation type pied de sapin, talon goujonné, talon en queue d'aronde) ou directement moulées avec la turbine.

Les ailettes peuvent recevoir un fil amortisseur de vibrations.

3.3. Le compresseur

Les roues de compresseur peuvent être monobloc (généralement en alliage léger) ou en deux parties:

- roue d'entrée d'air en acier recouverte d'une laque (résistance à l'érosion et à l'oxydation)
- rouet en alliage d'aluminium (diminution de l'inertie)

Pour les compresseurs ayant un taux de compression voisin de 4, en raison des températures de refoulement, des matériaux tels que l'acier ou le titane peuvent être employés.

3.4. Carter d'entrée d'air

Il reçoit le filtre silencieux et le collecteur d'air de sural des cylindres.

Les températures d'entrée d'air n'étant pas élevées cela permet l'utilisation d'alliage d'aluminium

3.5. Les paliers:

Les paliers de compresseurs et de turbines peuvent être lisses ou à billes.

Ils sont situés soit entre la turbine et le compresseur soit de part et d'autre de ces deux éléments.

Les paliers lisses ont pour avantage d'avoir:

- Un taux d'usure plus faible donc une longévité accrue.
- Une moins grande sensibilité aux chocs et aux vibrations.
- Un encombrement généralement plus faible.

3.6. La lubrification des paliers:

Les paliers lisses sont généralement lubrifiés par le circuit moteur. Ceci va nécessiter un pré-graissage ainsi qu'un post-graissage assurant ainsi la lubrification des paliers avant et après l'arrêt du moteur (temps d'arrêt turbo > temps d'arrêt moteur).

Avant l'arrêt, il est impératif de laisser tourner le moteur au ralenti le temps que la vitesse de rotation du turbocompresseur diminue. Ceci va limiter les problèmes de lubrification lors de l'arrêt.

Les paliers à billes sont généralement lubrifiés par de l'huile contenue dans des carters propres au turbocompresseur. L'arrosage des paliers eux-mêmes est assuré par un disque monté sur l'arbre du turbocompresseur. Dans le cas des vitesses de rotation élevées des pompes à huile à engrenages, entraînées par le turbocompresseur assurent la lubrification.

3.7. Le palier buté:

Son rôle est de maintenir dans l'axe la position du rotor et ainsi encaisser les poussées axiales du compresseur et de la turbine.

Il est généralement placé côté compresseur en raison des contraintes thermiques moindres.

3.8. Réfrigération:

Le fluide réfrigérant dont la température est environ égale à 80°C est toujours l'eau de réfrigération du moteur.

3.9. L'étanchéité:

L'étanchéité entre les différentes parties (air, gaz, paliers) peut être assurée par:

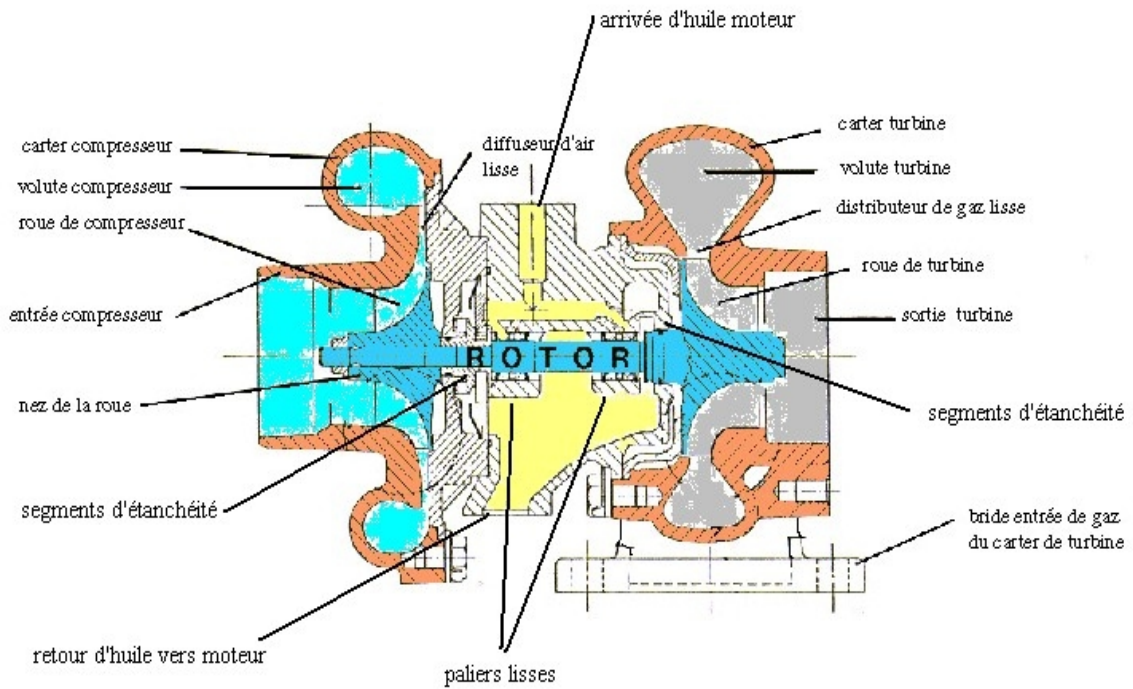
- Des séries de labyrinthes éventuellement pressurisés.
- Des segments d'étanchéité.

4. POINTS A SURVEILLER EN FONCTIONNEMENT

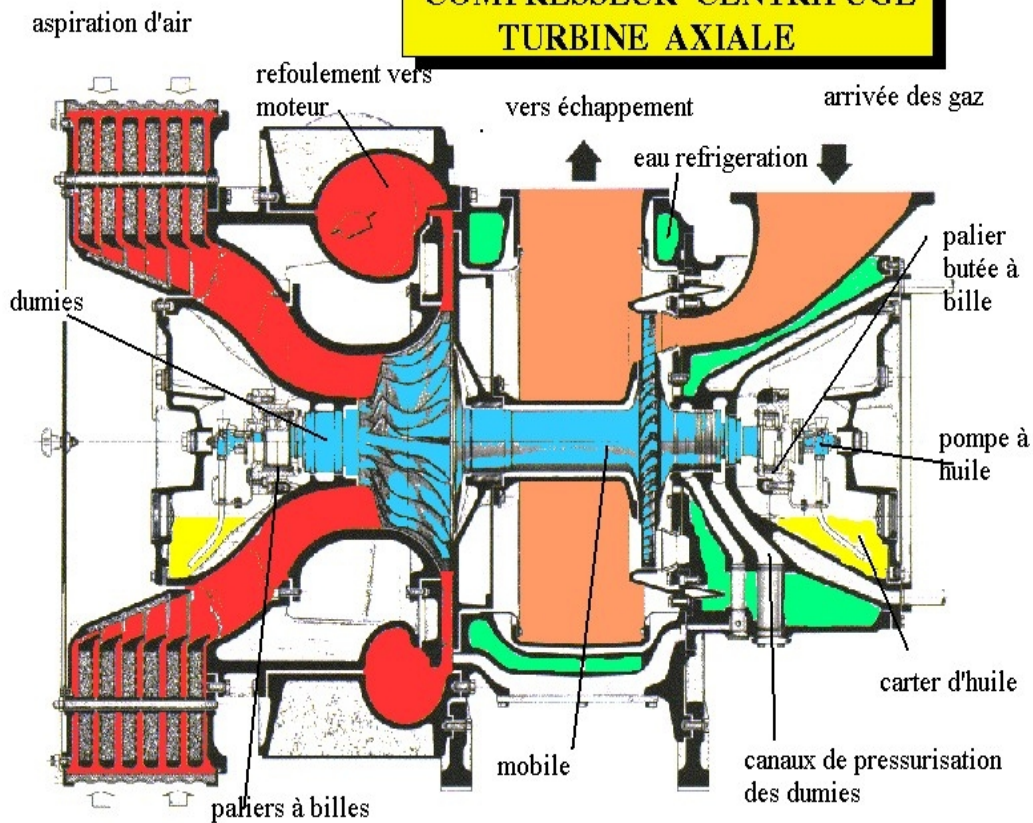
En fonctionnement il est nécessaire de surveiller les points suivant:

- Les températures de l'eau de réfrigération et des gaz d'échappement en amont et en aval, pour prévenir des contraintes thermiques
- Les pressions d'air de suralimentation, elles sont un critère de bon fonctionnement
- L'absence de vibrations et de bruits anormaux, afin de détecter rapidement une avarie
- L'étanchéité de toutes les conduites d'eau, d'air et de gaz.
- Niveaux d'huile de graissage (suivant les modèles).
- Contrôler le temps d'arrêt des turbos (si possible), le temps d'arrêt des turbo va permettre d'apprécier leur encrassement.

TURBOCOMPRESSEUR TYPE GARRET



COMPRESSEUR CENTRIFUGE TURBINE AXIALE



REALISATION DE LA SURALIMENTATION

Le but de la suralimentation est d'augmenter la puissance d'un moteur en modifiant au minimum sa conception.

1. FORMULE DE LA PUISSANCE

La puissance effective d'un moteur diesel est définie par la formule:

$$P_{eff} = \eta_{eff} \cdot P_{ci} \cdot m_c \cdot X \cdot \frac{N}{60a}$$

Le seul élément pouvant varier est m_c . Mais l'augmentation de m_c entraîne l'augmentation de ma pour conserver $\beta \geq 1$ donc une combustion correcte.

2. AUGMENTER LA MASSE D'AIR

$$m_a = \rho_0 \times \frac{T_0}{P_0} \times \frac{P \cdot V}{T}$$

^ o, T_0 et P_0 étant invariables, il va falloir jouer sur P , V ou T pour augmenter ma .

Augmenter la cylindrée unitaire.

Par sa conception le moteur ne peut pas aspirer un volume d'air supérieur à celui engendré par une course de piston. Nous ne pourrions donc que modifier la masse volumique (Kg/m³) de l'air. il faudra donc jouer soit sur la température soit sur la pression.

Diminuer la température.

Ce système n'est pas retenu en tant que solution unique du fait:

- De l'encombrement de l'usine frigorifique.
- Des chocs thermiques dans la chambre de combustion.
- De la condensation de l'eau contenue dans l'air.

Nous sommes donc limités par la T° de l'air ambiant.

Augmenter la pression.

En passant de 1 bar à 2 bars on augmente ma de 100%
C'est, de par le gain apporté, le système retenu par les constructeurs.

3. DIFFERENTS MODES DE SURALIMENTATION

Le motocompresseur.

L'énergie d'entraînement est prise sur la puissance du moteur. Ce qui à pour conséquence d'augmenter les pertes mécaniques dues à l'entraînement des auxiliaires.

Le turbocompresseur.

Le turbocompresseur est constitué d'une turbine, alimentée par les gaz d'échappement, qui entraîne un compresseur qui va augmenter la pression d'admission d'air.

Dans ce cas on utilise l'énergie perdue contenue dans les gaz d'échappement. Nous obtenons ainsi une augmentation du rendement et ainsi une diminution de la consommation spécifique.

4. AMELIORER LE SYSTEME

L'augmentation de la pression de l'air va entraîner une augmentation de la T° . Cette augmentation de température aura pour conséquence:

- Augmenter la charge thermique du moteur.
- Diminuer la masse volumique de l'air.

Il faut donc compenser cette charge thermique.

Réfrigération de l'air de suralimentation.

Elle permet d'augmenter la masse volumique de l'air en diminuant la T° de l'air d'admission

- Diminue la perte due à l'échauffement pendant la compression.
- Réfrigère la chambre de combustion (contraintes thermiques diminuées)

Le réfrigérant est placé en série après le turbo compresseur. Il est alimenté, suivant l'installation, en eau BT, HT

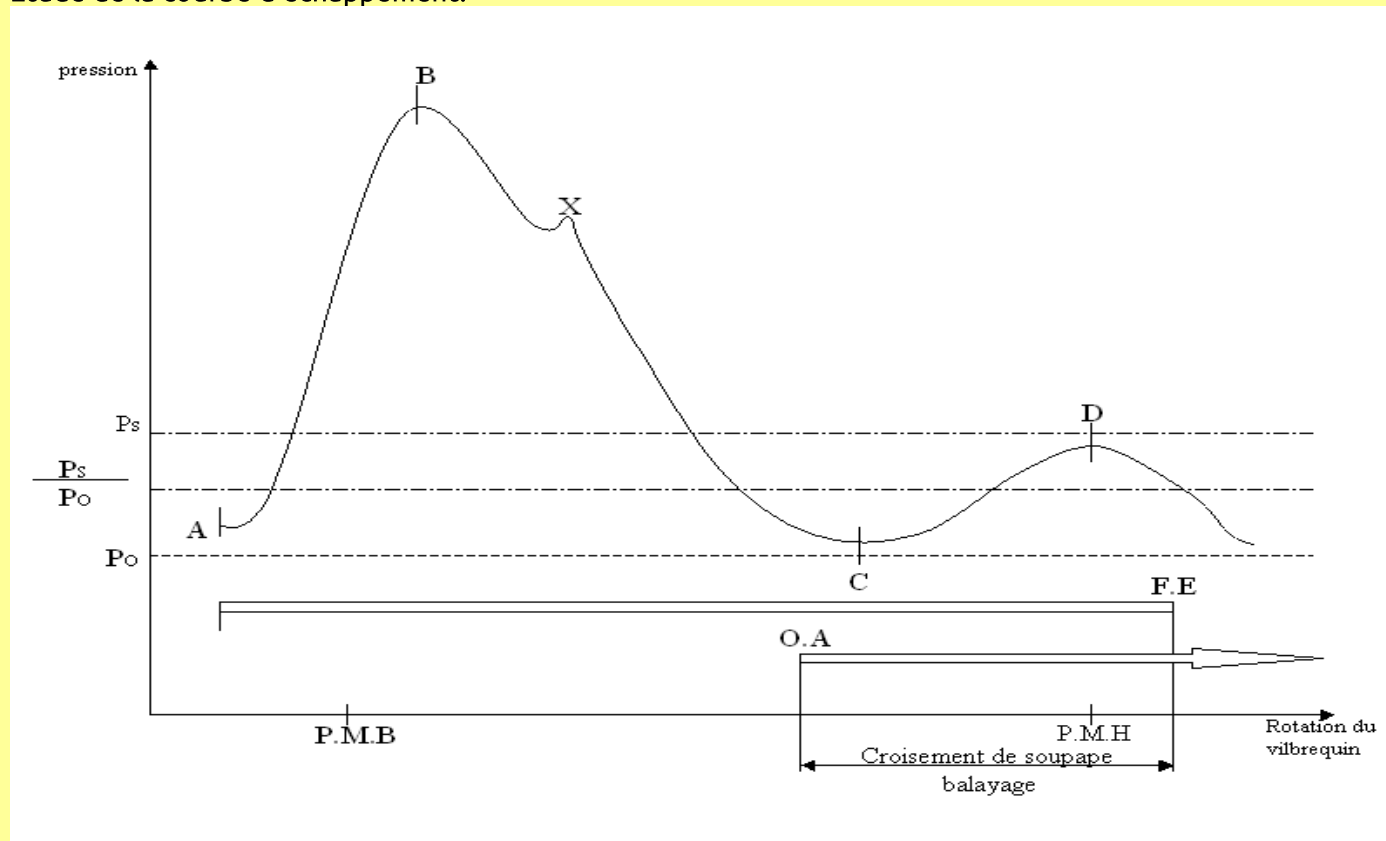
Augmentation de la valeur angulaire du croisement de soupape.

L'augmentation de la valeur angulaire du croisement de soupape va se traduire par:

- Une augmentation de la quantité d'air frais enfermé dans le cylindre lors de la fermeture des soupapes d'admission du fait d'une meilleure évacuation des gaz emprisonnés dans l'espace mort.
- Un abaissement de température des éléments constitutifs de la chambre de combustion.

5. ALIMENTER LE TURBO EN GAZ D'ÉCHAPPEMENT.

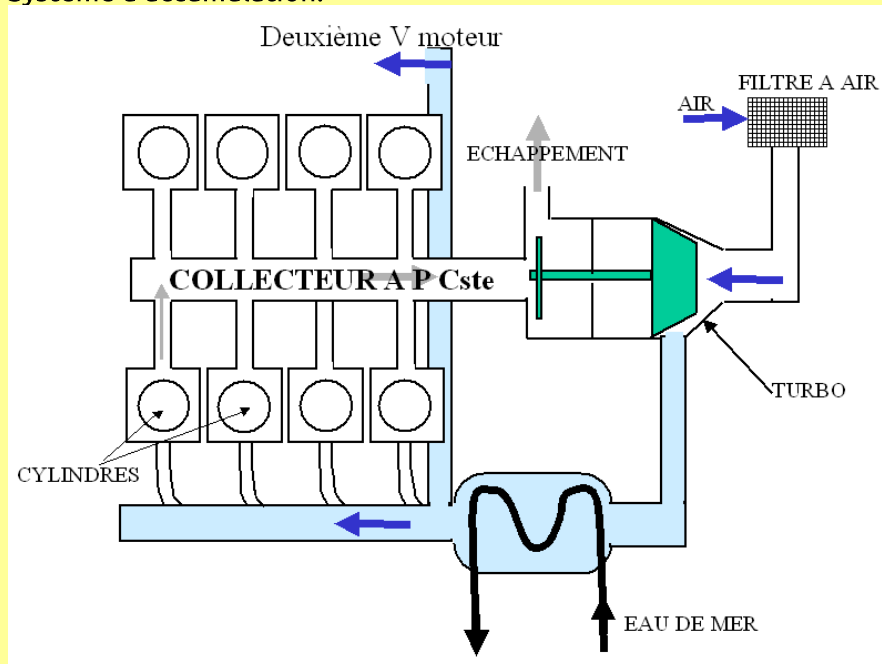
Étude de la courbe d'échappement.



- A : Bouffée d'échappement
 B : Détente des gaz dans le collecteur.
 C : Surpression due au croisement de soupapes.
 D : Onde de pression.
 P_s : Pression de Sural
 P_o : Pression Extérieure.

L'utilisation de l'énergie des gaz est fortement influencée par les conditions d'écoulement dans le collecteur d'échappement et les conditions d'utilisation à l'intérieur du turbo.
 La puissance étant fournie, au compresseur, par les gaz d'échappement via une turbine, il est nécessaire d'assurer le transfert des gaz au travers du collecteur d'échappement avec le moins de perte possible. Plusieurs systèmes ont été mis au point afin de permettre une alimentation optimum de la turbine.

Système à accumulation.



Tous les cylindres évacuent dans un même collecteur de gros diamètre. Les gaz se détendent dans le collecteur et sont véhiculés à pression et T° constantes vers un seul turbo (simple entrée des gaz dans turbo). Il faut impérativement $P_{\text{sural}}(\text{adm}) > P_{\text{coll}}$. Échappement, pour éviter, lors des croisements de soupapes, le retour de gaz d'échappement dans le cylindre.

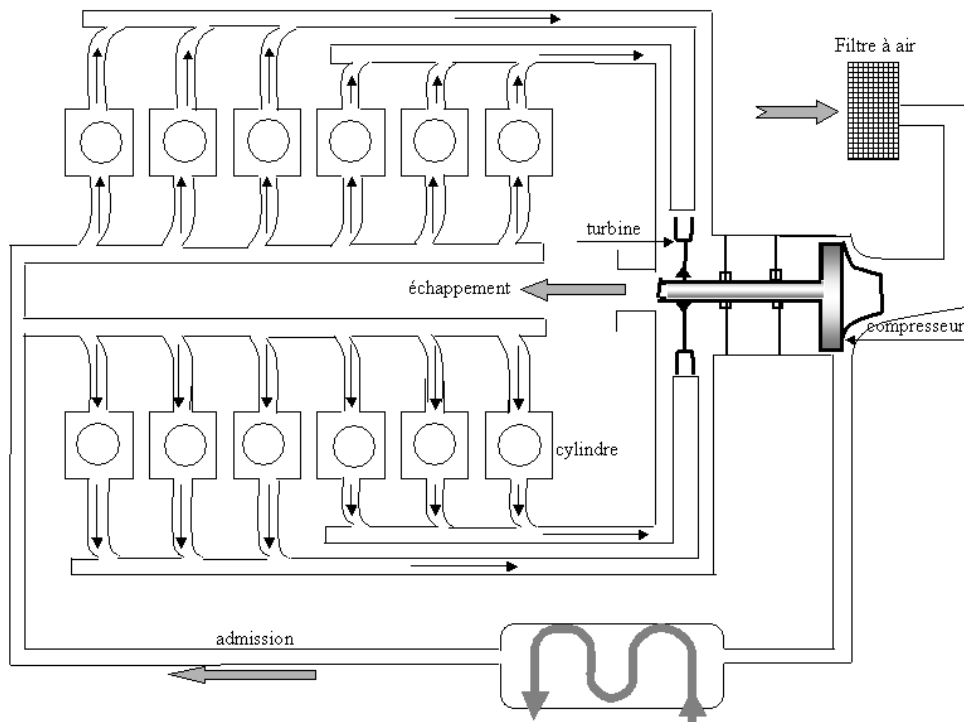
Avantages de ce système:

- Simplicité du collecteur d'échappement.
- Bonne récupération de l'énergie (admission stable des gaz à l'entrée du turbo).
- 1 seul turbo quel que soit le nombre de cylindres.

Inconvénients de ce système:

- Faible accélération du turbo lors des élévations de charge rapides
- Le balayage n'est efficace qu'aux fortes charges.

Système à impulsions.



On utilise des collecteurs d'échappement de faible diamètre, afin d'éviter la détente des gaz et récupérer au maximum l'énergie de pression contenue dans la bouffée.
Le but de ce procédé est de limiter au minimum les pertes d'énergie entre moteur et turbine.

Principe:

Les fortes variations de pression dans le conduit d'échappement exigent des mesures spéciales pour éviter que les phénomènes d'échange de gaz des différents cylindres se gênent mutuellement. On y parvient en reliant à un secteur de tuyère turbine plusieurs cylindres dont les ouvertures d'échappement ne coïncident pas ou très peu.

L'expérience montre que, compte tenu des temps de parcours des ondes de pression et des vitesses ouverture et fermeture des soupapes, l'écart minimum entre les calages échappement doit être de 240° d'arbre manivelle (pour un moteur 4 Temps)

Le nombre d'entrée, par turbine est, en général, limité à 3 (réalisation technique, débit de gaz, parcours des ondes de pression, rendement). En théorie, car certains turbos sont réalisés avec 4 secteurs d'entrée (MGO, AGO)

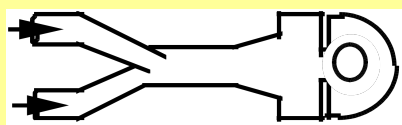
Avantages de ce système:

- Récupération importante d'énergie (bouffée).
- Accélération rapide du turbo avec l'augmentation de la charge (peu de perte en charge).
- Balayage efficace à tous les régimes

Inconvénients de ce système:

- Mauvais rendement de la turbine dû au régime pulsatoire
- Collecteurs complexes.
- Perturbations de fonctionnement dues aux différents parcours des collecteurs.
- Nécessité d'avoir 2 turbos à partir de 9 cylindres.

Convertisseur d'impulsions (pulse converter)



Principe: (théorique)

Ce système repose sur l'effet d'éjecteur, un écoulement de gaz en entraîne un autre, on peut donc regrouper des cylindres ayant un écart d'allumage (donc d'échappement) $< 240^\circ$. Deux cylindres échappent alors dans un même collecteur (coll. 1), deux autres échapperont dans le coll. 2.

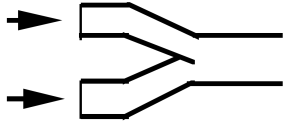
Ces deux collecteurs se réunissent dans un tube mélangeur à l'extrémité duquel un diffuseur débouche dans une cavité aménagée avant l'entrée dans la turbine. Ainsi l'onde de pression de l'un des cylindres se

transformera en vitesse dans l'éjecteur, accélérant les gaz sortant d'un autre cylindre. Dans le diffuseur la vitesse se transforme de nouveau en pression, avant que les gaz n'aboutissent à une entrée unique à la turbine.

Conclusion:

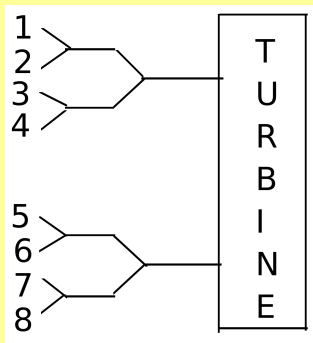
- La pression à l'entrée de la turbine est à peu près constante et légèrement supérieure à la pression moyenne des gaz dans le collecteur d'échappement.(évite le phénomène d'impulsion).
- Le rendement de la turbine est meilleur qu'avec le procédé par impulsion.

Dans la réalité le système a été simplifié par suppression du diffuseur et du volume tampon sans que l'efficacité et le rendement du système en souffrent de façon significative.

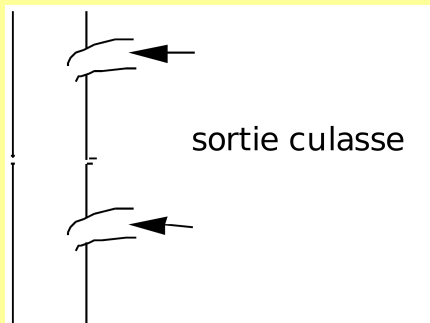


Il est possible avec un tel système de raccorder sur un même secteur de turbine 4 cylindres avec, chacun un intervalle d'allumage de 180° de rotation de vilebrequin.

On peut donc diviser par 2 le nombre de secteurs de tuyères et de ce fait, améliorer le rendement de la turbine.



Le MPC (Multi Pulse Converter)



Dans ce système à collecteur modulaire chaque cylindre alimente un convertisseur d'impulsions relié à un collecteur unique de faible section; alimentant lui-même la turbine à pression sensiblement constante et admission totale.

La présence de l'éjecteur à la sortie de chaque cylindre est nécessaire pour convertir aussi complètement que possible les bouffées d'échappement en vitesse.

Au total: Le collecteur d'échappement est mono branche par V (1 collecteur par V) il alimente la turbine sous P constante et vitesse élevée.

Avantages:

- Solution unique quel que soit le nombre de cylindre.
- Collecteur mono branche par ligne de cylindre (peu encombrant).
- Bonne accélération du turbo grâce à une récupération totale et stable des gaz .
- Les gaz circulant à vitesse élevée = Bon temps de réponse des turbos.