



Le système d'échappement

Dans un même souci de performance, il est nécessaire d'aborder la façon d'évacuer au mieux les gaz brûlés à l'issue de la combustion. Cette tâche délicate est assurée par le système d'échappement.

Dans le cadre de l'étude de l'échappement adapté aux motos Harley-Davidson, en plus de la performance, deux facteurs essentiels doivent être pris en compte : le son et le look. Et comme très souvent, look et performance sont parfois contradictoires.

LE SYSTÈME D'ORIGINE

Le problème est qu'un moteur Harley (grosse cylindrée unitaire et refroidissement par air) est par conception beaucoup plus bruyant qu'un multicylindres à refroidissement liquide. Par conséquent la priorité du constructeur est de satisfaire aux normes anti-bruit de plus en plus draconiennes, et ce toujours au détriment de la performance. Si les conceptions de l'admission (filtre à air) et du diagramme de distribution (arbre à cames) sont des facteurs de réduction sonore, le système d'échappement reste bien sûr l'élément déterminant.

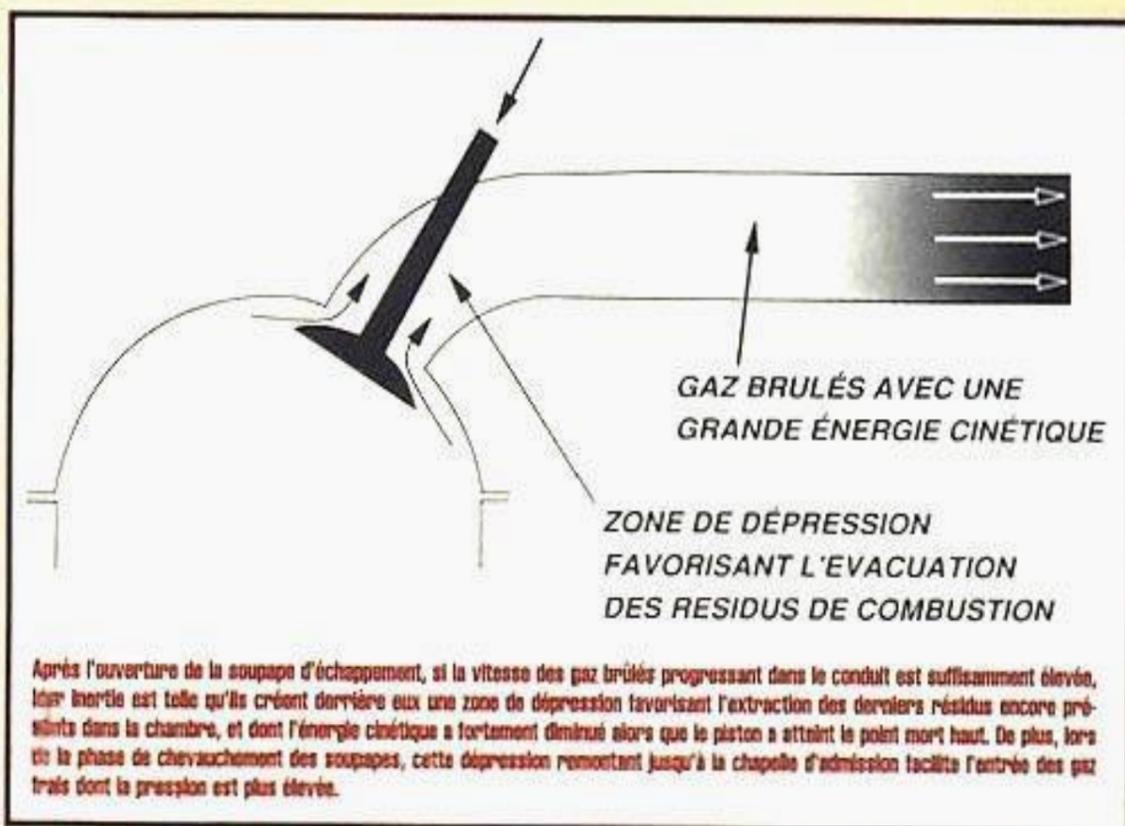
Malgré un très gros travail des bureaux d'études de la firme de Milwaukee pour concevoir des silencieux homologués le moins pénalisants possible, le système d'origine est extrêmement restrictif et provoque une importante perte de puissance.

C'est pourquoi l'échappement est très souvent la première pièce changée par le nouveau possesseur de Harley qui espère ainsi obtenir des performances accrues mais aussi un son digne de sa machine.

LA GRANDE ARNAQUE

Les accessoiristes, conscients de ce marché très important, proposent une liste impressionnante d'échappements de toutes sortes et de toutes formes, vendus bien souvent à des prix prohibitifs. Le problème, c'est que la réalisation d'un échappement ne s'improvise pas, et ne se résume pas à un simple tuyau en ferraille chromée comme c'est bien souvent le cas.

Un échappement doit être conçu en fonction de la cylindrée, du degré de préparation du moteur, ainsi que du type d'utilisation que l'on souhaite en faire. De plus sa réalisation doit être effectuée avec des matériaux de qualité en raison des contraintes thermiques importantes subies par cette pièce qui, sur une Harley, se doit de bien vieillir, look oblige. Or, il est déplorables de constater que parmi la multitude d'échappements déployés à grand renfort de courbes de puissance comparatives mensongères et de chiffres aberrants - certains déclarent un gain de puissance de 40 % sur simple changement des échappements -, la quasi totalité vous apportera un gain de 300 %... de bruit pour une augmentation des performances infime voire même parfois une perte de couple très marquée. Je passe sur les problèmes de réglage de carburation posés par certains échappements de type drag-pipe non adaptés. En hiver 1994, le magazine américain "American Rider" a présenté un essai fort instructif sur les échappements. Le principe en était très simple, puisqu'il s'agissait de mesurer au banc de puissance les différences de performances obtenues sur la



Après l'ouverture de la soupape d'échappement, si la vitesse des gaz brûlés progressant dans le conduit est suffisamment élevée, leur inertie est telle qu'ils créent derrière eux une zone de dépression favorisant l'extraction des derniers résidus encore présents dans la chambre, et dont l'énergie cinétique a fortement diminué alors que le piston a atteint le point mort haut. De plus, lors de la phase de chevauchement des soupapes, cette dépression remontant jusqu'à la chambre d'admission facilite l'entrée des gaz frais dont la pression est plus élevée.

même machine, strictement d'origine, dont on avait simplement changé l'échappement. Le gain maximal de puissance a été de 5 chevaux, obtenu avec un 2 en 1 Supertrapp. Comme vous le voyez, on est bien loin des 40 % en plus annoncés sur simple changement de l'échappement.

Avant d'acheter n'importe quoi au prix fort, il est préférable de comprendre un peu mieux le principe de fonctionnement d'un échappement.

LA BONNE COMBINAISON

Sans atteindre l'influence qu'il peut avoir sur un moteur 2 temps, l'échappement d'un moteur 4 temps à, bien sûr, un rôle fondamental sur les performances mais aussi sur le caractère du moteur. La plupart d'entre nous désirent un système au look plaisant et au son raisonnable délivrant le maximum de couple dès les plus bas régimes avec la meilleure puissance possible vers les 5500 tours/mn, alors que le pilote de drag cherchera le maximum de puissance dans la zone des 5000 à 8000 tr/mn. Les cotes et les formes d'un échappement vont déterminer la nature des ondes de pression et des ondes acoustiques qui vont se produire en fonction du régime, et par conséquent la plage de régime où l'évacuation des gaz brûlés sera la plus complète. Premier constat, la plage d'utilisation souhaitée va définir les cotes et la forme de l'échappement. Au même titre que le carburateur, la tubulure d'admission, les conduits de culasses et l'arbre à cames, l'échappement fait partie intégrante des éléments qui régulent la circulation d'air dans la pompe qu'est un moteur à piston. Il est donc primordial que l'ensemble des ces éléments soient parfaitement

accordés entre eux pour former un juste équilibre. Ceci est particulièrement sensible dans le cas de l'échappement qui doit être choisi afin d'obtenir la bonne combinaison.

Deuxième constat, un échappement qui donne d'excellents résultats sur un moteur peut avoir une influence désastreuse sur un autre. L'échappement passe-partout n'existe pas.

LA THÉORIE DE L'ÉCHAPPEMENT

La conception adéquate du dispositif d'échappement n'est pas une simple mise à l'air libre, mais permet de favoriser le remplissage des cylindres en exploitant l'énergie très importante des gaz brûlés (surpression élevée) au moment de l'ouverture de la soupape d'échappement.

Pour cela on va jouer sur deux principes : la vélocité, et par conséquent l'inertie, des gaz d'échappement, ainsi que les ondes de pression.

• La vélocité des gaz d'échappement :

Au moment de l'ouverture de la soupape d'échappement, en fin de la phase de détente qui suit l'explosion, et alors que le piston poursuit sa descente vers le point mort bas, la pression des gaz brûlés est encore très élevée. Par conséquent, dès l'ouverture de la soupape ils s'évacuent spontanément (effet de bouffée) et à vitesse élevée dans le conduit d'échappement, de telle façon que lorsque le piston entame sa remontée la quasi-totalité des gaz brûlés est déjà sortie du cylindre.

Si cette vélocité est suffisamment élevée, la masse gazeuse progressant dans le conduit d'échappe-

ment aura assez d'inertie pour créer derrière elle une dépression qui favorisera l'évacuation des derniers résidus, alors que le piston a atteint le point mort haut et que la soupape d'échappement est encore ouverte. À certains régimes, ce phénomène est tel qu'il favorise également l'admission des gaz frais lors de la phase de chevauchement des soupapes (*voir schéma n°1*). La vitesse des gaz va augmenter de façon linéaire avec le régime moteur, et ce jusqu'au régime de couple maxi, point auquel on doit obtenir la vitesse optimale qui se situe aux alentours de 90 m/s. En fait, pour une cylindrée et un régime donnés, on se rend compte que c'est le diamètre du conduit qui va déterminer la vitesse des gaz.

• **L'influence du diamètre du conduit d'échappement :**

Beaucoup pensent que plus le conduit est gros, mieux c'est ! Il n'est pas rare de voir certains Sportster 883 équipés de dragpipes de... 2 inches !!!

Comme nous l'avons vu, l'idéal est d'obtenir une vitesse de 90 m/s au régime de couple maximum désiré.

Si le diamètre du conduit est trop faible, la vitesse va augmenter très vite avec le régime. Le couple maxi sera atteint à un régime faible et, au-delà, les frottements des gaz sur les parois du conduit seront tels que la contre-pression engendrée limitera énormément la puissance (pertes par friction).

Si le diamètre du conduit est excessif, les 90 m/s seront atteints à un régime trop élevé (parfois au-delà du régime max du moteur). En dessous, la vitesse des gaz en sortie de culasse va chuter de façon si importante que l'inertie de la masse gazeuse sera trop faible pour favoriser le balayage du cylindre. De plus, la faible énergie des gaz aura tendance à créer le phénomène inverse, c'est à dire à provoquer le retour d'une partie des gaz brûlés dans la chambre de combustion, conduisant ainsi à une dilution avec les gaz frais. Ceci est à l'origine d'une faible réponse aux gaz, accompagnée d'une importante dégradation des performances. Un malheur n'arrive jamais seul, la dilution engendrée va rendre le réglage de la carburation extrêmement difficile à bas régimes.

Si la réalité mécanique contredit parfois les calculs théoriques, la formule suivante constitue une bonne base pour déterminer la vitesse des gaz à l'échappement en fonction du régime et des caractéristiques moteur.

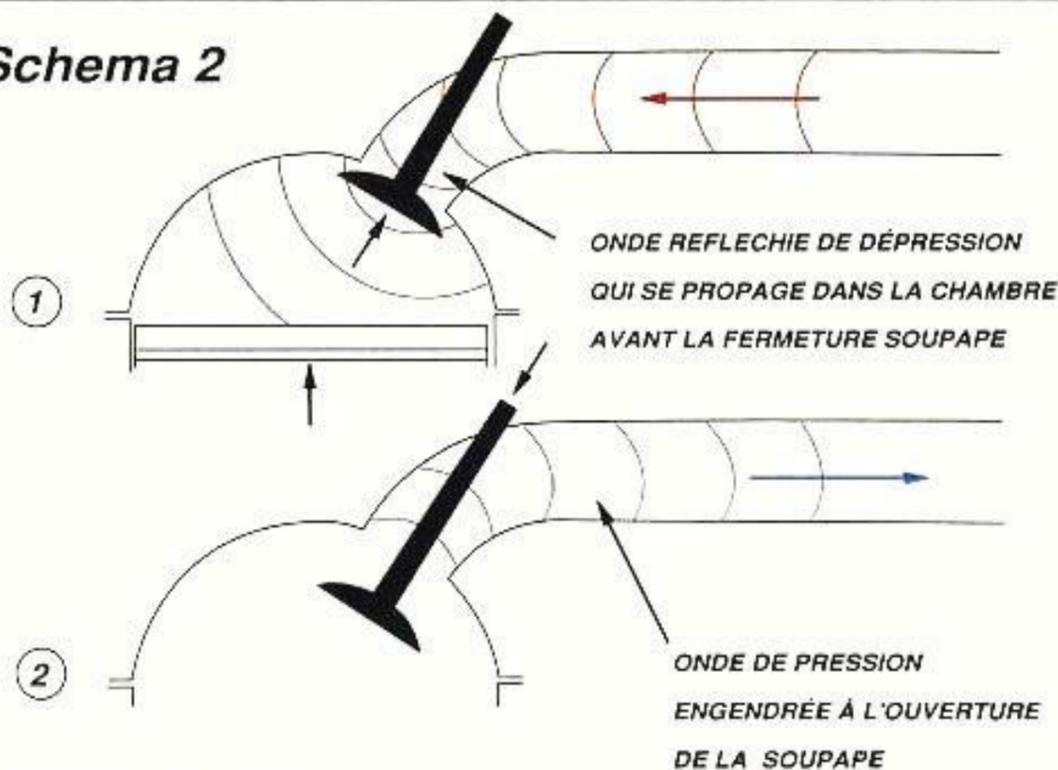
$$V = \frac{VP \times A2}{197 \times D2} \text{ où}$$

V = vitesse des gaz à l'échappement en m/s
VP = vitesse linéaire du piston en pieds/mn
A = alésage
D = diamètre intérieur du conduit d'échappement (les diamètres intérieurs des conduits de 1"3/4 et 2" étant respectivement de 1"5/8 et 1"7/8)
 Pour calculer la vitesse du piston en pieds/mn, on multiplie la course (en inches) par le régime et on divise par 6.

Si on peut s'amuser à calculer la vitesse des gaz à tous les régimes, le plus important est plutôt de déterminer le régime qui correspond au milieu de la plage utilisée en fonction du type de conduite adopté. Pour un 1340 cm3 en utilisation normale, le milieu de plage est de l'ordre de 3000 tr/mn, alors que pour le "brutal" de la poignée des gaz celui-ci se situe vers les 5000 tr/mn. Le but étant, bien sûr, d'obtenir une valeur la plus proche possible des 90 m/s au régime sélectionné.

Prenons par exemple un 1340 cm3 équipé de dragpipes de 2 inches dont le propriétaire du genre nerveux tourne toujours entre 4000 et 6000 tr/mn :
VP = (4,25 x 5000) : 6 = 3541
A = 3,5

Schema 2



À l'ouverture de la soupape d'échappement, l'effet de bouffée dû à la pression très élevée des gaz brûlés engendre une onde de pression qui se propage dans le conduit à une vitesse supersonique. Arrivée à l'extrémité du conduit, elle se détend dans l'atmosphère et se réfléchit en onde de dépression qui remonte jusqu'à la soupape d'échappement, favorisant grandement le balayage de la chambre de combustion. Ce phénomène est optimal dans une faible plage de régime déterminée par la longueur de l'échappement.

D = 1,875
V = (3541 x 3,52) : (197 x 1,8752)
v = 43377 / 693
v = 63 m/s

On est bien loin, malgré une conduite "sport", des 90 m/s requis, et cette valeur très basse se traduit par un moteur extrêmement creux à tous régimes. Avec un échappement de 1"3/4 (diamètre d'origine), la valeur obtenue est de 83 m/s, donnant des performances nettement supérieures sur toute la plage.

En fait l'adoption de conduits de 2 inches n'est conseillée que pour des cylindrées au-delà de 98 cid. En résumé, le diamètre de l'échappement doit être judicieusement choisi pour obtenir le meilleur rapport entre vitesse élevée des gaz (leur donnant une grande énergie inertielle) et limitation des pertes par friction (facteur de perte de puissance). Le choix du diamètre du conduit conditionne également le régime de couple maxi, en fonction de l'utilisation moteur désirée, le régime de couple maxi augmentant de pair avec le diamètre du conduit, jusqu'à un certain point (vitesse devenant insuffisante).

• **Les ondes de pression :**

À l'ouverture de la soupape d'échappement, la pression régnant dans le cylindre provoque l'ébranlement de toute la colonne gazeuse contenue dans le conduit d'échappement. Une onde de pression est ainsi engendrée, et progresse tout au long du conduit pour aboutir à son extrémité ouverte (air libre). À ce moment, elle se détend brutalement et se réfléchit en onde de dépression qui remonte la tubulure d'échappement jusqu'à la soupape. Si à ce moment précis, la soupape d'échappement est encore ouverte, cette onde favorise la vidange du cylindre. En effet, on utilise la dépression apportée par l'onde réfléchie pour évacuer le restant des gaz brûlés dont l'énergie cinétique a fortement diminué au moment où le piston a atteint le point mort haut. En phase de croisement des soupapes, cette dépression s'ajoute à celle créée par la descente du piston, favorisant ainsi la pénétration du mélange à l'admission.

Totalement indépendante de la vitesse des gaz d'échappement, cette onde, comparable à une onde acoustique, se déplace en fonction de la température des gaz à une vitesse pouvant aller de 620 à 700 m/s si la température atteint 900° !

• **L'influence de la longueur du conduit sur l'échappement :**

Afin d'exploiter au maximum ce phénomène d'onde de pression, il faut faire en sorte que l'onde réfléchie atteigne la chambre de combustion au moment du chevauchement des soupapes et lorsque le piston est proche du point mort haut.

Par conséquent, si on connaît la vitesse de propagation de l'onde, le temps mis par cette dernière pour faire un aller-retour dans le conduit d'échappement doit être égal au temps mis par le vilebrequin pour tourner de la position d'ouverture de la soupape d'échappement (moment de la création de l'onde) à la position où le piston est à l'endroit voulu (généralement proche du point mort haut). Ceci amène deux constats :

- La vitesse de l'onde étant stable, on peut jouer sur la longueur du conduit pour modifier la durée de l'aller-retour (plus le tuyau est long, plus cette durée est importante).
- Lorsqu'on parle de rotation du vilebrequin par rapport à une durée, on parle tout simplement de régime moteur.

Par conséquent, pour une longueur d'échappement donnée, le phénomène d'onde de pression ne sera exploitable qu'à un régime donné (du moins dans une plage très faible). D'où la nécessité d'accorder l'échappement sur la plage de régime que l'on souhaite exploiter.

Pour les amateurs de formules, une petite dernière facultative :

$$L = \frac{\phi^v \times C}{12 N} \text{ où}$$

L = la longueur du conduit en mètres
φ^v = la valeur de rotation du vilebrequin en degrés
C = la vitesse de propagation de l'onde en m/s
N = le régime moteur en tr/mn.

En résumé, la longueur de l'échappement est un facteur déterminant la plage de régime où l'on souhaite obtenir le meilleur rendement. Un conduit long va optimiser les bas régimes alors qu'un conduit court va favoriser les hauts régimes. Le problème est que la plage d'influence est réduite (plage de 2000 tr/mn au maximum), donc si on favorise une option, c'est au détriment de l'autre.

(À SUIVRE)



D'autre part nous avons vu précédemment qu'une tubulure d'échappement de faible diamètre présente d'excellentes caractéristiques de couple à bas régime mais pénalise la puissance dans les tours, alors qu'une tubulure de plus fort diamètre est performante dans les tours mais rend le moteur très "creux" à bas régime. L'expérience a montré qu'un système anti-retour permet l'utilisation de tubulures légèrement surdimensionnées sans pour autant limiter les performances à bas régime. On peut donc ainsi concevoir des systèmes d'échappement permettant d'obtenir de grandes puissances dans les tours sans pour autant sacrifier le couple de tracteur qui fait le charme du V-twin. Pour finir, un dispositif anti-retour efficace permet également d'utiliser plus facilement des arbres à cames à fort croisement, parfois bien utiles dans le cadre de certaines applications.

LE PROBLEME DU BRUIT :

Ce problème est devenu la priorité n°1 des constructeurs toutes marques confondues dont les machines doivent impérativement satisfaire aux normes anti-bruit en vigueur, mais également celle des accessoiristes qui prennent conscience de la nécessité de proposer des produits performants dont le bruit reste "raisonnable".

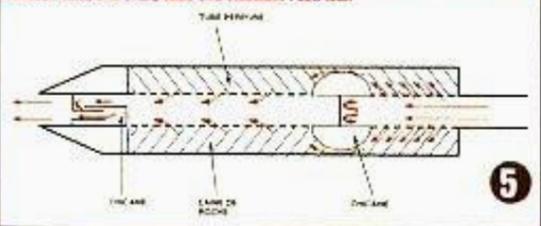
Car il est nécessaire de comprendre enfin que le **bruit n'est plus synonyme de performance**, et que le comportement des irréductibles de l'échappement libre spécialistes du burn-out en pleine ville à 3 heures du matin sur des machines aussi bruyantes qu'asthmatiques nous dirige purement et simplement vers l'interdiction totale de rouler sur des H-D modifiées.

Les efforts importants déployés ces dernières années pour mettre au point des systèmes peu bruyants tout en restant très performants ont porté leurs fruits. Le fameux flat-twin 1100 cm3 de BMW dont une version délivre 100 cv tout en respectant largement les normes antibruit, ou les nouveaux échappements Supertrapp "TUV approved" en sont la preuve.

Les silencieux :

Le son d'un échappement dépend directement des caractéristiques du flux des gaz à sa sortie. L'intensité sonore (volume) est liée à la vitesse d'éjection des gaz ; plus cette vitesse est élevée, plus l'intensité est élevée. La hauteur sonore (grave/aigu) est liée quant à elle au diamètre du flux en sortie (plus la section sera faible, plus le son sera aigu).

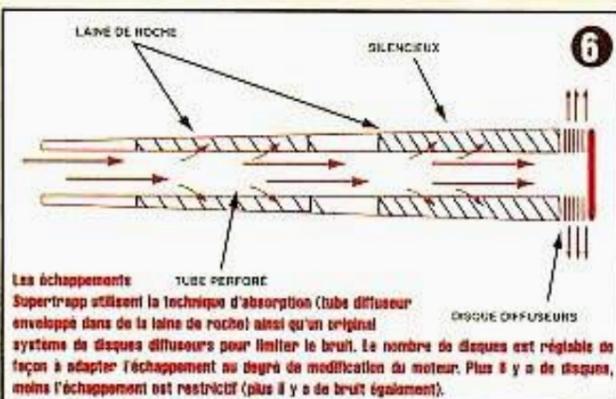
Dans cette coupe de silencieux Kerker, on constate que la première chicane (olive) force les gaz diffusés par le tube perforé à transiter dans la laine de roche (technique d'absorption). La deuxième chicane dérive le flux grâce à des tubulures de faible diamètre (technique de restriction). Ce type de silencieux s'avère certes efficace contre le bruit, mais extrêmement restrictif.



Lors de la conception d'un silencieux on dispose de plusieurs techniques de réduction du son : la restriction, l'absorption et la réflexion. Généralement une combinaison de l'ensemble de ces techniques est employée.

- La restriction consiste comme son nom l'indique à "casser" le flux gazeux au moyen de chicanes. Celles-ci peuvent être de conceptions diverses mais

le principe est toujours le même. Le flux gazeux est dévié plusieurs fois et dispersé par des portions de tubes de faible diamètre ou par des plaques métalliques ondulées et perforées de petits trous. Ce principe est très efficace pour l'abaissement du volume sonore, mais certaines chicanes élaborées de façon simpliste limitent énormément les performances par



la contre-pression importante qu'elles engendrent. C'est le cas des chicanes des silencieux Kerker par exemple (voir schéma n°5). En contrepartie, les marques Supertrapp et Khrome Werk utilisent des concepts de chicanes originaux qui réduisent efficacement le volume sonore sans sacrifier les performances.

- L'absorption consiste à faire transiter le flux gazeux dans un matériau de type laine de verre dans lequel il se diffuse largement ainsi que l'onde sonore (voir schéma n°6). Ce principe présente le gros avantage de réduire au minimum les pertes de charge en limitant la contre-pression. On utilise en général un tube perforé enveloppé dans de la laine de roche. Le tube perforé lamine le flux qui est ensuite absorbé dans la laine. L'efficacité de ce principe est liée au taux de dilution des gaz donc au volume du matériau absorbant et par conséquent à la taille du silencieux. On touche là le problème bien connu, où esthétique et performance ne vont pas toujours de pair. On constate en effet que des silencieux de grande taille permettent d'obtenir d'excellentes performances tout en maintenant un niveau sonore relativement bas. À l'inverse, un silencieux de petite dimension s'avère beaucoup plus restrictif si on veut maintenir un niveau sonore raisonnable, la dilution étant insuffisante. Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années au niveau des matériaux absorbants. Pendant longtemps on a utilisé des laines constituées d'un mélange de fibres de verre et de céramique. On voit se développer maintenant des matériaux entièrement nouveaux, non seulement plus performants mais également plus résistants. C'est notamment le cas de ceux utilisés dans les nouveaux échappements Supertrapp.

- La réflexion repose sur l'étude des ondes acoustiques, et consiste à réfléchir l'onde sonore vers l'intérieur du silencieux. Ce principe est mis en œuvre par la forme de la chicane à l'intérieur du silencieux. Le système HP-Plus de Khrome Werks.

LES DIFFÉRENTS CONCEPTS D'ÉCHAPPEMENT :

On peut distinguer trois catégories : les échappements deux en deux, les deux en un, et les dragpipes (les deux premières catégories sont abordées dans ce numéro ; la troisième le sera dans le numéro suivant).

Le concept deux-en-deux :

C'est le principe le plus répandu ; les tubulures de chaque cylindre sont totalement indépendantes l'une de l'autre et possèdent chacune leur propre silencieux. Ce concept est relativement simple à réaliser tout en donnant de bonnes performances.

L'inconvénient est que sur le plan de l'encombrement et de l'esthétique il ne tolère que des silencieux de taille modérée. Par conséquent un échappement performant de ce type est nécessairement bruyant.

C'est pourtant le principe retenu sur les Harley-Davidson d'origine mais avec une petite variante y adjoignant une barre de tranquillisation. Les échappements primaires sont reliés entre eux par une tubulure de plus petit diamètre permettant de ce fait une plus grande dilution, puisqu'une partie des gaz brûlés d'un cylindre pourra emprunter l'échappement du second. Cette solution d'abord surprenante, s'avère très efficace lorsque le système d'échappement possède des silencieux très bridés, ce qui est le cas des modèles d'origine. La plus grande dilution permet en effet de limiter la contre-pression et d'abaisser encore le niveau sonore malgré des silencieux de petites dimensions.

Sur le plan des performances les systèmes d'échappements deux en deux se révèlent surtout dans les tours en développant de bonnes puissances.

Le concept deux-en-un :

Ce principe consiste à réunir les deux échappements primaires par l'intermédiaire d'un collecteur relié à un silencieux unique. Cette solution possède plusieurs avantages. Comme nous l'avons vu, lors de l'ouverture de la soupape d'échappement, les gaz brûlés ayant une énergie élevée liées à leur haute température, transitent rapidement dans la tubulure en créant derrière eux une zone de dépression qui remplit rapidement le conduit. Dans le cas du deux-en-un, lorsque cette zone de dépression atteint le collecteur, elle se transmet à la tubulure de l'autre cylindre dont elle favorise naturellement l'évacuation des gaz brûlés. En fait on utilise l'importante énergie des gaz d'un cylindre pour favoriser la vidange de l'autre !

Cependant, pour que cela marche, la réalisation d'un tel échappement est délicate, en particulier pour déterminer la longueur exacte de chaque tubulure primaire. En effet, comme nous l'avons déjà vu dans un chapitre précédent, les écarts entre les temps moteur sont inégaux sur le V-Twin Harley. La soupape d'échappement avant s'ouvre après une rotation de vilebrequin de 405° après l'ouverture de la soupape d'échappement arrière, alors que la soupape arrière ne s'ouvre que 315° de rotation après la soupape avant. Ouf ! Il devient alors indispensable de compenser cet écart de timing en utilisant des échappements primaires de longueurs différentes, ce qui n'est pas simple. La réalisation du collecteur devra également retenir toute l'attention du préparateur pour ne pas créer notamment de perte de charge en provoquant un étranglement du flux d'air comme c'est parfois le cas. Le volume du collecteur va également déterminer la courbe de couple du moteur. Un volume important favorise le couple dans les basses plages.

L'autre avantage du deux-en-un est, outre le fait de n'utiliser qu'un seul silencieux d'où un gain de poids, de s'accommoder sans problème de silencieux de grandes dimensions sans pour autant enfreindre gravement les lois de l'esthétique. Ceci permet par conséquent de mettre au point des systèmes d'échappement particulièrement performants tout en restant dans des normes sonores raisonnables. Un bon échappement deux-en-un se caractérise par d'excellentes performances sur l'ensemble de la plage utilisable en développant de fortes puissances tout en conservant un couple important à bas régime. Pour information, le vainqueur de la dernière compétition de puissance organisée par Zodiac était équipé d'un échappement de ce type. **À SUIVRE...**

Le système d'échappement

Le mois dernier, nous avons étudié les deux phénomènes principaux qui se produisent dans la tubulure d'échappement et la nécessité de les exploiter au maximum pour favoriser l'extraction des gaz brûlés. Nous allons nous pencher maintenant sur les différents problèmes qui se posent lors de la conception d'un système d'échappement.

LE PROBLEME DU RETOUR DES GAZ :

La conception de tout système d'échappement digne de ce nom doit tenir compte de ce problème incontournable qui se produit aux deux extrémités de l'échappement :

- En amont, on constate qu'en sortie de culasse la vitesse des gaz n'est pas la même à tous les endroits de la tubulure. En effet, le conduit d'échappement de la culasse n'étant pas rectiligne mais présentant une courbe bien marquée, les gaz circulant dans la portion à faible rayon de courbure (partie inférieure du conduit) ont une vitesse bien plus faible que ceux circulant dans la partie à fort rayon de courbure (partie supérieure du conduit) (*voir schéma n°1*).



Par conséquent, en sortie de culasse lors de l'arrivée dans la tubulure d'échappement la portion des gaz dont la vitesse est la plus faible a tendance à retourner naturellement dans la chambre de combustion, voire même à remonter le conduit d'admission jusqu'au carburateur lors de la période de croisement des soupapes.

Ce retour de gaz de combustion est pénalisant à double titre car il gêne l'admission des gaz frais par la contre-pression qu'il exerce, mais surtout provoque une dilution du mélange air/ essence avec les gaz brûlés remontant dans le conduit, ce qui limite d'autant le remplissage, donc le rendement. Ce phénomène de réversion est particulièrement marqué à bas régime lorsque le piston est proche du point mort haut alors que les deux soupapes sont ouvertes. Les échappements de large diamètre, facteurs de faible vitesse des gaz à bas régime, favorisent d'autant plus la réversion.

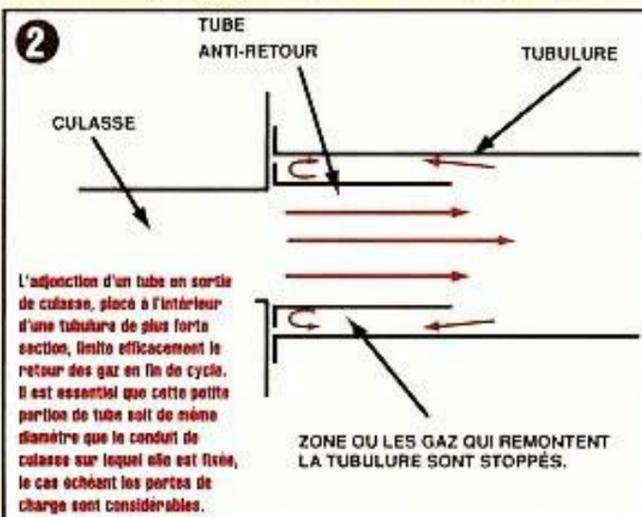
- En aval, on constate un phénomène similaire. En effet, au fur et à mesure de leur transit dans la tubulure d'échappement, les gaz brûlés voient leur vitesse diminuer progressivement. À bas régime, surtout si on utilise des conduits de fort diamètre, la vitesse d'une portion des gaz peut devenir nulle avant que ceux-ci aient atteint l'extrémité de l'échappement. Cela provoque la stagnation, ou pire la remontée d'une partie des gaz brûlés dans la tubulure d'échappement, gênant de ce fait consi-

dérablement l'évacuation des gaz de combustion issus du cycle suivant.

LES SYSTÈMES ANTI-RETOUR :

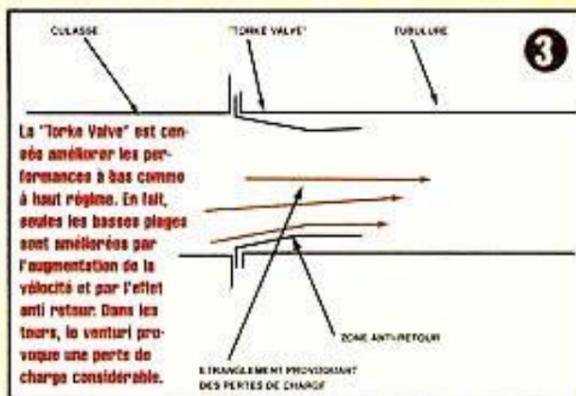
Lors de la conception d'un système d'échappement et indépendamment des cotes choisies pour son utilisation sur un moteur donné, le préparateur devra utiliser des systèmes limitant au maximum le phénomène de réversion :

La première solution consiste à placer un cône anti-retour dans la tubulure d'échappement juste en sortie de culasse. Il s'agit en fait d'un tube d'une longueur de 3 à 7 cm qui prolonge directement le conduit de la culasse dont il a le même diamètre, et qui est placé dans la tubulure d'échappement dont le diamètre est nécessairement plus important (*voir schéma n°2*). Ainsi montée, cette portion de tube agit comme une valve à sens unique en limitant efficacement le retour des gaz dans la chambre de combustion. Mais comme d'habitude, ce système ne fonctionne que s'il est correctement réalisé, c'est à dire si le tube anti-retour n'a pas un diamètre inférieur à celui du conduit de la culasse et s'il est placé dans une tubulure dont le diamètre est au moins supérieur de 6mm. En effet, certains fabricants proposent des tubes anti-retour à placer directement dans l'échappement d'origine, comme les fameuses Torke Valves dont ils vantent les mérites en expliquant, sans peur du ridicule, qu'à



bas régime la forme conique (réduction de diamètre du tube) augmente la vitesse des gaz et donc favorise le couple tout en augmentant également (ils sont vraiment très forts...) la vitesse à plein régime grâce à l'effet venturi. Cette théorie farfelue, ou plutôt purement commerciale, se voit réduite à néant lorsque l'on monte ladite Torke Valve en soufflerie où l'on constate bien entendu une perte significative du débit à haut régime (*voir schéma n°3*).

La deuxième solution repose sur le même principe, mais consiste à déporter le système plus loin dans



la tubulure, généralement dans le silencieux où on a le plus de place, c'est ce que l'on appelle les chambres anti-retour. Le cône anti-retour posant parfois des problèmes d'adaptation de l'échappement sur la culasse en raison notamment de l'accroissement du diamètre de la tubulure, l'intérêt de la chambre anti-retour est qu'on peut la placer n'importe où. Sa conception repose sur une portion de tubulure assez réduite dont le diamètre est sensiblement augmenté, dans laquelle on place le dispositif anti-retour. Généralement il s'agit d'un tube qui pénètre dans la chambre et dont le rôle est strictement identique à celui du cône anti-retour placé en sortie de culasse, mais on observe également des dispositifs plus élaborés particulièrement efficaces comme les systèmes des Thunderheader de Rich Products, des Supertrapp, des BUB ou des Chrome Werk pour ne citer que ceux-là (*voir schéma n°4*).

Les systèmes anti-retour parfaitement conçus possèdent des avantages considérables. En effet, ils ne réduisent pas les flux gazeux dans le système d'échappement et, par conséquent, ne sont pas un facteur limitatif des performances. Bien au contraire, en limitant considérablement le retour des gaz dans la chambre de combustion lorsque leur vitesse devient trop faible, ils évitent ainsi la dilution des gaz frais avec les résidus de combustion, ce qui favorise grandement le remplissage des chambres de combustion et le rendement du moteur.

(Suite page 102)

Le système d'échappement

Maintenant que vous savez tout du pourquoi et du comment des pots d'échappements, maître Jacques vous en dit davantage sur quelques systèmes particuliers proposés par différents fabricants. Bouchez-vous les oreilles, ça va faire du bruit !

LES DRAG-PIPES

Ces échappements, bien qu'étant du type deux en deux, constituent un cas à part. Très prisés dans le milieu Harley-Davidson en raison de leur look drag et de leur sonorité particulière, il ne sont cependant adaptés ni à une utilisation routière ni aux moteurs qui en sont généralement équipés.

Il est vrai que la compétition a prouvé que les drag-pipes permettent d'obtenir les puissances les plus élevées avec un V-Twin H-D. En effet, l'utilisation de tubulures rectilignes permet d'exploiter au maximum la grande énergie des gaz brûlés ainsi que le phénomène des ondes de pression, tout en réduisant au minimum les pertes de charge. Malheureusement, cela ne se produit que dans une plage très réduite de régime qui de plus est située très haut dans les tours, généralement au-delà de 5000 tr/mn. En dehors de cette plage, où le moteur peut s'exprimer pleinement, l'efficacité des drag-pipes chute très brutalement pour donner rapidement un rendement catastrophique, en particulier à bas régime. Ce phénomène est si marqué que monsieur Carl Morrow, qui possède toute de même quelques sérieuses notions sur le sujet, compare les drag-pipes à une lampe : allumée ou éteinte, il n'y a pas d'intermédiaire. De plus ce type d'échappement ne fonctionne que s'il est totalement libre, c'est à dire sans chicane, ce qui n'est pas pensable dans le cadre d'une utilisation routière.

Malgré leur apparente simplicité, la réalisation de drag-pipes nécessite beaucoup d'expérience, car pour être performants ils doivent être faits "sur mesure" en fonction des caractéristiques du moteur, ce qui n'est pas le cas des systèmes proposés sur le marché. En effet, la cylindrée du moteur, les caractéristiques du diagramme de distribution (arbre à cames), les caractéristiques des culasses (perméabilité, diamètre des soupapes, cotes des conduits...), la plage d'utilisation souhaitée, le poids de la machine... sont autant d'éléments qui déterminent la longueur et le diamètre optimum des pipes. De plus, l'adoption de drag-pipes rend le moteur particulièrement sensible aux réglages. La mise au point de la carburation, dans les bas régimes notamment, est souvent difficile, d'autant plus que cet échappement réagit différemment en fonction du type et de la taille du carburateur utilisé. Dans tous les cas, les carburateurs à boisseau s'accordent beaucoup mieux avec les pipes, rendant les réglages plus accessibles. Ceci est d'autant plus vrai que la cylindrée du moteur est élevée. La longueur optimale des drag-pipes varie entre 70 cm et 1,30 m selon les applications. Les tubulures courtes seront les plus efficaces à haut régime alors que les longues donneront de meilleures performances aux régimes inférieurs. Dans tous les cas, il est fondamental que les deux pipes soient strictement de la même dimension.

Le choix du diamètre dépend principalement de

la cylindrée du moteur. Des tubulures de 1 3/4 sont le plus souvent utilisées pour des cylindrées jusqu'à 1600 cm³, les drag-pipes de 1 7/8 et 2" ne sont employés que pour des cylindrées supérieures (inutile de les monter sur votre 883 Sportster). Au-delà de 2 litres, les moteurs de drag prenant plus de 7000 tr/mn utilisent quant à eux des pipes de 2 1/4.

Concernant les moteurs de dragster, les préparateurs ont recours à d'autres artifices pour améliorer encore le rendement de leurs pipes :

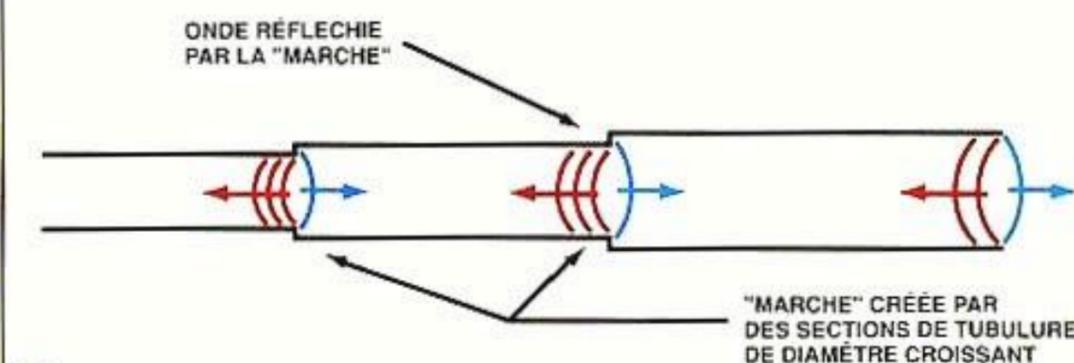
a) Le premier consiste à renforcer au maximum l'effet des ondes de pression en réalisant des

mesure environ 25 % de la longueur totale du pipe. Les deux dernières sections (médiane et terminale) mesurent respectivement 32 % et 43 % de la longueur totale. On obtient ainsi un bon timing dans la succession des ondes réfléchies lorsqu'elles atteignent la chambre de combustion.

L'échappement à plusieurs sections présente d'autres avantages :

- Il exerce moins de contre-pression qu'une simple tubulure en raison de l'accroissement successif du diamètre, d'où une puissance délivrée supérieure.

Un échappement constitué de portions de tubulures de diamètres grandissants utilise au maximum le phénomène des ondes de pression, notamment en augmentant la durée de ce dernier. Au lieu d'avoir une seule onde de dépression réfléchie en sortie d'échappement, les marches génèrent elles aussi des ondes qui favorisent l'extraction des derniers résidus de combustion.



7

échappements constitués de plusieurs sections de tubulures dont les diamètres vont en s'accroissant, créant ainsi des "marches" dans le conduit (SCHEMA N°7).

Comme nous l'avons déjà vu, l'ouverture de la soupape d'échappement génère une onde de pression qui transite dans le conduit d'échappement à vitesse supersonique. Lorsque cette onde arrive à l'extérieur, elle est réfléchie en onde de dépression qui remonte tout le conduit jusqu'à la chambre de combustion, favorisant ainsi l'évacuation des derniers résidus. Il est possible d'accroître ce phénomène avec les échappements à différentes sections. En effet, lorsque l'onde de pression initiale transite dans l'échappement, chaque changement de section rencontré va provoquer une réflexion partielle de l'onde en onde de dépression. Les ondes de dépression créées par l'ensemble des "marches" vont remonter le conduit jusqu'à la chambre de combustion, suivies immédiatement par l'onde générée par la sortie de l'échappement. Le fait de créer ainsi plusieurs ondes de dépression qui se succèdent augmente la durée du phénomène, favorisant ainsi grandement l'évacuation des gaz brûlés malgré l'utilisation d'arbres à cames à fort chevauchement, qui est souvent nécessaire en drag.

On utilise généralement trois sections de tubulures dont le diamètre s'accroît de 3 mm à chaque fois. La première qui se fixe sur la culasse est bien sûr celle de plus faible diamètre et

- La plage de couple maximum délivrée est plus large qu'avec une simple tubulure. Le gain réalisé est de l'ordre de 400 tr/mn, ce qui est très intéressant compte tenu de la faible plage d'utilisation d'un drag-pipe classique.

Ce principe d'échappement à plusieurs sections est essentiellement utilisé sur des drag-pipes destinés à la compétition. Il est cependant repris sur des systèmes deux en deux à silencieux destinés à une utilisation routière, comme certains modèles BUB notamment.

b) L'autre artifice du préparateur de drag, dans son incessante recherche de la performance, est de conserver au maximum la température initiale des gaz jusqu'à leur sortie dans l'atmosphère. En effet, la grande énergie des gaz de la combustion est essentiellement due à leur haute température, de l'ordre de 850°. Plus cette température reste élevée, plus la vitesse des gaz sera importante et plus la vitesse des ondes de pression sera élevée. De plus, un échappement dans lequel règne une température importante génère moins de contre-pression. Or le problème est que dans une tubulure classique en inox la chute de température des gaz en sortie de culasse est très brutale : sensiblement 300° au cours du premier mètre parcouru. La vitesse diminue donc également en raison de cette baisse de température. Pour limiter ce problème, les préparateurs réalisent des drag-pipes isolés thermiquement. Cette opération consiste le plus souvent à envelopper le pipe avec un

(Suite page 104)

matériau à base de céramique et de fibre de verre au pouvoir fortement isolant, ce qui ne pose aucun problème compte tenu du fait que l'esthétique n'est pas un facteur prépondérant en compétition. L'intérêt de cette opération qui permet d'accroître fortement la vitesse des gaz est que, par le meilleur rendement ainsi obtenu, on peut utiliser des arbres à cames à chevauchement plus faible qui amélioreront le couple à mi-régime sans pour autant altérer la puissance dans les tours, ce qui n'est pas faisable avec un même échappement non isolé.

Ainsi, un échappement de type drag-pipe à plusieurs sections, équipé de tubes anti-retour et isolé thermiquement est le système utilisé actuellement par les meilleurs drags du monde, car c'est celui qui développe la plus grande puissance.

LES CRITÈRES DE CHOIX

Le choix d'un échappement n'est pas toujours simple en raison de la quantité de modèles, de qualité très inégale, disponibles sur le marché.

On peut cependant déterminer un certain nombre de critères que l'on classera en fonction de ses propres priorités :

La qualité de fabrication :

Le système d'échappement est l'une des pièces qui subit le plus de contraintes et son vieillissement sera très rapide si les matériaux employés ainsi que la réalisation (soudures, chicanes...) ne sont pas de bonne qualité. Bien que plus cher, un échappement en inox est nettement plus dur et possède une sonorité superbe. Pour les fortunés, un échappement sur mesure réalisé en inconel reste le top en la matière. L'épaisseur de la tubulure est toujours un critère important de bon vieillissement.

La qualité du chromage :

Elle varie énormément en fonction des marques. Certaines maisons proposent des échappements possédant trois couches de chromage qui tiennent bien mieux dans le temps. Dans tous les cas, même si votre carburation est parfaitement réglée, le bleuissement du chrome en sortie de culasse est inévitable avec des tubulures simples, même traitées avec une couche interne de céramique. Pour résoudre ce problème, les customs japonais utilisent des pots doublés dont l'isolation thermique ainsi obtenue permet le maintien d'un chrome irréprochable. Les échappements doublés pour H-D sont encore rares, le fabricant MAC'S en est un spécialiste. Un échappement en inox poli restera toujours nickel mais il prendra à la longue une légère couleur champagne.

Le principe de fixation :

Il doit également retenir toute votre attention. Une fixation mal conçue peut rapidement occasionner des ruptures aux endroits critiques, en particulier sur les moteurs performants montés rigides.

Le look :

C'est un critère totalement subjectif, c'est lui qui imposera le style de votre échappement (2 en 2, 2 en 1, drag-pipes aux formes les plus diverses). Sachez cependant qu'un échappement superbe peut présenter des caractéristiques totalement opposées à la performance.

La sonorité :

À ne pas confondre avec le bruit qui lui s'exprime en décibels, la sonorité est un des critères essentiels aux yeux de tous. Les échappements à fort taux de dilution (silencieux de gros volume, tubulures de gros diamètre, barre de tranquillisation) possèdent un son grave et profond. Les échappements à faible taux (drag-pipes,

silencieux de faible diamètre) possèdent un son plus aigu et qui claquera plus.

Pour ceux qui souhaitent vraiment entendre le son de chaque coup de piston (le fameux "à toi, à moi, à toi, à moi..."), le 2 en 2 s'impose.

La performance :

Lorsque l'on investit dans un échappement, souvent onéreux, on a toujours le secret espoir de gagner beaucoup de chevaux. Sachez que si vous montez un échappement réellement performant sur un moteur d'origine, vous pourrez prétendre à un gain de 5 cv tout au plus (beaucoup d'échappements vous apporteront un incontestable gain en bruit sans augmentation significative de la puissance). L'efficacité d'un bon échappement se fera d'autant plus sentir que le degré de modification du moteur sera élevé. En effet, un 2 en 1 Supertrapp apporte un gain de l'ordre de 5 cv sur un moteur d'origine, alors qu'il développe 110 cv sur un 104 cid Sputhe.

Dans tous les cas vous devrez choisir votre échappement en fonction de votre type de conduite, c'est à dire la plage de régime que vous utilisez le plus souvent. De plus, à puissances maximum égales, certains échappements provoquent une bien meilleure réponse aux gaz que d'autres. Cette qualité est à mon sens essentielle.

Dans le cadre d'une utilisation de tous les jours, même avec des moteurs profondément modifiés, la plage exploitée se situera en dessous de 6500 tr/mn, ce qui est déjà trop élevé pour un moteur Harley-Davidson que l'on souhaite fiable. Sur l'ensemble de cette plage un bon système 2 en 1 sera le plus performant en délivrant la courbe la plus plate et la plus large avec la meilleure valeur maximum, tout en assurant une excellente puissance max. Le moteur sera "plein" à tous les régimes avec une excellente réponse aux gaz à bas régime.

Dans le même cadre d'utilisation, un bon système 2 en 2 va privilégier la partie supérieure de la plage, la valeur de couple maxi étant située plus haut dans les tours. Le moteur sera plus creux dans les très basses plages. L'échappement primaire d'origine avec sa barre de tranquillisation ne présente pas cet inconvénient. Si on l'équipe de silencieux efficaces (au hasard : Supertrapp), il s'avère redoutablement performant pour tous les styles de conduite.

Pour finir, les drag-pipes ne sont, en définitive, pas adaptés à une utilisation routière même virile. Ils possèdent cependant l'avantage de se réveiller brutalement vers 5000 tr/mn, donnant au moteur un caractère brutal. En dessous, c'est le système le moins performant, en particulier sur des moteurs de faible cylindrée (moins de 1600 cm³).

Pour les inconditionnels des 7500 tr/mn et plus, ce sont des drag-pipes qu'il vous faut.

QUELQUES SYSTÈMES COMMERCIALISÉS

Il n'est pas possible de faire le tour de l'ensemble de la production en matière d'échappements pour Harley-Davidson, tant le domaine est vaste. On peut cependant faire le point sur certaines valeurs sûres.

• Supertrapp :

Depuis des années Supertrapp produit des échappements pour tous types de motos, et leur efficacité n'est plus à démontrer. C'est particulièrement vrai pour la production spécifique aux modèles Harley-Davidson. Systèmes complets, silencieux, collecteurs et accessoires, vous trouverez la gamme complète uniquement dans les catalogues Zodiac et W&W, les autres n'en présentant qu'une partie. L'ensemble de la gamme Supertrapp se caractérise par des pièces exclusivement en inox et bénéficiant d'une excellente qualité de fabrication. Le principe Supertrapp

repose sur un système de disques empilés qui détermine la section de sortie des gaz. Peu bruyant et très performant à tous les régimes et sur tous types de moteurs, du 883 aux grosses cylindrées, ce principe possède l'énorme avantage d'être facilement réglable en fonction des besoins.

Les systèmes 2 en 1 sont particulièrement performants et sont recommandés par de nombreux préparateurs, notamment S&S pour leurs kits stroker et big bore. Depuis cette année, Zodiac commercialise un nouveau système 2 en 1 pour toute la gamme Harley-Davidson (y compris l'Electra) respectant les normes antibruit européennes tout en offrant un confortable gain de performances. Ces derniers systèmes ne sont, par contre, pas réglables (quatre disques fixes).

Rich Products :

Le Thunderheader est un système 2 en 1 développé par Rich Products, et mis au point après plus de 1500 tests au banc. La gamme couvre l'ensemble des modèles Harley-Davidson y compris l'Electra.

Équipé de dispositifs anti-retour originaux, le Thunderheader s'avère extrêmement performant sur les moteurs de grosse cylindrée (120 cv mesurés au Dynojet avec un 98 cid). Il est d'ailleurs fortement conseillé par S&S pour ses kits 93 et 96 cid. Le Thunderheader est cependant très bruyant (99 décibels à 6000 tr/mn sur un 1340 cm³).

L'inconvénient majeur du Thunderheader réside dans une mauvaise finition et un vieillissement prématuré des chromes.

Krome Werk :

Spécialiste des modèles 2 en 2 (y compris drag-pipes), la maison Krome Werks se distingue par une qualité de fabrication irréprochable. L'ensemble des modèles de la gamme sont équipés de tubes anti-retour en sortie de culasse et d'un système de chicanes en inox original, peu restrictif et efficace. Les échappements Chrome Werks donnent une excellente réponse aux gaz avec de bonnes performances d'ensemble. Ils sont particulièrement efficaces sur les 1340 cm³ en utilisation virile, et donnent un grand agrément de conduite en utilisation routière.

Pour les inconditionnels du drag-pipe, les modèles Krome Werks (1³/₄ et 2") sont les meilleurs en utilisation routière, sans être trop bruyants.

BUB :

La maison BUB propose toute une gamme de modèles différents, essentiellement de 2 en 2, dotés d'une excellente finition et délivrant de bonnes performances. Les modèles Bad Dog sont particulièrement populaires mais bruyants. À noter le modèle Stepmothers conçu exclusivement pour les moteurs de grosse cylindrée.

CARL'S SPEED SHOP :

Parmi les systèmes 2 en 2 les plus performants, le "Carl's true flow" se distingue par des performances impressionnantes tout en étant proche du look d'origine. Le volume sonore est réglable en fonction des besoins. Il est particulièrement indiqué pour un 1340 cm³.

Pour terminer ce chapitre sur les systèmes d'échappement, sachez que la plupart des modèles, même les plus libérés, restent en dessous de 90 décibels à moins de 3000 tr/mn. Souvenez-vous en lorsque vous roulez en ville si vous voulez que l'on puisse encore délirer sur nos machines. Sinon il sera bientôt trop tard !