

**Zeitschrift:** Technique agricole Suisse  
**Herausgeber:** Technique agricole Suisse  
**Band:** 45 (1983)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Amélioration du bilan énergétique d'un générateur de biogaz par un échangeur thermique  
**Autor:** Egger, K. / Kaufmann, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1084022>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

groupe de travail et discutées avec les futurs propriétaires de téléphériques.

Au cours du printemps dernier, le premier téléphérique a pu être installé aux risques financiers du paysan tessinois concerné. Il s'agissait tout particulièrement de déterminer jusqu'à quel point des prestations personnelles sont possibles et si les matériels militaires disponibles se prêtent à des opérations agricoles. Après l'achèvement des travaux, nous avons pu constater avec satisfaction que le gros effort et les sacrifices fournis par ces paysans montagnards avaient certainement valu la peine. On compte réaliser un deuxième projet pilote dans le cours de l'automne prochain. Tous les travaux préparatoires tels que le, défrichement des trouées forestières, l'établissement de fondations, etc. battent leur plein de sorte que les troupes du génie de l'armée mises gracieusement à disposition pourront se mettre à l'œuvre pour l'installation afin d'économiser aux paysans des frais de montage considérables. Nous ne voudrions pas manquer d'exprimer ici, au nom du groupe de travail, nos remerciements très sincères pour l'assistance déjà fournie ainsi que la bienveillance dont tout le monde a fait preuve.

Nous avons l'intention de faire bénéficier de ce genre d'assistance uniquement des pay-

sans et corporations alpestres qui seraient réellement hors d'état de financer par leurs propres moyens une mise en valeur urgente d'alpages. Nous saisissons l'occasion pour engager à nouveau nos lecteurs à nous signaler l'intérêt et la nécessité qu'ils pourraient avoir à obtenir un téléphérique de transport.

#### **Quelques données techniques:**

Charge utile: environ 300 kg

Distance de transport: 2000 m

Capacité de transport: env. 1,5 t/h

Nombre de wagonnets: deux

Toute demande doit comporter les indications suivantes:

- Objet et but du téléphérique requis
- Site indiqué sur une section de carte topographique à l'échelle de 1 : 25'000
- Adresse exacte et no. de téléphone du demandeur
- Date de construction souhaitée (en vue d'une propre planification des travaux).

Le demande doit être adressée au Service technique «téléphériques» de l'Association suisse pour l'équipement technique de l'agriculture – ASETA 5223 Riniken

*Date d'inscription finale: 31 août 1983*

Trad. H.O.

## **Amélioration du bilan énergétique d'un générateur de biogaz par un échangeur thermique**

*K. Egger et R. Kaufmann, FAT, Tänikon*

*Résumé de «Documentation de technique agricole» no 224*

**Pour améliorer la rentabilité d'installations de biogaz, de type mésophile, il s'agit surtout de restreindre l'énergie processuelle et de développer l'utilisation du gaz. Nous avons donc étudié l'efficacité et la capacité de fonctionnement d'un échangeur thermique, en construction propre, tirant parti de la chaleur du lisier sortant du digesteur. D'autres mesures propres à diminuer la**

**proportion d'énergie processuelle, telles que l'isolation possible de certaines parties de l'installation, ont aussi été discutées.**

**Nous avons en outre comparé les degrés d'efficacité ou rendements de différents types de chaudières et analysé l'importance de la place occupée par le biogaz dans**

## **l'approvisionnement énergétique de l'exploitation concernée.**

### **1. Introduction**

Plus de 120 installations génératrices de biogaz sont en service en Suisse actuellement. La rentabilité de beaucoup d'entre elles est insuffisante. Outre les coûts d'investissement, cette rentabilité dépend essentiellement de l'énergie processuelle nécessaire.

Par énergie processuelle, on entend le volume de chaleur indispensable pour combler les pertes de température par les parois du réservoir et chauffer le lisier frais. A cela s'ajoute l'énergie électrique nécessaire au pompage et au brassage. Comme la plupart des installations sont exploitées à environ 30° C et que les pertes de chaleur du lisier transporté sont souvent grandes entre l'étable et l'équipement générateur, l'énergie nécessaire au chauffage forme la plus grande part du besoin global en énergie processuelle. L'énergie utile en est diminuée proportionnellement.

Pour restreindre les pertes de chaleur, les mesures possibles sont principalement l'isolation de la préfosse, des conduites de lisier et du digesteur, ainsi qu'un emplacement plus propice donné à la préfosse. Pour la première fois dans la pratique, un échangeur thermique à lisier a été placé dans une exploitation de garde porcine (descriptif: voir appendice). Le lisier chaud quittant le digesteur, et le lisier à chauffer venant de la préfosse, sont dirigés sur un échangeur thermique à contre-courant. La chaleur ainsi récupérée entre pour une large part dans l'énergie de chauffage.

### **2. Détermination du rendement de l'échangeur thermique**

On appelle échangeurs thermiques des appareils capables de transmettre de la chaleur d'un médium (eau, air par exemple) à un autre. Les deux médiums sont, en règle générale, amenés chacun au contact

d'un côté d'une surface métallique. Pour que l'efficacité de l'échangeur soit bonne, cette surface doit être aussi grande que possible et présenter une bonne conductibilité de chaleur. Parallèlement, il est important que chacun des médiums soit bien mélangé. L'échangeur thermique le plus répandu dans l'agriculture est l'échangeur air-air, pour les étables, et l'échangeur à eau pour le refroidissement du lait.

En principe, on fait la distinction entre échangeurs thermiques équicourants et échangeurs thermiques à contre-courant. Dans l'échangeur équicourant, les deux médiums passent sur la surface de transfert en empruntant la même direction. En l'occurrence, la température du médium froid peut être portée au maximum à celle, mixte, des médiums chaud et froid. Par contre, par le truchement de l'échangeur thermique à contre-courant, la température  $t_\alpha$  du médium froid, théoriquement, peut être portée à celle initiale  $T_\alpha$  du médium chaud. Conséquemment, le rendement de l'échangeur thermique à contre-courant est meilleur que celui de l'échangeur équicourant.

Pour comparer entre eux différents échangeurs, on définit comme suit le **rendement thermique  $\epsilon$  occurrent**:

$$\epsilon = \frac{\text{volume de chaleur transférée au médium froid}}{\text{volume maximal de chaleur transmissible}}$$

Le rendement thermique  $\epsilon$  indique donc la proportion volumétrique de chaleur transmise, comparée au maximum possible. Dans la pratique, les échangeurs à contre-courant (pour le refroidissement du lait, par exemple) atteignent des rendements jusqu'à  $\epsilon = 0,75$  (5).

Les données mesurées pour l'échangeur thermique lisier-lisier figurent dans la tableau 1.

Le lisier froid peut être réchauffé d'environ 8° C en moyenne, ce qui nous fait déboucher sur une valeur  $\epsilon$  de 0.45

Certains jours, l'échangeur thermique fonctionnant parfaitement, nous avons mesuré des valeurs nettement supérieures à 0,5.

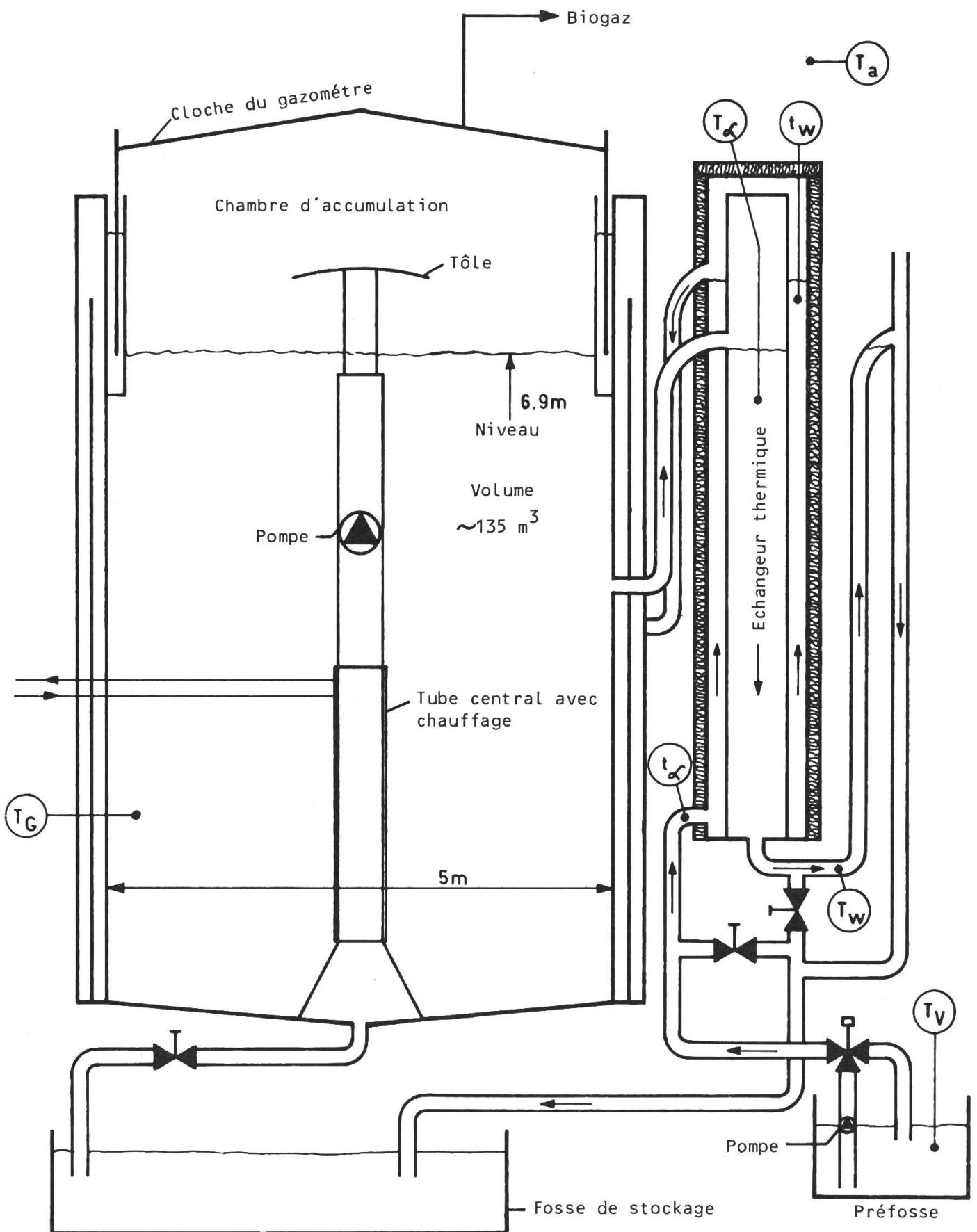


Fig. 1: Installation de production de biogaz avec échangeur thermique (points de mesure des températures, voir Tableau 1).

Tableau 1: Spécifications et résultats de l'échangeur thermique mesuré

(Toutes les données sont des moyennes des périodes de mesurage)

Températures en °C:					
Extérieure	0,6	2,4	3,0	6,6	8,8
$t_\alpha$ = lisier froid à l'entrée dans l'échangeur thermique	10,0	9,5	11,5	12,3	12,9
$T_\alpha$ = lisier chaud à l'entrée dans l'échangeur thermique	29,3	28,8	29,6	29,6	29,7
$t_w - t_\alpha$ = réchauffement du lisier froid	8,7	9,3	7,2	7,2	7,0
$\varepsilon$ = degré d'efficacité	0,45	0,48	0,40	0,42	0,42

( $t_w$  = lisier froid sortant de l'échangeur de chaleur)

On ne peut cependant guère escompter des rendements supérieurs à 50% durant des périodes d'exploitation prolongées.

Les augmentations de température possibles et le rendement thermique dépendent dans une proportion déterminante de la température d'entrée  $t_\alpha$  du lisier froid. Pour que le transfert de chaleur à l'intérieur de l'échangeur soit bon, une différence aussi grande que possible entre températures du lisier froid et chaud est indispensable. Comme pendant les belles saisons de l'année le lisier venant de la porcherie présente une température plus élevée que pendant l'hiver, des rendements thermiques nettement inférieurs sont à prévoir durant l'été.

### 3. Capacité de fonctionnement de l'échangeur thermique

Lors d'exploitation au lisier, de petites particules se déposent sans cesse sur la surfa-

ce de transfert de l'échangeur. Cette salissure de la surface métallique exerce un effet négatif sur le rendement thermique de l'appareil. L'échange de chaleur meilleur durant la seconde période de mesurage (voir Tableau 1) est dans doute imputable au nettoyage qui a précédé celle-ci. L'échangeur thermique devrait être nettoyé tous les deux mois au minimum (vidanger complètement et traiter au jet d'eau).

Les expériences faites durant la période d'observation montrent que l'exploitation d'un tel échangeur thermique, exempte de problèmes et pas excessivement coûteuse, pose certaines exigences à la qualité du lisier. Ce sont surtout les produits solides encombrants qui engendrent des perturbations. Même avec un lisier sans addition de paille, des échangeurs thermiques tels que celui décrit ici sont capables de bien fonctionner, même à teneur élevée en matière sèche.

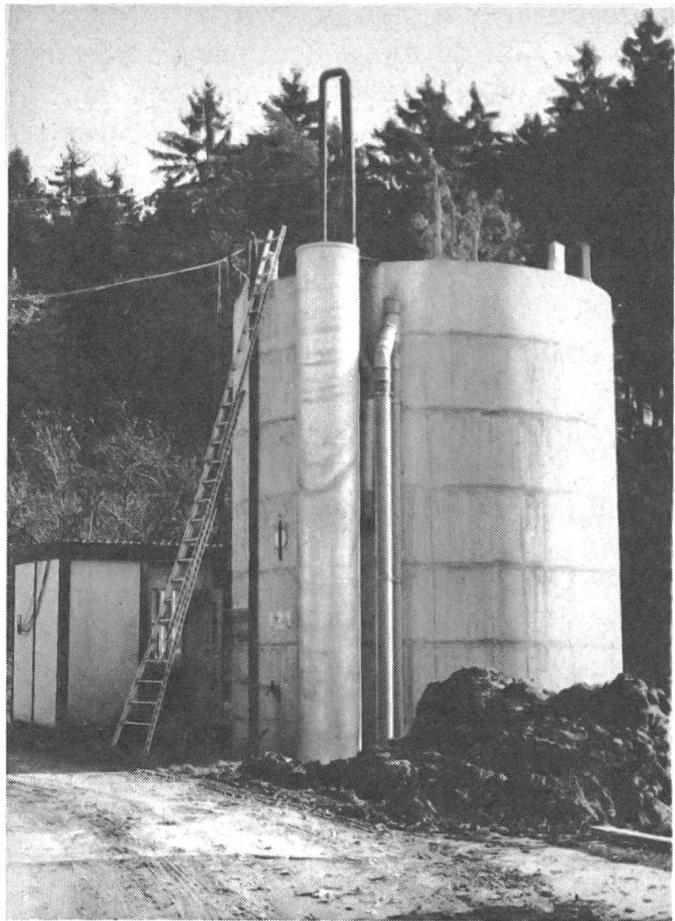


Fig. 2.: Installation de production de biogaz avec échangeur thermique et cabine de mesure.

#### 4. Coûts de l'échangeur thermique

L'échangeur thermique dont nous parlons ici a été réalisé par l'exploitant lui-même. Des échangeurs de ce type, qu'on trouve dans le commerce, reviennent à quelque Fr. 10'000.–, montage inclus. Pour ces appareils, faits de tôle d'acier galvanisée, on admet un délai d'amortissement de dix ans. Les coûts annuels, inclus intérêts et réparations, s'élèvent à Fr. 1500.– en chiffre rond. A cela s'ajoute le nettoyage, qui prend quelques heures de travail par mois. Comme le digesteur, du fait de l'échangeur thermique, est chargé toutes les deux heures, il faut également compter des frais de courant électrique supplémentaires d'environ Fr. 4.– par mois.

En d'autres termes, l'acquisition et l'exploitation d'un échangeur thermique de cet ordre de grandeur reviennent à Fr. 1500.– à Fr. 2000.– par année.

#### 5. Conclusions

Cette version abrégée est limitée à une description de l'échangeur thermique. Dans les conclusions qui vont suivre, on cite des résultats additionnels obtenus lors d'enquêtes parallèles.

Par la construction, en 1979, d'une installation de biogaz dans une exploitation d'élevage et d'engraissement porcin, les flux énergétiques nécessaires à l'entreprise ont été profondément modifiés. Environ 66 % de tous les besoins d'énergie sont maintenant couverts par du biogaz et du bois. Les mesures propres à économiser de l'énergie thermique sont particulièrement importantes lorsque'il s'agit d'exploitations dont le système énergétique est fondé sur des sources renouvelables.

Le montage après coup d'un **échangeur thermique à lisier** s'est traduit en principe par un bon rendement; la qualité de lisier est toutefois condition préalable au bon fonctionnement du système. On ne peut rien dire encore, pour le moment, en ce qui concerne la rentabilité, car le développement d'échangeurs thermiques dans ce domaine n'est pas terminé. La rentabilité dépend en outre de la présence ou non, en été, de biogaz excédentaire, étant donné que l'échangeur thermique ne peut être d'un réel profit qu'en hiver. Mais pour les installations de biogaz de certaines dimensions, en tous cas, l'échangeur thermique devrait être intéressant au plan de la rentabilité.

En isolant la préfosse, les conduites de lisier et la cloche du gazomètre du digesteur, des économies de l'ordre de 100 GJ/an sont possibles. (42 GJ équivalent à 1000 kg d'huile à brûler.) Pour l'exploitation où ont eu lieu nos tests, la question qui se pose est également de savoir s'il eût été préférable d'investir dans une isolation plutôt que dans un échangeur thermique dont le coût annuel atteint frs 1500.– à frs 2000.–.

Avec un investissement de frs 3000.–, l'assainissement du système de chauffage a permis d'économiser encore 123 GJ/an.

Des chaudières spéciales et correctement dimensionnées se prêtent mieux à la mise en valeur du biogaz, vu l'exploitation intermittente, que celles, volumineuses, équipées d'un brûleur à soufflante.

Grâce aux mesures exposées plus haut, la consommation d'énergie de l'exploitation concernée est maintenant réduite de telle

sorte qu'il n'y a plus de mazout (2900 l) ni de bois (32 stères) à acquérir en complément. Même avec des installations de biogaz relativement récentes, le système énergétique peut être amélioré par des mesures d'assainissement soigneusement étudiées et planifiées par le spécialiste.

Adaptation: H. O.

## Puissance et couple de rotation

### Quelle est au juste la corrélation entre ces deux notions?

Les automobilistes réunis autour de la table des habitués d'un café vantent volontiers la puissance, la vitesse, la largeur des pneus, etc. de leurs voitures. Mais suffit-il de claironner la performance d'un véhicule sans mentionner le régime de rotation de son moteur? Peut-être en s'entretenant autour d'une table du genre mentionné, mais certainement pas en présence d'un expert qui exigera des indications additionnelles permettant d'évaluer correctement les mérites du moteur en question. On devrait donc connaître à la fois la puissance et le régime de rotation et, si on est particulièrement exigeant, le couple de rotation maximal du moteur et le nombre de tours par minute y correspondant.

Pourquoi? Parce que la puissance d'un moteur est déterminée **en multipliant le couple de rotation par le régime de rotation**. On sait que tout moteur atteint sa pointe de puissance d'une façon ou d'une autre: soit, dans le cas d'un tracteur, au moyen d'un couple de rotation élevé et d'un régime de rotation restreint ou, tel que pour la Monoposto formule 1, au moyen d'un nombre de tours par minute très élevé et un couple de rotation inférieur. L'appréciation d'un équipement moteur ne dépend donc pas uniquement de la puissance, mais avant tout de l'allure du couple de rotation en dépendance de la puissance.

Les graphiques en usage dans l'industrie automobile – dénommés **courbes caracté-**

**ristiques de pleine charge** dans le jargon professionnel – sont déterminés au banc d'essai. On inscrit les valeurs des couples de rotation du moteur testé sous pleine charge en fonction des régimes de rotation correspondants. Il en résulte une courbe qui décrit dans le graphique l'allure du couple de rotation au-dessus du régime de rotation. Si cette courbe est **aplatie**, cela signifie que le moteur est très souple et a donc un pouvoir d'entraînement considérable qui réagit à peine à des modifications de charge. La courbe de puissance dans le graphique est alors **calculée** à l'aide de la courbe du couple de rotation.

Le couple de rotation dépend principalement de la **pression de combustion** et de la **cylindrée**. Si cette dernière est majorée, le couple de rotation augmente de toute façon et indépendamment d'un agrandissement de l'alésage ou du nombre des cylindres. Le couple de rotation multiplié par la vitesse de rotation fournit ce qu'on appelle la **puissance indiquée**. Par contre, le rendement utile qui peut être prélevé au vilebrequin tient compte des déductions de frottement interne, des pertes de circulation alternée du gaz, de l'entraînement d'appareils auxiliaires, etc.

Les moteurs à combustion interne ne peuvent débiter de la puissance utile qu'après avoir atteint une certaine **vitesse de rotation minimale**. Cela a rapport à la formation du mélange d'air et de carburant ou – dans le cas des moteurs Diesel – l'obtention de la température d'ignition dans la chambre de