

## Pot de détente pour moteur 2 temps

### Principe et application sur Yamaha 125 RDX

Remplissage d'un moteur 2 temps  
 Fonctionnement du pot de détente  
 Proportions magiques et principe de calcul  
 Calcul des dimensions  
 Application sur 125 RDX  
 Réalisation des cônes  
 Réglage moteur et essais  
 Pour les spécialistes

page 2  
 page 3  
 page 5  
 page 6  
 page 7  
 page 8  
 pages 9  
 pages 12



Photos d'une  
 Kawasaki 750 H2  
 trouvées sur le internet  
 3 gros cylindres,  
 une boîte 5 vitesses,  
 des roues de 350 RDLC,  
 et 3 pots de détente  
 sur mesure !

...  
 Une bombe sur roues !

Pot de détente et moteur 2 temps. Indissociables ! Le duo gagnant quand il n'est interdit par un règlement. Comment peut fonctionner ce système ? Quelques bouts de tôle soudées qui doublent la puissance. Sorcellerie ??? Ces quelques pages ont avant tout un but pédagogique et résument ce que j'ai compris et appris sur son fonctionnement, au cours de mes études, de mes années 2 temps chez Renault, ou de mes expérimentations personnelles. Pour démystifier ce qui n'est finalement que l'utilisation rationnelle d'ondes de pression.

Toute modification d'une machine homologuée doit faire l'objet d'une re-homologation ou d'une utilisation sur terrain privé exclusivement. C'est important de le rappeler. Les notions présentées ici permettent une augmentation sensible des performances qui n'engagerait que la responsabilité de celui qui les réaliserait.

La lecture des 4 premières pages n'est pas nécessaire pour réaliser un pot de détente, les formules pour le dimensionner sont expliquées page 6. Néanmoins, et c'est le but premier de ces pages, il faut toujours chercher à comprendre comment un système fonctionne. Pour le principe, ou -dans un cadre autorisé- pour mieux l'adapter et traiter le cas échéant les difficultés de mise au point et les adaptations nécessaires.

Ces 4 pages ainsi que le dernier chapitre seront mieux comprises si on a déjà quelques bases sur le fonctionnement d'un moteur 2 temps, sur la notion de pression et sur l'écoulement des fluides. Mais ce n'est pas indispensable, j'ai essayé de n'utiliser que des mots, quitte à prendre des raccourcis avec la physique, en particulier pour les expressions en italiques. J'espère que cette physique « avec les mains » va permettre à tous de comprendre les principes de base. Que les motoristes me pardonnent ces approximations.

Les « recettes » débutent page 5. La page 6 synthétise ce qu'il faut pour dimensionner un pot.

Pour bien comprendre ces recettes, le dessin d'un pot pour 125 RDX est expliqué page 7.

Le dessin des cônes et contre cônes, à rouler dans une tôle d'acier puis à souder fait l'objet de la page 8.

Le réglage de la richesse, souvent nécessaire après une modification de ce type, surtout si on optimise le moteur lui-même, est brièvement abordé page 10. Le sujet mériterait d'être plus détaillé. Ultérieurement peut être.

Enfin, pour ceux qui veulent en savoir un peu plus sur le remplissage du moteur, les pages 12 et 13 prennent l'exemple d'une 250 YZ de 1982 et illustrent avec des chiffres les intérêts d'un pot de détente et les bénéfices supplémentaires d'un système « YPVS ». Quelques astuces pour « assouplir » les moteurs performants concluent cette dizaine de pages.

## Remplissage d'un moteur 2 temps

On commence donc par quelques bases sur le fonctionnement d'un moteur 2 temps en distinguant les phases de remplissage en air frais du cylindre :

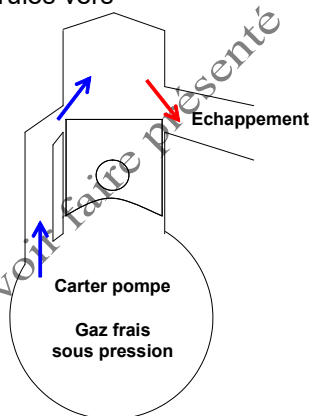
### 1 - Transférer les gaz frais du carter pompe vers le cylindre.

C'est la surpression générée par la descente du piston dans le carter pompe carter qui fait ce travail. Quand les transferts s'ouvrent, les gaz frais sous pression rentrent dans le cylindre et repoussent les gaz brûlés vers l'échappement. C'est la phase dite « de balayage ».

La pression dans le carter pompe est assez faible, environ 0,5 bar au-dessus de la pression atmosphérique au moment où les transferts s'ouvrent. Puis la pression baisse au fur et à mesure que le carter pompe se « dégonfle » et que les gaz frais passent dans le cylindre.

On a tout intérêt à augmenter cette pression pour faire passer plus de gaz dans le cylindre. Le pot de détente va faire ce travail. Non pas en augmentant la pression dans le carter pompe mais en baissant la pression à la lumière d'échappement. Ce qui a le même effet : l'écart entre des deux pressions est augmenté. Le pot « aspire les gaz frais ». Idéalement on cherche à ce que la pression à l'échappement soit minimale sur la deuxième partie de la phase de balayage, entre le point mort bas (PMB) et la fermeture des transferts. Ainsi on « sur-vide » le carter pompe juste avant la fermeture des transferts et la quantité de gaz frais admis dans le cylindre est maximale.

En terme scientifique, on caractérise la quantité de gaz qui passent du carter pompe au cylindre par le « taux de livraison » (noté L), qui est le ratio entre la masse d'air réellement livrée au cylindre et la masse d'air contenu dans la cylindrée du moteur dans des conditions de référence.  $L=1$  pour un moteur de 125 cm<sup>3</sup> signifie donc qu'on livre au cylindre, à chaque tour moteur, la masse de gaz qui serait contenu dans 125 cm<sup>3</sup>. C'est une valeur élevée, qui peut être obtenue pour un moteur performant avec un pot de détente bien accordé.

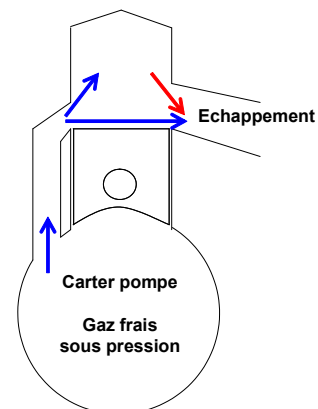


### 2 - Garder les gaz qui ont été livrés au cylindre ...dans le cylindre !

La phase de balayage, décrite ci-dessus, n'est malheureusement pas parfaite. Les gaz frais ne suivent pas les flèches et une partie d'entre eux, plutôt que de pousser les gaz brûlés, passent directement à l'échappement. Ce court circuit apparaît à partir d'un taux de livraison relativement faible (0,2~0,3 pour des transferts bien orientés). Plus on admet de gaz dans le cylindre, plus la proportion de gaz perdus dans l'échappement est importante. C'est un des points faibles du 2 temps à balayage en boucle.

En terme scientifique, cette efficacité du balayage est caractérisée par le « rendement de livraison » (noté  $\eta_L$ ), qui est le ratio entre la masse de gaz finalement retenue dans le cylindre à la fermeture de la lumière d'échappement et celle qui est livrée au cylindre. La différence est ce qui est perdu à l'échappement (je simplifie, il y a d'autres ratio pour rentrer plus dans le détail).

Il y a plusieurs moyens pour améliorer ce rendement de livraison. D'abord optimiser l'orientation des transferts, mais je n'en parle pas ici. Ce seul sujet est une science complète, des livres et des carrières de techniciens y ont été consacrés. Les cylindres Yamaha, en général, ne sont pas mauvais sur ce plan.



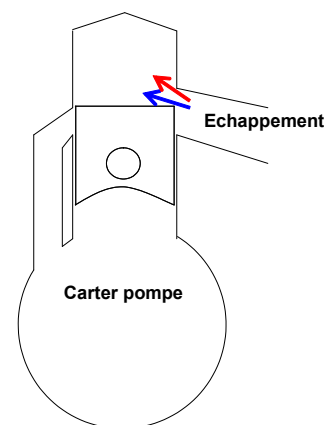
### Comment le pot de détente va aider ?

Au contraire de la phase de balayage, il faut faire monter la pression dans le conduit d'échappement. Ce qui a pour effet de réintroduire dans le cylindre les gaz du conduit d'échappement et en particulier les gaz frais qui ont été court circuités.

Idéalement on cherche à ce que la pression à l'échappement soit maximale entre la fermeture des transferts et celle de l'échappement. L'effet est le même qu'un turbo. Pour un système bien accordé, la pression peut monter jusqu'à 1 bar au dessus de la pression atmosphérique (!).

Cet effet va aussi compenser la perte de cylindrée causée par la hauteur de la lumière d'échappement. Prenons une hauteur de 40 % de la course (valeur d'un moteur standard), c'est théoriquement 40 % de cylindrée de perdue : le piston remonte et les gaz du cylindre sont évacués...dans l'échappement ! Sauf donc si une forte pression s'y oppose.

Un bon  $\eta_L$  est aussi primordial pour limiter la consommation, car l'air frais court-circuité à

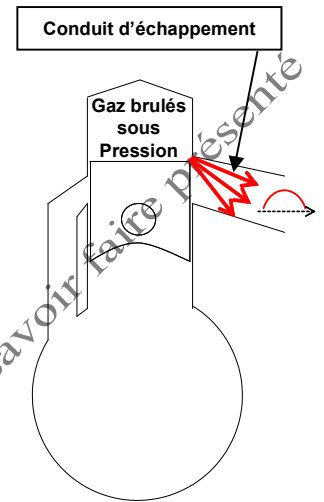


l'échappement est chargé d'essence. Un court circuit de 30% est fréquent => 30% d'essence passe directement à l'échappement ! Ce qui explique la consommation élevée des moteurs 2 temps à carburateurs et toute l'importance d'un bon  $\eta_L$ .

## Fonctionnement du pot de détente

### Le point de départ est la formation d'une onde de pression

A l'ouverture de la lumière d'échappement, les gaz brûlés dans le cylindre sont sous pression (une petite dizaine de bar), ils sont donc évacués dans le conduit à une vitesse élevée (celle du son). Le débit arrivant dans le conduit d'échappement est tellement important que les gaz du conduit n'ont pas le temps de partir vers l'échappement et la pression monte dans le conduit. Ceci forme une onde de pression (jusqu'à 1 bar au dessus de la pression atmosphérique !), qui se propage alors vers le pot à une vitesse légèrement supérieure à la vitesse du son (~600 m/s en moyenne).

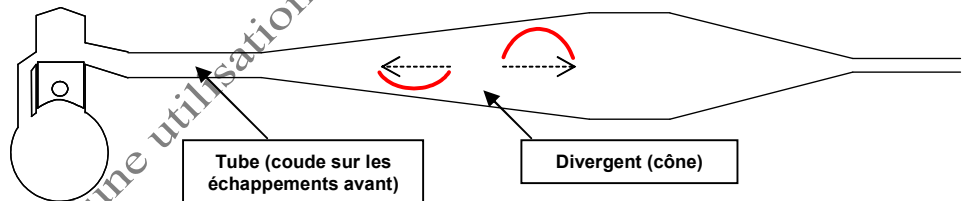


Plus la lumière s'ouvre tôt, plus elle est plate et large dans sa partie supérieure, plus le moteur tourne vite, et plus l'énergie de l'onde va être élevée. La section du conduit ne doit pas être trop élevée pour favoriser la montée en pression dans ce conduit. Ainsi on donne une forte amplitude à cette onde que le pot de détente va utiliser pour remplir le moteur.

### Deuxième étape : formation d'une dépression pour « aspirer les gaz »

Quand une onde de pression rencontre un divergent, une partie de son énergie est réfléchi (donc repart dans l'autre sens) et change de signe (donc se transforme en dépression). En disposant un divergent à la bonne distance de la lumière d'échappement, on génère donc cette dépression qui retourne vers la lumière d'échappement pour aider le transfert des gaz frais du carter pompe vers le cylindre comme expliqué au point 1.

On a besoin d'une certaine durée : la dépression doit démarrer avant le point mort bas et finir quand les transferts se ferment. C'est pourquoi la longueur du divergent est relativement importante, une petite moitié de la longueur du pot.

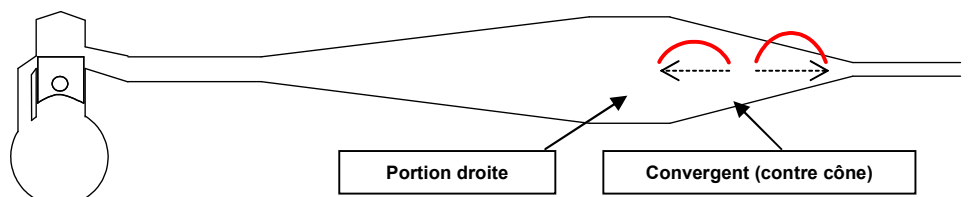


Le taux de réflexion (la fraction d'énergie de l'onde de pression initiale qui se réfléchit sous forme de dépression) dépend de plusieurs paramètres, dont le ratio des sections entre le tube d'échappement et le diamètre maxi du pot, qui doit donc être important (mais limité par l'encombrement disponible). Pour nos 63 cm3 unitaire, le diamètre 80mm d'origine est un minimum pour une bonne efficacité, mais si c'est réalisable 90 mm (voir 100) permettra d'extraire un peu plus d'énergie, c'est-à-dire de créer une dépression plus forte.

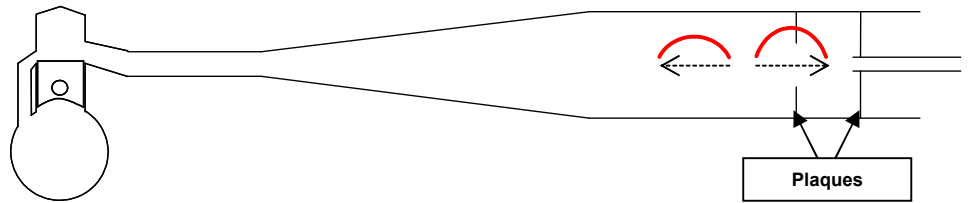
### Dernière étape : surpression pour « faire barrage aux gaz »

C'est le phénomène le plus connu (mais la partie « dépression » du dessus est au moins aussi importante). Quand une onde de pression rencontre un convergent, une partie de son énergie est réfléchi sous forme de pression. Selon la même logique que précédemment, le convergent final du pot génère la surpression qui retourne vers la lumière d'échappement pour re-introduire et comprimer les gaz frais dans le cylindre comme expliqué au point 2.

La durée idéale est plus faible que celle de la dépression : depuis la fermeture des transferts jusqu'à la fermeture de l'échappement (voir un peu plus pour que l'effet existe au dessous du régime d'accord). La longueur du convergent (dit « contre cône ») est donc plus faible que celle du divergent, environ 1/3 de la longueur du pot.



Sur les échappements des motos anciennes, comme les 125 AS3 / RD, ce convergent est réalisé par une ou plusieurs plaques. L'effet est le même, juste un peu moins efficace qu'un convergent bien dimensionné.



Pour maximiser le taux de réflexion, le tube de fuite doit avoir une petite section, juste suffisante pour laisser passer les gaz. Une faible section contribue aussi à faire monter la pression dans le pot et augmente la valeur de la pression à la lumière d'échappement (car la perte de charge dans le tube de fuite augmente). Enlever le tube de fuite ou les chicanes peut donc perturber un moteur mis au point pour fonctionner avec, et par conséquent réduire sa puissance, tout en augmentant sa consommation (la surpression dans le pot aide à éviter les fuites de gaz frais vers l'échappement comme expliqué) et en augmentant le bruit - tout faux donc !

### Same player shoot again ! Riton au café du commerce

Le phénomène dure le temps d'ouverture de la lumière d'échappement. Le tour moteur suivant on repart à 0. Mais si la période du système est de la moitié d'un tour moteur, les ondes résiduelles du tour précédent se superposent avec celle du tour d'après et renforcent l'énergie des pressions et dépressions. C'est le cas quand la durée d'ouverture de la lumière d'échappement est élevée : à partir de 190~200°, qui est la valeur des moteurs à haute puissance spécifique.

### Hommage à Walter Kaaden

...et à ses MZ de compétition qui ont montré le potentiel du 2 temps à pot de détente, universellement copié. Pour les raisons évoquées précédemment concernant les moteurs à forte durée d'échappement, et concernant l'énergie de l'onde, le mariage est parfait entre le pot de détente et les caractéristiques des 2 temps de compétition.

10~12 cv en 125cm<sup>3</sup> sans pot de détente représente sûrement le maximum de ce qui est techniquement réalisable. Les meilleurs 125cc 2T compétition client frôlent les 45 cv. On parle de plus de 50cv, voir 55cv sur les dernières machines de grand prix monocylindre... Je vous laisse calculer le facteur d'amélioration !!! Seule la réglementation a pu avoir raison du 2T, imbattable en puissance massive sur une moto de course.



### Dimensions

En synthèse il faut donc

- un conduit d'échappement de section réduite
- un diamètre maxi du pot de détente important
- un tube de fuite de diamètre réduit (la section minimale peut aussi être disposée plus loin dans le silencieux)
- un divergent long placé à une « juste distance » de la lumière d'échappement
- un convergent de longueur moyenne, placé à une (autre) « juste distance » de la lumière d'échappement

Comment déterminer ces justes distances ?

On va prendre l'exemple de la dépression. A un régime donné, il faut que l'onde, émise à l'ouverture de la lumière d'échappement, arrive sur le divergent puis revienne à la lumière d'échappement aux alentours du PMB. A partir du régime moteur et des angles d'ouverture d'échappement et transfert, on peut donc calculer la durée de cet aller-retour. Connaissant cette durée et la vitesse de l'onde (voir plus loin), on peut en déduire la distance que doit présenter le pot entre la lumière d'échappement et le point milieu du divergent. Comme expliqué dans la littérature traitant du pot de détente on peut poursuivre ces calculs pour déterminer la position de la fin du divergent, par exemple en disant qu'elle doit correspondre avec la fermeture des transferts, au-delà l'onde de dépression est inutile voir néfaste, idem pour la position du début du convergent, etc. En fait les choses sont plus compliquées et plus simples à la fois :

- Plus compliquée, parce qu'une onde a une certaine durée et n'est pas juste un pic à un instant et parce que les coefficients de réflexion et les vitesses de propagations ne sont pas constants et que donc ces règles simplistes ne sont pas totalement justes.
- Plus simple parce qu'en analysant les dimensions de moteurs performants et déjà mis au point, on observe que les pots de détente se ressemblent beaucoup, pour peu qu'on les caractérise par les bons paramètres.

## Avant l'heure c'est pas l'heure, après l'heure c'est plus l'heure

Encore un point avant d'arriver à ces paramètres et aux dimensions. Les explications du chapitre précédent montrent que le pot ne fonctionne qu'à un régime donné, le régime « d'accord » ou de « résonance » là où le remplissage du moteur est maximum : à peu de chose près le régime de couple maximum.

- Si le régime est plus faible, l'onde qui a une vitesse ~fixe est déjà revenue à l'échappement alors que le vilebrequin n'a pas tourné assez. Ainsi, l'onde de pression générée par le convergent, revient quand les transferts sont encore ouverts et refoule les gaz frais dans la carter pompe en les empêchant de sortir ! Puis quand les transferts sont fermés et que le piston remonte, l'onde de pression n'est plus là pour empêcher le piston de refouler les gaz frais dans l'échappement... Il y a donc un trou de couple et de puissance avant le régime d'accord, qui amplifie la sensation « coup de pied au cul ».

- Au dessus du régime d'accord le moteur tourne trop vite. La dépression arrive trop tard pour aider la vidange du cylindre et est toujours présente après la fermeture des transferts ce qui malheureusement « aide » le piston à refouler les gaz frais du cylindre vers l'échappement, le contraire de l'effet recherché. La puissance chute donc vite après le régime d'accord.

On explique ainsi le caractère « pointu » des moteurs à pot de détente.

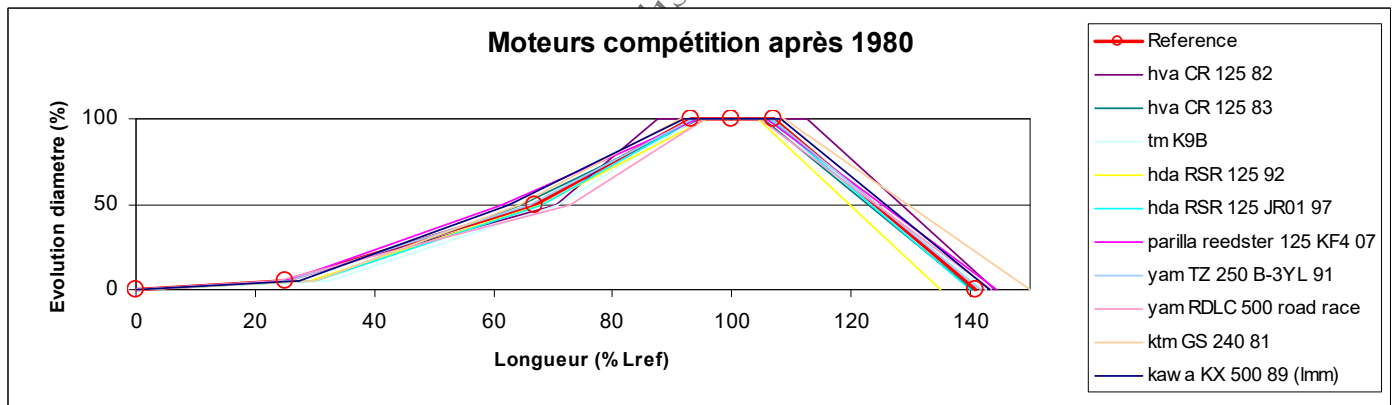
## Proportions « magiques » et principe de calcul

Le graphe suivant montre les dimensions relatives des pots de détente de plusieurs moteurs modernes et performants.

Les moteurs sont très différents :

- depuis un KX 500 1989, qui doit plutôt être progressif et ayant une puissance relativement modeste (pour 500cc)
- jusqu'à une Honda 125 RSR 1997 compétition client qui dépasse 40 cv et qui privilégie avant tout la puissance maxi

La forme des pots est néanmoins très semblable : la proportion de diamètre (écart diamètre / écart diamètre maxi) en fonction de la proportion de longueur (longueur / longueur « de référence ») suit presque toujours la même loi :



- la position du point milieu du divergent est ~constante (68% de la longueur de référence)
- la position du point milieu du convergent est ~constante (124% de la longueur de référence)
- la longueur de la deuxième moitié du divergent est ~constante (25% de la longueur de référence)
- la longueur de la première moitié du divergent est au moins de 25% de la longueur de référence
- la longueur du convergent est elle aussi ~constante (34% de la longueur de référence)
- la longueur de la portion droite idem (14% de la longueur de référence)

Les proportions entre parenthèses sont une moyenne sur 35 moteurs, dont 10 sont sur le graphe. Cette moyenne est la courbe rouge « référence ». Ces proportions sont utilisées pour déterminer les dimensions des pots par la suite.

## Il ne reste plus qu'à déterminer la longueur

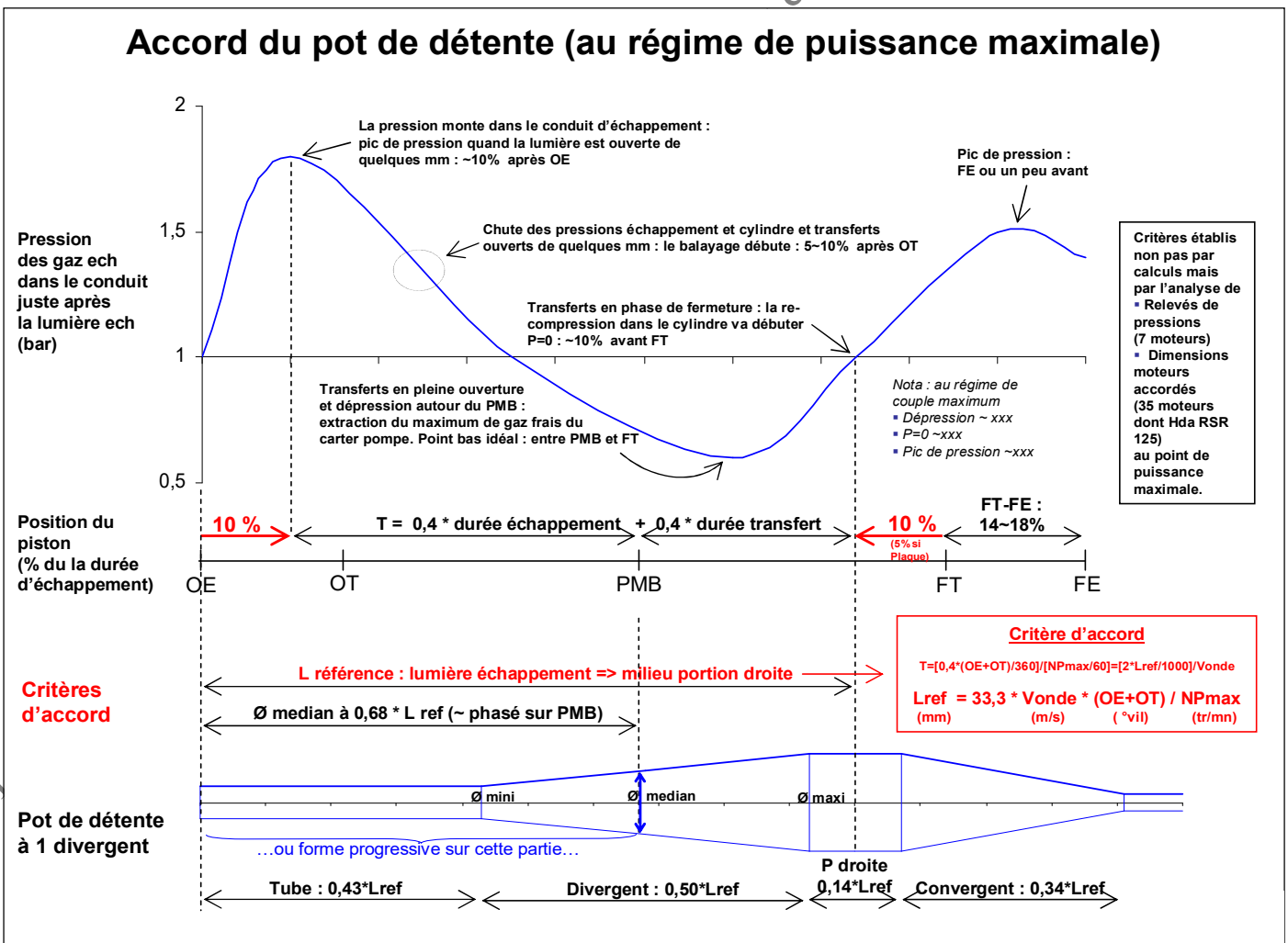
Je dispose d'information complète sur 7 moteurs : toutes les dimensions, les courbes de couple et de puissance, les relevés de pression dans l'échappement :

- En moyenne le pic de l'onde de pression est formé à un dixième de la durée d'échappement (donc 18° vilebrequin après l'ouverture de l'échappement (OE) pour un échappement d'une durée d'ouverture de 180°).
- Après multiples essais de recette, le « repère » le plus constant entre tous ces moteurs pour caler le phasage du motif des pressions et dépressions avec celui des ouvertures et fermetures des lumières est le suivant : le croisement entre la dépression et la pression, qui correspond schématiquement au milieu de la portion droite, se fait 10% avant la fermeture des transferts (FT) (10% : 10% de la durée d'ouverture des transferts). Pour ceux que ça intéresse on pourra en parler plus longuement de l'interprétation de cette valeur.
- C'est pourquoi j'ai pris comme longueur de référence, la longueur entre la lumière d'échappement et le centre de la portion droite (depuis le piston donc, comprenant le conduit dans le cylindre, la bride du cylindre, le tube ou coude, le divergent et la moitié de la portion droite).
- On sait quand l'onde de pression est émise (10% après OE), on sait quand elle doit revenir depuis le milieu de la portion droite (10% avant FT). La formule de calcul de la longueur de référence, très simple à partir du régime voulu et de la vitesse de l'onde, est écrite plus bas.
- Toutes ces valeurs sont établies **au régime de puissance maximale**, parce que c'est une information plus disponible et plus simple à utiliser qu'un autre régime. Donc **le régime à considérer est celui voulu pour le régime de puissance maximale**. Si on veut le régime de couple maxi, il faudra changer les 10% et adapter la recette.

### Calcul des dimensions

Le graphe suivant résume (presque) tout ce qui a été dit auparavant sur les longueurs

- Le régime est celui désiré pour la puissance maximale
- La longueur du tube est comptée depuis le piston : cylindre + bride + tube ou coude.
- L'échelle horizontale est celle du temps. OE : Ouverture Echappement, FT : Fermeture Transfert.



## Diamètres (intérieur en mm) pour un 125 RDX bicylindre (63 cm<sup>3</sup> unitaire ~16cv d'origine)

Un autre épisode de la technique du 2T comme celui-ci serait nécessaires pour établir les bonnes sections (qui se lance?). Pour l'instant, on se contente de mentionner les valeurs pour un 63 cm<sup>3</sup> unitaire.

Tube sortie cylindre : Origine = Ø 28, ne pas grossir (trop gros), suffisant jusqu'à au moins 30 cv, voir plus !  
 Tube de fuite : Origine = Ø 13, suffisant pour un gonflage léger (18 cv), sinon 14 (22cv), 15 (26cv), 16 (30cv)  
 Portion droite : Origine = Ø 80, juste suffisant, si possible passer à 90 (voir 100 si objectif >22 cv)

### Vitesse d'onde

Ca dépend...de beaucoup de choses ! Il est préférable de connaître une machine semblable équipée d'un pot de détente pour se faire une référence et extrapoler la bonne valeur pour le gonflage prévu. Je n'ai pas de référence pour un 125 RDX (d'origine le pot à une plaque à la place du contre cône et le fonctionnement est un peu différent). Faute de mieux, pour un gonflage léger, je conseille 570 m/s. Cette valeur est très dépendante de l'avance à l'allumage (21°vil d'origine). Ceci car la vitesse d'onde dépend avant tout de la température, idem onde sonore :  $V \sim (\gamma \cdot r \cdot T)^{1/2}$ .

Si on adopte une avance différente, la vitesse d'onde et le régime d'accord vont changer. Le coefficient d'influence est d'environ -9m/s pour +1°vil d'avance. A l'inverse si on réduit l'avance la vitesse d'onde et le régime d'accord vont augmenter. Ici je simplifie beaucoup ce qui fait la vitesse de l'onde, mais le paramètre important est bien l'avance. Certains comprennent maintenant ce qu'ils ont expérimenté sur leurs machines. Et aussi pourquoi les avances variables des 2 temps réduisent fortement l'avance après le régime de puissance, pour faire monter la température des gaz d'échappement, donc la vitesse d'onde et ainsi pour que le régime d'accord « suive » le régime moteur.

Le dernier chapitre donne plus de détail sur cette vitesse d'onde.

### Application sur 125 RDX

Comment réaliser un « gonflage léger » d'un 125 RDX 1E7 (1976 & 1977). Valable aussi pour modèles 2R6 (1978=>) On ne touche pas (ou presque...) au moteur, mais on dessine juste un pot adapté pour gagner quelques chevaux.

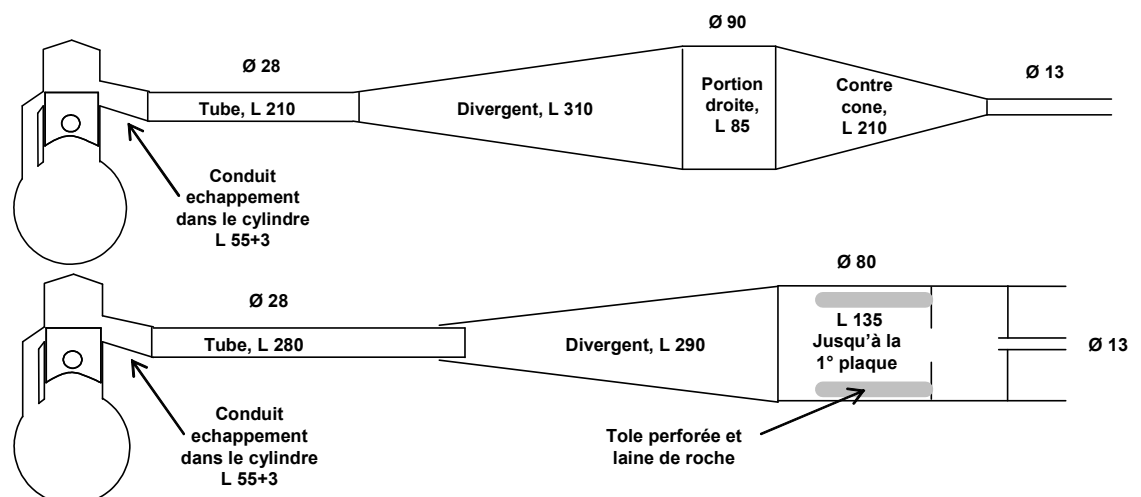
- On garde les diamètres de tube d'échappement (28), de tube de fuite (13) et on passe la portion droite à 90
- On conserve le régime de puissance de 9000 tr/mn. On pourrait peut être obtenir plus de puissance en tournant volontairement plus bas, par exemple 8500 tr/mn, à essayer un jour...
- Hypothèse pour la vitesse d'onde : 570 m/s (fourchette « haute », il faut bien commencer par une valeur...)
- L'échappement à une durée d'ouverture de 179°, les transferts de 113° (mesure sur un moteur)
- Longueur de référence d'après la formule de la page précédente :  $33,3 \times 570 \times (179+113) / 9000 = 615$  mm

Donc, les longueurs sont :

- Cylindre et joint = 55 et 3 mm, mesuré sur moteur
- Tube = 43% x 615 = 265 (depuis le piston). On enlève la longueur cylindre+joint => arrondi à 210 mm
- Divergent = 50% x 615 => arrondi à 310 mm
- Portion droite = 14% x 615 => arrondi à 85 mm
- Convergent = 34% x 615 => arrondi à 210 mm

Simple !  
Il ne reste plus qu'à rouler la tôle et à souder.

... ou à réutiliser une partie du pot d'origine, car les dimensions sont proches de celles du pot d'origine. Si ça n'était pas le cas il faudrait s'inquiéter sur la justesse des recettes !



Deux difficultés vous attendent pour réaliser le premier pot calculé : le tube est plus court qu'avec le coude d'origine, il faut donc une partie de divergent coudée, et il y aura des interférences à gérer entre pot et commandes.

Pour réutiliser la partie avant du pot d'origine, il faut conserver une longueur de 80 mm de la partie droite de diamètre 80. Retirer la tôle perforée et la laine de roche et décalaminer soigneusement. Puis souder un convergent de longueur 180mm. Autre avantage : les attaches d'origine sont conservées. Vérifier que le coude ne rentre pas dans le divergent (dépend des dispersions de fabrication). Au besoin en couper quelques mm. Bien le chanfreiner ainsi que le raccord entre le divergent et le manchon à vis. Le pot d'origine modifié est un petit peu plus long que le pot idéal, le régime de puissance sera peut être un peu plus faible que 9000 tr/mn.

Ajouter bien sur des silencieux. Des modèles à absorption provenant de kits pour mob ou scooter sont parfaits.

### Ajustage du moteur en option

On peut ajuster les sections « critiques » du moteur : retirer les bavures et irrégularités de réalisation, bien arrondir les angles pour les entrées de transfert. Dans l'ordre d'importance :

- sortie des lumières de transfert dans le cylindre
- sièges des clapets dans la boîte à clapet
- entrées de transfert dans le cylindre et raccordement avec le bas moteur
- joints d'échappement et raccordement entre cylindre et tube.

Si on le courage de régler la richesse, on va agrandir l'entrée du filtre à air (en contrepartie la moto fera plus de bruit d'admission). Par découpage ou perçage, il faut atteindre une section d'entrée d'air de 1500 mm<sup>2</sup> si possible. Ceux que ça tente peuvent retirer le joint de culasse (étanchéité avec une pâte joint de bonne qualité). Garder au moins 0,5mm de garde piston / chambre de combustion. Un centrage culasse / cylindre par des douilles sur mesure dans les puis de goujons peut être nécessaire. Ou mieux : reprendre les bords (les bords seulement) de la calotte de piston de 0,5mm ce qui va donner plus d'ouverture échappement et transfert. Le taux de compression corrigé passe de 6,8 à ~7,5.

Avec ces modifications, un moteur (en état correct bien sur) doit pouvoir délivrer 18~20cv. On peut alors tirer plus long pour aller plus vite (par exemple + 1 dent sur la sortie de boîte voir plus selon votre taille. Autre topic à venir...).

Mais avec toutes ces modifications il faut impérativement régler le moteur, ce qui est expliqué 2 pages plus loin.

### Réalisation des cônes

La section perpendiculaire d'un cône est l'ensemble des points à même distance de la pointe du cône. Partant de là, le développé est simple à dessiner sur une tôle d'acier avec un compas

Pour le tracer simplement, sans avoir besoin d'un compas de grande dimension, les formules ci après sont utilisables avec une simple calculatrice. En fonction de la manière de tracer et de découper, certaines des dimensions seulement sont à utiliser, s'aider du schéma.

En partant des dimensions voulues pour le cône

$\varnothing 1$  =  $\varnothing$  entrée

$\varnothing 2$  =  $\varnothing$  sortie

L = Longueur

- $L_{\text{centre}} = \varnothing 1 \times \text{racine} \left( \frac{1}{4} + \left( \frac{L}{\varnothing 2 - \varnothing 1} \right) \right)$
- $L = \text{racine} \left( (\varnothing 2 - \varnothing 1)^2 / 4 + L^2 \right)$

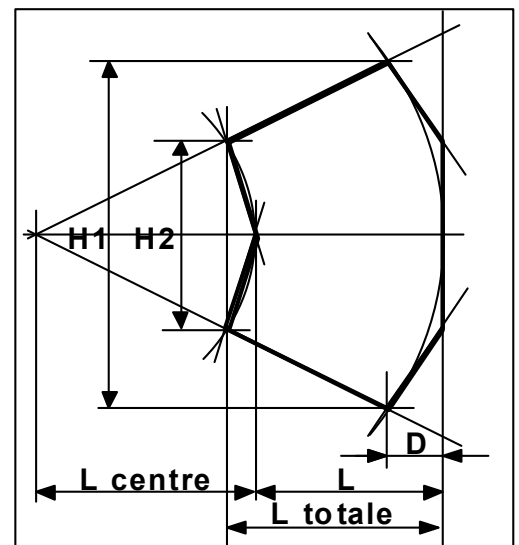
On calcule  $\alpha$ , angle au sommet du cône développé

$$\alpha(\text{degré}) = 720 \times \varnothing 1 / L_{\text{centre}}$$

- $L_{\text{totale}} = L + L_{\text{centre}} \times (1 - \cos \alpha/2)$
- $H1 = L_{\text{centre}} \times \sin \alpha/2$
- $H2 = (L + L_{\text{centre}}) \times \sin \alpha/2$
- $D = (L + L_{\text{centre}}) \times (1 - \cos \alpha/2)$

Ces dimensions sont pour un pot rectiligne.

Si le pot est coudé, il faut prolonger les dimensions, puis couper en biais, une fois les constituants roulés.



## Type de tôle

En général on utilise de la tôle d'acier épaisseur 1 mm. On peut descendre jusqu'à 0,8 ou 0,7 mm.

Moi qui ne connais que la soudure à l'arc, j'utilise une épaisseur de 1,2 mm, galvanisée (difficile...mais possible !)

- Plus la tôle est fine, plus le pot est fragile et bruyant (bruit très métallique type machine de cross, le bruit passant « à travers » les parois du pot), mais réactif (inertie thermique).
- A l'opposé, une épaisseur élevée donne un pot plus silencieux, plus facile à souder, mais plus lourd, plus difficile à « rouler » et moins réactif.

Si le silencieux est monté en porte à faux sur le tube de fuite ou sur le contre cône, on a intérêt à augmenter l'épaisseur du contre cône (1,5 mm).

Exemple d'un pot simple, prévu pour un 50 RD, en tôle galvanisée ep 1,2 mm soudé à l'arc. Les extrémités de la portion droite sont coupées en biais pour que le contre cône se relève sur l'arrière de la moto. Le divergent et la portion droite sont plus courts que l'idéal afin de compenser le coude d'origine trop long (et déjà raccourci au maximum).



Les pattes de fixation doivent bien recouvrir le pot et être soudées sur une bonne longueur pour que la tôle ne se déchire pas sous les sollicitations.



## Réglage moteur et essais

A la base et avant modification le moteur du 125 RDX doit fonctionner « correctement ». Dans des conditions normales : sur le plat, sans vent, au dessus de 15°C, et avec la démultiplication d'origine, le régime de P max de 9000 tr/mn doit être dépassé sans difficulté et le moteur doit « saturer » en 5° (~9500 tr la puissance chutant fortement après).

Les grands gabarits devront se coucher sur la moto et laisser au vestiaire anoraks et écharpes.

Si ce n'est pas le cas il faut trouver pourquoi et régler le problème : encrassement filtre à air ou échappement, calaminage moteur, mauvais état cylindre et piston, allumage mal réglé, partie cycle frottante, Cx du pilote, etc...

Régler précisément l'avance à l'allumage d'origine sur les 2 cylindres (1,8mm ou 21°). Les modèles 2R6 ont une avance à 1,5 mm qu'on peut augmenter à 1,8 mm pour la raison suivante (ou à l'inverse on peut réduire celle des modèles 1E7).

Plus d'avance (jusqu'à 25°) favorise les bas régimes mais fait chauffer l'intérieur du moteur. Le point fusible est le piston.

Pour la richesse c'est l'inverse : une faible richesse fait chauffer le moteur. Sur un 2 temps à carter pompe, la richesse doit être élevée pour refroidir le piston, qui par principe est mal refroidi, par opposition à un 4 temps ou les projections d'huile du carter ou des jets d'huile sous pression (« pissettes ») contribuent significativement à ce refroidissement.

Avance	mm	°vilo
Allumage	2,4	24,8
	2,2	23,7
	2	22,6
Origine =>	1,8	21,4
	1,6	20,2
	1,4	18,9
	1,2	17,4
	1	15,9
	0,8	14,2

Donc tant que la richesse n'est pas réglée, il faut impérativement ne pas dépasser les 21° d'origine pour assurer la sécurité du piston (serrage, usure, trous dans la calotte).

## La richesse

D'abord qu'est ce que ça veut dire, la « richesse » ?

La combustion idéale d'un carburant dans l'air (celle qui ne produit que du CO<sub>2</sub>) demande une juste proportion entre la masse d'air et la masse d'essence. Environ 14,5 gr d'air pour un gr d'essence, on est alors à la richesse 1.

- Si la richesse est plus forte, par exemple 1,1, les gaz carburés contiennent 1,1 fois la masse d'essence qu'il faudrait idéalement (10% de plus), le réglage est dit « riche » : en excès de carburant.
- Si la richesse est de 0,9 c'est l'inverse, le réglage est « pauvre ».

Pour réduire la consommation il faut un mélange pauvre.

Pour augmenter la puissance et refroidir l'intérieur du moteur il faut un réglage riche (l'évaporation de l'essence absorbe beaucoup de chaleur).

Un carburateur bien réglé produit un mélange riche à pleine ouverture du boisseau et pauvre (avec des nuances) à faible ouverture. La richesse dont on parle ici est celle de la position pleine ouverture.

Le pot de détente va changer les pressions et dépressions dans le moteur, y compris pendant la phase d'admission pour un moteur à clapets, et ceci d'autant plus que le pot est efficace. Les pulsations dans l'admission changeant, le fonctionnement du carburateur peut être modifié. Il faudra alors en corriger l'effet. Difficile de prévoir la valeur.

Une augmentation de section de l'entrée du filtre à air (ou son remplacement par des cornets, filtres mousses ou autres) va réduire la dépression au dessus du gicleur et va donc nécessiter un gicleur plus gros pour conserver le même débit d'essence et donc la même richesse.

D'abord partir des réglages d'origine : gicleur principal (82), position d'aiguille (2° cran, à partir du haut toujours), position vis de richesse de ralenti (1 tour ¼, n'est pas impacté par le pot de détente). Ce réglage sera probablement trop pauvre.

Pour augmenter la richesse et revenir à la valeur optimale il faut augmenter la taille du gicleur principal. Au moins 5 points d'un coup et ainsi de suite jusqu'à obtenir la bonne valeur.

Le gicleur d'origine a un petit filetage M4, spécial, il sera difficile de trouver d'autres gicleurs. On peut (délicatement car il y a peu de matière) tarauder le puis d'aiguille à M5 pour utiliser des gicleurs standards de provenance automobile ou moto. C'est plus que conseillé si le filtre à air est modifié (ou supprimée) car dans ce cas il faut changer significativement la taille du gicleur. Selon les configurations moteur, le gicleur peut varier de 80 jusqu'à 100 avec le carbu d'origine. 100 : sans filtre à air.

Agir sur l'aiguille change aussi la richesse, en la remontant on augmente la richesse, mais l'effet est faible, l'équivalent de quelques points sur le gicleur. Néanmoins si on ne modifie pas le filtre à air, ce réglage peut être suffisant. Il existe des gicleurs de 84 (modèle 2R6 1978 =>).

### Sentir quand la richesse est bonne

Quand on monte progressivement la taille du gicleur en partant de bas, on passe d'un stade où le moteur fonctionne mal (trop « pauvre »), puis mieux, puis bien, puis moins bien (trop « riche »). La bonne richesse est sur le mot « bien ». Il peut y avoir une plage : 2 gicleurs fonctionnent de manière équivalente.

Pour choisir le bon il faut savoir que l'effet de la température est sensible sur la richesse. Quand il fait chaud le moteur devient plus riche, quand il fait froid le moteur devient plus pauvre. Si par exemple il fait très chaud et que deux gicleurs donnent le même résultat, choisir le plus gros en anticipation des moments où il fera plus froid.

Pour un non habitué, difficile de distinguer quand le moteur est trop pauvre ou trop riche.

Rien ne remplace l'habitude et les années de pratique, néanmoins les indications suivantes vont vous aider :

Quand le moteur est trop riche :

- Il a tendance à ratatouiller régulièrement, genre 4 temps : brbrbrbrbrbrbrbr
- Mettre le starter fait chuter tout de suite la puissance
- A froid le moteur fonctionne presque bien, mais plus du tout à chaud
- Couper l'essence (en restant plain gaz) le fait marcher mieux quelques secondes
- Quand on démonte la bougie le bout du culot est noir (mais ce n'est pas la seule cause d'une bougie noire)

Quand il est trop pauvre

- Il est instable (oscillation lente de régime ou d'accélération)
- Refermer un peu la poignée de gaz le fait accélérer légèrement
- Mettre le starter peut améliorer la puissance (mais pas sur un 125 Yam, le débit de starter est trop fort)
- A froid il faut le starter impérativement.
- Les électrodes et le culot de bougie sont gris clairs voir blancs, surtout si on a roulé plein pot avant.

## Parlons un instant de sécurité

Pour sentir le bon réglage il faut faire plusieurs accélérations plein gaz de suite en enchaîner 1°, puis 2° puis 3°, etc. Il faut prendre ses repères pour juger des améliorations : vitesse de passage à un point donné, etc...

Avec le casque et tout l'équipement de sécurité, et dans les limites légales bien sûr. Un circuit est l'idéal

Ces réglages sont longs et fastidieux : démonter les 2 carburateurs, vidanger l'essence des carburateurs, remonter, proprement, remettre casque, gants, rejoindre la zone d'essai, etc.

Il faut avoir le temps et être dans un environnement sans danger. Quand ça cloche, ne pas hésiter à tout stopper pour réfléchir.

Et surtout noter ce qu'on a fait : au bout de 3 réglages, on n'est plus sur du premier, surtout si rien ne fonctionne comme prévu. L'idéal est de noter la configuration moteur, la température extérieur, et si essais de vitesse (dans les limites légales) le sens et la force du vent, et les versions essayées (gicleur, avance, et autres variations le cas échéant).

## Sentir le régime de puissance maximale

La richesse doit être réglée avant.

Sur un rapport donné (4° ou 5°), sur la fin du « coup de pied au cul », quand ça accélère le plus fort, on est au régime de couple maximum. La puissance est juste un peu plus haut, en général + 500~1000 tr/mn. Puis, 500~1000 tr/mn encore après ce régime de puissance maximale, la puissance chute et la vitesse de la machine plafonne (sauf sur les rapports intermédiaires ou le régime peut monter encore).

En général on surestime le régime de puissance maximale, car tant que le régime ne sature pas, on a l'impression qu'il y a plus de puissance en allant plus haut.

Explication sur la courbe de puissance d'une 125 RDX « 1E7 » d'origine :

Si le régime de puissance maximale est celui qui était visé, alors juste bravo !!!

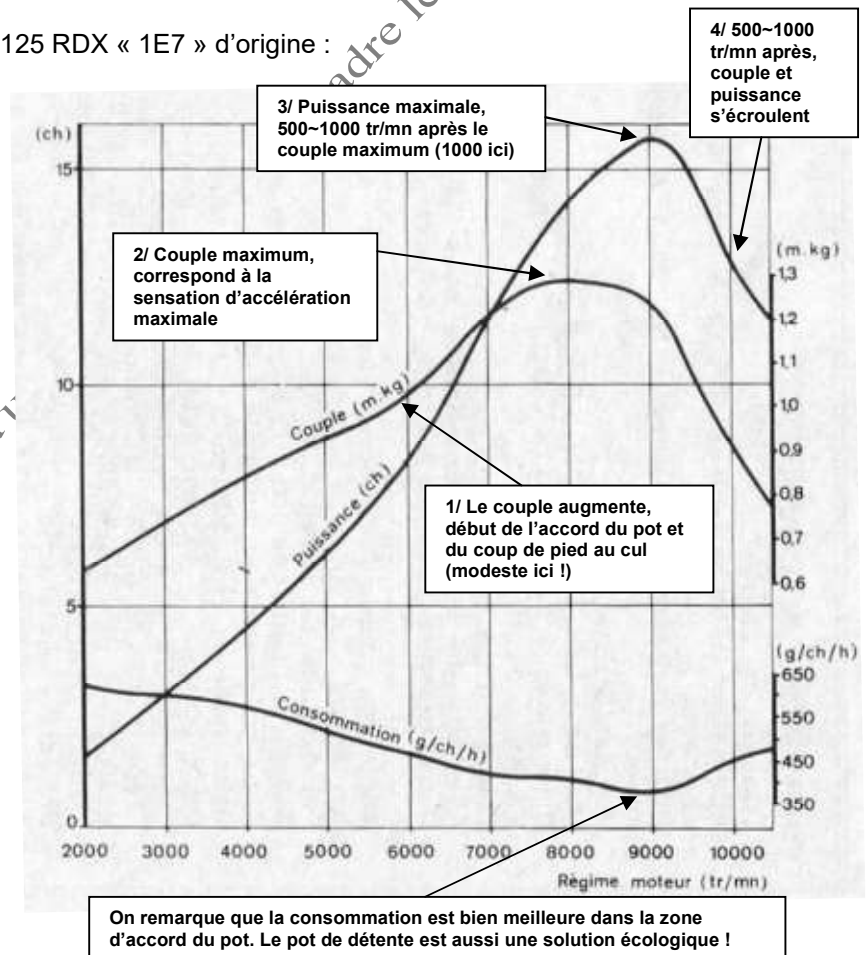
Si le régime est trop bas :

Vérifier encore une fois que l'avance est la bonne et la richesse pas trop forte. Si pas de changement il faut accepter la situation ou raccourcir le pot. Mais cette fois, on connaît le régime de Pmax et on peut déterminer exactement de combien raccourcir le pot : soit réfléchir à la formule exacte (simple) à partir de ce qui dit plus haut, soit faire une règle de trois sur la longueur de référence : je suis à 8000tr/mn, je veux 9000, j'enlève donc ~10% sur L référence.

Si le régime est trop élevé

Même vérification que dans le cas précédent. Si pas de changement, on peut essayer d'augmenter un peu l'avance, ce qui va baisser le régime. Ne jamais aller au-delà de 25° d'avance. Si le régime est toujours trop élevé, il faut rallonger le pot selon la recette des lignes du dessus.

Si on opte pour une avance élevée et si le taux de compression a été augmenté, il est plus que prudent de ne pas utiliser des richesses trop basses (le piston vous remercie).



## Pour les motoristes

Les graphes ci contre illustrent le fonctionnement d'un moteur performant équipé d'un pot de détente bien accordé. Ils sont extraits d'un article SAE rédigé par Yamaha en 1981 et expliquent les avantages du système YPVS sur une 250 YZ juste avant la commercialisation en série de ce système.

On commence par regarder les courbes en pointillé qui caractérisent le moteur sans YPVS.

Ce qui est dit dans les 4 premières pages est clair sur les graphes. L'accord du pot ou le « coup de pied au cul » démarre vers 6000 tr/mn et décroît à partir de 8500 tr/mn :

Le taux de livraison (L) ou « delivery ratio » en Anglais (quantité de gaz livrée par le carter pompe vers le cylindre) est maximal sous l'effet de la dépression générée par le divergent et dépasse l'unité entre 5500 et 8500 tr/mn. Un très bon résultat.

Le rendement de livraison ( $\eta_L$ ) ou « trapping efficiency » en Anglais, décolle vers 6500 tr/mn et monte progressivement jusqu'à 9000 tr/mn pour dépasser 0,8 sous l'effet de l'action du convergent. Au delà de 9000 tr, l'onde revient trop tard et ne parvient pas à empêcher les gaz frais de sortir par la lumière d'échappement, ni à les re-comprimer dans le cylindre. Le rendement de livraison chute donc. Avant 9000 tr, la montée progressive du rendement de livraisons est aidée par la perte de charge dans le tube de fuite et par la pression qui s'installe dans le pot. Rappelez-vous, il ne faut pas retirer les chicanes ou avoir un trop gros tube de fuite car ça fait chuter cette pression, sauf si le moteur d'origine est mal conçu ou bridé par cette section (rare).

La quantité de gaz finalement retenue dans le cylindre (qui fait donc les perfos du moteur) est le produit  $L * \eta_L$ , appelé « remplissage » ou « charging efficiency » en Anglais. Le couple est approximativement proportionnel à ce remplissage, la courbe de couple en fonction du régime aurait donc la même allure que celle du remplissage. Sa forme n'est d'ailleurs pas très éloignée de celle du RDX.

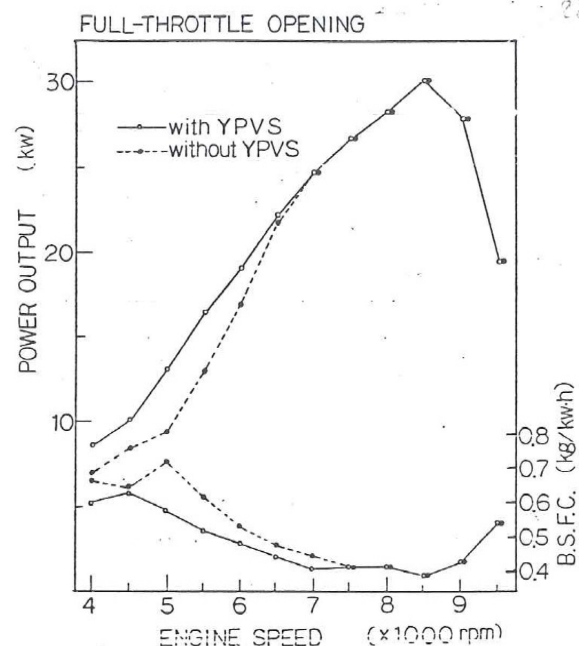
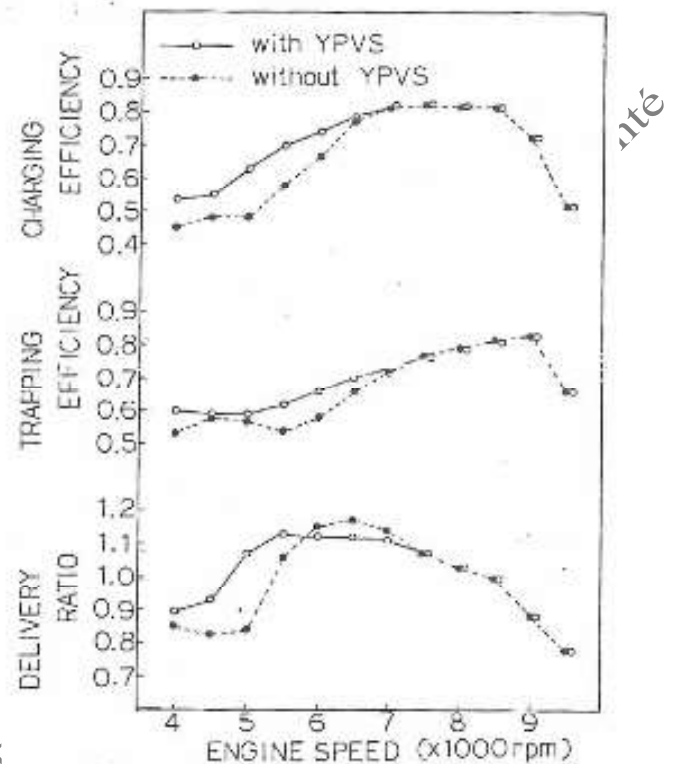
La boucle est bouclée : le pic de remplissage, démarre vers 5500 tr/mn et décroît à partir de 8500 tr/mn

On a expliqué quelques lignes plus haut pourquoi le remplissage (et les perfos) s'écroulent à trop haut régime, à partir de 8500~9000tr/mn.

A 5000 tr/mn ça va aussi très mal pour le remplissage : la surpression générée par le convergent arrive trop tôt et empêche les gaz frais de passer du carter pompe vers le cylindre, ce qui se lit sur la courbe du taux de livraison. Tandis que, sans rentrer dans le détail, une autre dépression suit cette surpression et vide le cylindre. Ces 2 phénomènes écroulent littéralement le rendement de livraison. Le résultat est un remplissage au plus bas, à moins de 0,5. A peine plus de la moitié de la valeur à 7000 tr/mn.

Ce contraste donne le caractère « pointu » : *Avant 5000 y'a rien, à 6000 on entre dans un autre monde, celui des « ondes positives ».* Donald Sunderland dans *de l'or pour les braves*. La courbe de puissance ou « power output » en Anglais, recopie ces phénomènes (rappel : Puissance = couple x régime).

La courbe de consommation spécifique, « BSFC » en Anglais, dit la même chose que sur l'exemple du RDX, l'accord du pot améliore considérablement les choses. Grâce donc à l'amélioration du rendement de livraison qui veut dire en plus simple : moins de court circuit de gaz chargé d'essence du carter pompe => échappement.



## Le génie de l'YPVS Noriyuki-san aux commandes de son banc moteur, Tokyo 1980

Il faut regarder les courbes en trait plein de la page précédente. L'YPVS est un boisseau qui vient masquer le haut de la lumière d'échappement. Pas parfaitement : il y a un jeu d'un petit mm entre le boisseau et le piston. Le boisseau entre en action et masque la lumière d'échappement sous 6000 tr, ce qui a 3 effets :

- 1- la lumière d'échappement est plus basse,
- 2- en conséquence sa durée d'ouverture est plus faible et donc le régime du contre accord est décalé vers les bas régimes (500~1000 tr/mn, voir la courbe du taux de livraison)
- 3- l'énergie de l'onde est réduite, car quand la lumière s'ouvre, comme il y a du jeu entre piston et boisseau, il y a début de passage de gaz vers le conduit d'échappement et la pression commence doucement à monter. Ce qui fait un pic de pression plus « doux »

Comme la lumière d'échappement est plus basse :

- On récupère un peu plus d'énergie sur le piston (la pression reste plus longtemps dans le cylindre à pousser sur le piston).
- Lors de la fermeture de lumière, puisqu'elle est plus basse, il y a moins de perte de gaz frais. Nous sommes à des régimes où le pot de détente fonctionne mal (ou au contraire de ce qu'il faudrait) et n'assure donc pas l'effet « barrière ».

Pour toutes ces raisons, le trou de performance juste avant le régime d'accord -phénomène que j'ai appelé « contre accord » dans les pages précédentes- est totalement gommé, et la sensation est un moteur plus linéaire.

De fait, à 5000 tr/mn, le remplissage est augmenté de plus de 30% et le couple et la puissance aussi par conséquence directe. Voir la courbe de remplissage qui passe de ~0,47 à ~0,63.

### Quelques autres astuces pour assouplir le moteur

Comment limiter la chute brutale de puissance après le régime d'accord ?

Si vous avez bien suivi, il faut augmenter la vitesse de l'onde. Un bon moyen est d'augmenter la température des gaz, car  $V_{\text{onde}} \sim \sqrt{\gamma \cdot r \cdot T}$  =>  $V_{\text{onde}}$  est proportionnelle à la racine carrée de la température.

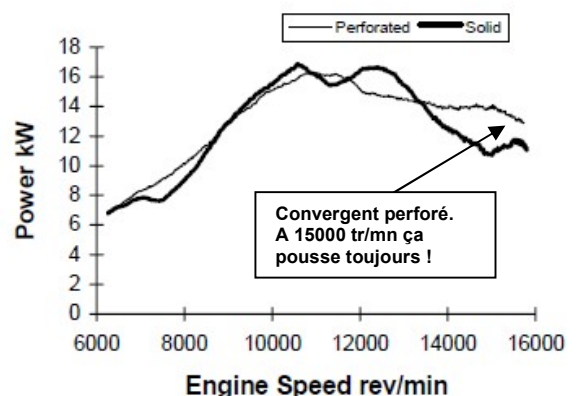
- Avance variable réduisant l'avance à l'allumage après le régime de puissance maxi. On perd en rendement car une partie de l'énergie thermique passe à l'échappement plutôt que sur le piston, mais le décalage du régime d'accord et l'augmentation de remplissage résultante fait plus que compenser cette perte. Solution universelle sur tous les 2 temps à allumage électronique à partir de ~1980.
- Plus risqué : réduction de la richesse. Certes les gaz d'échappement chauffent, mais le piston aussi ! Serrage fréquent en fin de ligne sur les vieux karts à carbu « Tillotson » avec vis de richesse accessible. « Faux pas jouer avec les allumettes » *Clint dans pale rider*. Mais à l'époque il n'y avait pas encore de variation d'avance électronique facilement disponible...
- Réduction de l'effet du convergent
  - Plus long. Sans rentrer dans le détail, le coefficient de réflexion baisse avec l'angle au sommet, surtout pour les hautes fréquences.
  - Perforé comme sur les karts. Certains ont une allonge en puissance exceptionnelle. L'onde est amortie sur le convergent, car la pression « fuit par ces trous ».

Pour limiter le trou avant le régime d'accord

- Plus d'avance à l'allumage pour réduire la température des gaz d'échappement et donc la vitesse de l'onde. Le moteur chauffe plus, mais la puissance thermique à ces régimes n'est pas élevée, donc ça passe pour le piston. De plus la combustion, plus lente à ces régimes, a en général besoin elle aussi de plus d'avance. Donc tout bon. Utilisé aussi (mais pas systématiquement) sur les allumages à avance variable.
- Sur-richesse (ou injection d'eau !, mais trop peu réactive pour retrouver la thermique de pleine puissance).
- Amortissement ou décalage de l'onde : YPVS ou système du même genre. Hyper efficace.

Pour limiter les deux effets

- Petit diamètre de pot pour limiter les coefficients de réflexion. Ce qui réduit aussi les performances. Utilisé par exemple sur les 500 moto cross ou de toute façon ni le piston ni le pilote ne pourrait supporter des performances « complètes ». Au passage, la puissance thermique (par  $\text{cm}^2$  de calotte) que peut recevoir et évacuer un piston mal refroidi comme celui d'un 2 temps à carter pompe est inversement proportionnel à son diamètre, raison pour laquelle au-delà de 125  $\text{cm}^3$  unitaire les performances ont du mal à passer (trous dans le piston, serrage, etc...)



Et ainsi de suite...pas de limite aux idées quand on a compris par où aller.

A l'inverse, ceux qui veulent un comportement plus contrasté pourront raccourcir légèrement le convergent, pas exemple 32 à 30% de la longueur de référence au lieu de 34%.

Voilà...vous savez presque tout !!!

Sauf à quoi sert la portion droite ?

A presque rien... Juste à positionner à la bonne distance le convergent. On pourrait laisser divergent et convergent se rejoindre sur un diamètre plus important, mais avec des soucis d'encombrement et certainement une perte dans les coefficients de réflexion du divergent et du convergent (bien que pour ma part je n'ai jamais vu d'étude sur ce point « toutes conditions égales par ailleurs »).

### Derniers points :

1- Pour un moteur haute perfo, la partie avant du pot peut s'élargir plus progressivement depuis la sortie du cylindre jusqu'à la mi section du divergent. Pas trop au début : à 25% de la longueur de référence (depuis le piston) il faut avoir fait ~5% maxi de l'augmentation de diamètre entre l'entré du pot et le diamètre maxi (voir graphe « proportions magiques »)

2- Compléments sur l'estimation de la vitesse d'onde (un peu pifométrique...)

### Estimation de la vitesse d'onde au régime de puissance maximale

V onde dépend avant tout de la température des gaz d'échappement:

#### 1 - A la sortie du cylindre

- Avance à l'allumage
- Richesse
- Taux de compression
- PME et puissance spécifique
- Refroidissement (air ou eau)
- Surface cylindre, chambre, ... / puissance par cylindre

#### 2 - Refroidissement dans le pot

- Surface pot / puissance par cylindre
- Position du pot (face à la route ou arrière)
- Isolation du pot

Au premier ordre => 2 paramètres influents

- Avance allumage
- Puissance par cylindre

Les autres paramètres sont liés (par exemple, plus de PME peut entraîner une réduction de l'Avance à l'allumage), attention donc à l'utilisation des données suivantes. Il est d'ailleurs préférable de les utiliser pour corriger une base connue (moteur avant gonflage, ou autre moteur proche).

Modèle 2 paramètres	Echantillon 1 (11 moteurs)	Echantillon 2 (23 moteurs)	A retenir pour correction
Avance Allumage (°vil)	+1°AA => -9,3 m/s	+1°AA => -6,9 m/s	+1°AA => -9 m/s
Puissance par cylindre (kW)	+1kW => +2,1 m/s	+1kW => +1,2 m/s	+1kW => +2 m/s

Si pas de référence, le calcul absolu est le suivant (AA en degré vilebrequin, P/cyl. en kW)  
 $V_{\text{onde}} \text{ (m/s)} = 540 + [(23-AA)*9,3] + [(P/\text{cyl}-9,6)*2,1]$  (soit 540 m/s pour 13cv et 23°AA)

C.Demazure  
Juillet 2008

*Vous ne trouverez pas, je crois, de recette plus simple (et j'espère compréhensible) pour dimensionner un pot de détente adapté à chaque type de moteur.*

*C'est un premier dimensionnement, qui fonctionnera toujours correctement.*

*Mais pour une optimisation compétente, surtout si le moteur n'est pas tout à fait dans la norme (et beaucoup le sont, ont leur particularités) un spécialiste comprenant ce qu'il fait et disposant d'un banc moteur et de temps fera sûrement mieux.*

*En plus clair : les recettes expliquées ici ne sont pas une assurance pour être devant à coup sur !*

*Je garantie par contre que les bases physiques expliquées sur le fonctionnement sont les bonnes.*