

4.25 – Le dopage à l'eau des carburants

Le dopage à l'eau des moteurs thermiques est plus ancien que le dopage à l'hydrogène. En fait, il remonte à la fin du 19^e siècle et servait principalement à contrôler la combustion dans les moteurs à fort taux de compression, en éliminant les allumages intempestifs responsables des cognements. On injectait directement une petite quantité d'eau dans les cylindres, conjointement avec du carburant.

Le premier motoriste à avoir fait une étude détaillée des performances d'un moteur en fonction des paramètres de dopage de l'eau semble avoir été Pierre Clerget. Cet ingénieur français a construit, en 1901, un moteur expérimental à triple injection (possibilité de trois liquides différents). Gérard Hartmann a publié un livre étoffé, en 2004, pour mieux nous faire connaître cet homme de génie et ses travaux-1-. Cet auteur a également mis à la disposition de tous de l'information historique sur les moteurs au site Internet www.hydroretro.net. Vous y trouverez, entre autres, un article très intéressant sur « Le moteur à eau », daté du 9 octobre 2006, en format pdf. On y apprend que, **dès 1901, grâce à l'injection d'eau, Clerget pouvait doubler la puissance d'un moteur diesel, diminuer la fumée émise et adoucir le régime du moteur**. Mais les moteurs diesel n'étaient qu'une curiosité de laboratoire à cette époque et il faudra attendre la fin des années 1920 avant que leur perfectionnement en fasse des moteurs usuels.

Il faut savoir que, lorsqu'un moteur thermique tourne à haut régime et fonctionne à haute puissance, la température maximale dans les chambres de combustion peut atteindre 2200 °C. Or, une telle température induit souvent des explosions très violentes du carburant au mauvais moment dans le cycle du moteur, ce qui peut le détruire. C'est le phénomène de la détonation, que l'on peut contrôler grâce à l'injection d'eau dans les moteurs, laquelle abaisse sa température et augmente la résistance à la détonation du carburant. On peut ainsi faire travailler un moteur à haute puissance sans risquer de le détruire.

Ces connaissances, qu'on avait élaborées dans les premières décennies du 20^e siècle, ont été utilisées à la Deuxième Guerre mondiale pour augmenter la puissance des moteurs d'avion, afin, entre autres, de pouvoir décoller sur de courtes distances. Par exemple, l'avion F4U Corsair, avait un moteur de 1850 hp au début, qui est passé à 2450 hp lorsqu'on l'a équipé d'un système d'injection d'eau vers la fin de la guerre-2-. L'injection d'eau a également été utilisée dans les moteurs des voitures de course F1, dans les années 1980, toujours pour augmenter la puissance des moteurs. Ces systèmes ont ensuite été interdits pour éviter une trop grande escalade dans la puissance des moteurs.

Mais, l'augmentation de puissance des moteurs n'est pas la seule vertu du dopage à l'eau. La diminution des fumées crachées par les moteurs diesel ainsi que la diminution des autres émissions polluantes sont d'autres conséquences de plus en plus recherchées. En fait, en 2008 en Europe, plus de 10 000 autobus utilisent des carburants diesel dopés avec 10 % à 15 % d'eau sous forme de microscopiques gouttelettes dont le diamètre est inférieur à un micron. Un agent émulsifiant est également ajouté, afin de stabiliser l'émulsion pour qu'elle puisse être stockée pendant quatre mois tout en gardant ses propriétés. Les carburants diesel émulsifiés à l'eau ont l'avantage de pouvoir faire bénéficier d'un dopage à l'eau aux véhicules qui les utilisent, sans qu'on ait à modifier les moteurs.

La pétrolière BP, par exemple, a mis sur le marché son carburant diesel émulsifié Aspira, qui comporte 13 % d'eau. Ce carburant a été testé par une importante compagnie de transport en commun londonienne qui l'a utilisé dans six de ses autobus urbains pendant une année. Les résultats ont été publiés dans la revue *Frontiers* du mois d'août 2002 (une revue d'information de la compagnie BP). Les fumées noires ont été réduites de 65 %, les oxydes d'azote de 15 %, et le CO₂ de 12 %. Pour ce qui est de la consommation de carburant, on pourrait s'attendre à ce que la présence de 13 % d'eau dans chaque litre d'Aspira augmente la consommation pour compenser la plus faible teneur en carburant diesel qu'on y retrouve. Mais, à ce sujet, voici un extrait de l'article paru dans la revue *Frontiers*: *Tests with London buses have shown no fuel consumption differences at all. This is due to the improve combustion process.*

Les essais avec les autobus de Londres n'ont montré absolument aucune différence dans la consommation de carburant. Ceci est dû à l'amélioration du processus de combustion. (Traduction libre de l'auteur)

Par conséquent, les tests sur les autobus londoniens démontrent bien qu'il y a eu une diminution de la consommation de carburant diesel de 13 % environ, ce qui se reflète dans la diminution de 12 % des émissions de CO₂. Toutefois, BP souligne également dans l'article, qu'ils ont utilisé un nouveau lubrifiant en même temps que le carburant émulsifié Aspira et que ce lubrifiant a contribué à une diminution de la consommation pouvant aller jusqu'à 5 % dans des autobus qui utilisaient du carburant diesel traditionnel. On peut donc en conclure que **la contribution de l'eau à la diminution de consommation de carburant diesel des autobus londoniens est de l'ordre de 8 %**.

Plus récemment, en 2006, le professeur Tajima de l'Université de Kanagawa, au Japon, a mis au point un procédé qui permet de faire une émulsion stable de 30% d'eau et 70 % de carburant diesel. Son équipe a testé leur carburant SEF (Super Emulsion Fuel) avec un camion à ordures de 30 tonnes. Ils ont ainsi pu vérifier une diminution de plus de 95 % des particules de suie (voir la figure 4.25), une diminution de 70 % à 80 % des oxydes d'azote, et une réduction de 10% à 15% de la consommation de carburant-3-. À la simple vue des filtres à particules dans la figure, on peut en déduire qu'il doit nécessairement y avoir une réduction de la consommation de carburant, car les particules de carbone non brûlées correspondent à deux termes de perte d'énergie: l'énergie chimique non utilisée et la chaleur perdue dans ces particules qui sortent incandescentes du moteur.

Figure 4.25



Toujours concernant la réduction de consommation due à l'eau, voici un témoignage précieux, transmis à l'auteur, en juin 2008, par Jean-Jacques Olivier, un ingénieur agricole français, cultivateur et éleveur. Ce dernier a conduit, en 1942, un tracteur McCormick-Deering de 1929, muni de trois réservoirs : un pour l'essence, un pour le kérosène (pétrole à lampe de l'époque) et un pour l'eau. L'eau était introduite dans le moteur via un carburateur qui lui était dédié (il y avait deux carburateurs). Voici son témoignage :

J'avais un tracteur carburant au pétrole et à l'eau McCormick-Deering 15-30 modèle 1929 avec trois réservoirs : un pour le pétrole (18 gallons), un pour l'eau (9 gallons) et un petit pour l'essence.

Mise en route à l'essence, passage au pétrole quelques minutes après. Dès que l'on demandait un effort au tracteur, on ouvrait le robinet d'eau. La puissance semblait augmenter, les flammes exhalées par les deux échappements viraient du rouge fuligineux au bleu clair et la pétarade changeait de registre. Au pétrole seul, on ne faisait pas la journée ; avec l'eau on pouvait poursuivre tard dans la nuit.

C'était en 1942 et on appréciait l'économie. Il y avait deux carburateurs très semblables l'un pour le pétrole, l'autre pour l'eau dont les gicleurs se rejoignaient dans le venturi d'aspiration. Leur réglage demandait un certain feeling... Le collecteur d'admission était noyé dans le collecteur d'échappement et, la nuit, en plein effort, on pouvait le voir rouge sombre.

Ce modèle a été fabriqué à 50 130 exemplaires. Dans les 49 750 suivants, le système avait été simplifié : l'eau était aspirée directement, sans réchauffage, depuis le carburateur d'eau par deux tubes de cuivre piqués sur le collecteur d'admission près des entrées de culasse. Allez comprendre comment ça marchait, mais ça marchait très bien.

Monsieur Olivier a également fait parvenir à l'auteur les numérisations de la figure 4.26, à partir du catalogue des pièces qu'il a conservé.

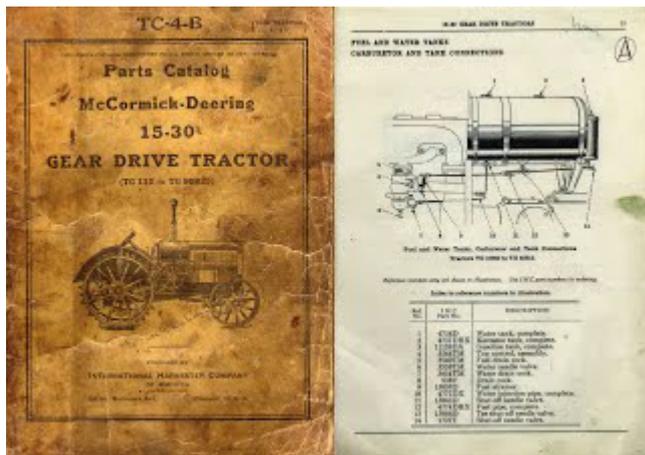


Figure 4.26

Curieusement, alors que le dopage à l'eau a débuté dans les tracteurs agricoles au début du 20^e siècle, c'est encore via les tracteurs agricoles qu'il revient en force, depuis 2001, grâce à un agriculteur biologique français bien spécial, **Antoine Gillier**. Ce dernier a installé un système de dopage à l'eau sur un de ses tracteurs, au printemps 2001, en s'inspirant du réacteur développé par Paul Pantone dans les années 1990.

Le réacteur Pantone est décrit dans le brevet étatsunien numéro 5,794,601 obtenu le 18 août 1998, et intitulé « Fuel Pretreater Apparatus and Method ». En fait, Paul Pantone a publié les détails de son invention dans Internet en 1999, et ces informations ont été traduites par Bernadette et Jean Soarès qui les ont publiées en français dans leur site **Quant'Homme** (www.quanthomme.fr). Or, alors qu'Antoine Gillier cherchait un moyen de réduire les fumées noires de ses tracteurs, quelqu'un lui parle du réacteur Pantone et du site Quant'Homme. Il entre alors en contact avec Bernadette et Jean Soarès, qui lui rendent visite avec leur ami Michel David. Ce dernier apporte avec lui le premier système Pantone reproduit en France, à l'aide d'un petit moteur de rotoculteur installé sur un rectangle en bois. On est en décembre 2000, juste avant Noël, et Antoine Gillier regarde le montage de Michel David très attentivement. Dès que le réacteur Pantone est réchauffé, les fumées et les odeurs disparaissent du tuyau d'échappement du petit moteur à essence ! Antoine se dit que c'est exactement ce qu'il lui faut pour ses tracteurs.

Avant d'aller plus loin, expliquons un peu en quoi consiste le système Pantone. Il s'agit de mélanger un carburant avec de l'eau dans un réservoir qui est chauffé par une partie des gaz d'échappement. Les vapeurs de ce mélange sont alors aspirées dans les cylindres, à travers une canalisation, en raison du vide créé par les pistons du moteur. En se dirigeant vers les cylindres, le mélange de vapeurs de carburant et d'eau passe dans un tube d'acier (appelé réacteur) placé au centre du tuyau d'échappement, afin de réchauffer davantage les vapeurs (voir la figure 4.27). Ces dernières entrent par la suite dans le moteur par le carburateur. Précisons que pour favoriser un bon échange de chaleur entre les gaz d'échappement et les vapeurs, on limite la circulation de celles-ci à une portion annulaire près de la surface intérieure du tuyau du réacteur. Pour ce faire, on introduit une tige d'acier au centre, qui ne laisse qu'un espace de un millimètre d'épaisseur au passage des vapeurs de carburant et d'eau. Seule la paroi extérieure du réacteur sépare alors les gaz d'échappement des vapeurs qu'on veut réchauffer.

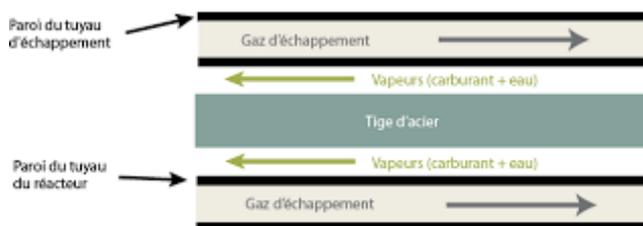


Figure 4.27

Plusieurs expérimentateurs ont observé que la tige d'acier au centre du réacteur s'aimantait, ce qui dénote qu'il y a probablement une ionisation des vapeurs qui se produit et l'établissement d'une circulation hélicoïdale des vapeurs ionisées autour de la tige. Mais, personne, à notre connaissance,

n'a fait une étude expérimentale sérieuse de ce qui se passe réellement dans ce réacteur. On en est donc réduit à faire des hypothèses qui ne restent que des hypothèses, pour le moment. Mais, une chose est certaine, le réacteur Pantone agit comme un échangeur thermique efficace, entre les gaz d'échappement et les vapeurs du mélange eau-carburant avec lesquelles on alimente le moteur.

Figure 4.28

Dans un système Pantone complet, il y a plusieurs vannes, principalement pour permettre un démarrage du moteur à l'essence, au début, et passer ensuite au mélange eau-carburant vaporisés, lorsque le moteur est chaud. Ceux qui voudraient en savoir davantage peuvent consulter le site



www.quanthomme.fr, qui contient une information abondante sur tout ce dossier, ou encore le site www.econologie.com, tenu par Christophe Martz, un jeune ingénieur mécanique qui a consacré son mémoire de fin d'études au système Pantone, à l'École nationale supérieure des arts et industries de Strasbourg (ENSAIS), en 2001-4-. Il a monté, pour cela, un banc d'essai autour d'une petite génératrice à essence modifiée et instrumentée (voir la figure 4.28) pour mesurer certaines émissions polluantes et la diminution de consommation. On peut télécharger ce rapport du site de Éconologie.

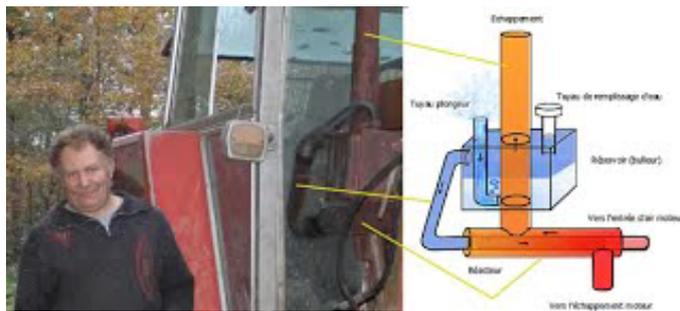
Christophe Martz a ainsi pu démontrer une diminution des hydrocarbures imbrûlés (HC) et du monoxyde de carbone (CO) de plus de 95 %, ce qui traduit une bien meilleure combustion ! Il a également établi que les vapeurs à la sortie du réacteur Pantone ne contenaient pas d'hydrogène et qu'elles étaient plus volatiles, ce qui signifie que les molécules d'essence ont été fractionnées en plus petites molécules d'hydrocarbures. Enfin, en ce qui concerne la consommation d'essence de la génératrice « pantonée », il n'a pas observé de gain par rapport à la consommation de la génératrice non modifiée. Toutefois, comme on peut le constater dans la figure, il a fallu ajouter à la génératrice d'origine tout un enchevêtrement de tubulures et d'appareils de mesure qui augmentent nécessairement la charge de la génératrice en raison de la résistance à l'écoulement des gaz qui en résulte. Lorsque Christophe Martz compare les deux à armes égales, en faisant passer les gaz de la génératrice non « pantonée » dans les mêmes tubulures de son banc d'essai, il obtient alors une consommation d'essence inférieure de 60 % pour le système Pantone !

Maintenant que nous en savons un peu plus sur ce système, revenons à Antoine Gillier, notre agriculteur biologique du centre de la France, qui regarde fonctionner le petit moteur de rotoculteur « pantoné » de Michel David, en décembre 2000. Il n'y a aucun doute, les gaz d'échappement qui sortent du moteur sont beaucoup plus propres ! Alors, la question qu'il se pose est comment adapter un système Pantone à ses tracteurs diesel ? Car, il faut bien le dire, les systèmes Pantone ont été conçus pour fonctionner avec des moteurs à essence munis de carburateurs. Mais les moteurs diesel n'ont pas de carburateur. Ce sont des injecteurs qui alimentent les cylindres en carburant et pas question de modifier le système d'injection avec un bricolage artisanal, il y a trop de risques !

Antoine essaie d'abord de faire pénétrer les vapeurs eau-carburant par l'entrée d'air du moteur diesel. Mais ça ne marche pas car ces vapeurs s'ajoutent au carburant diesel introduit par les injecteurs et le moteur devient incontrôlable. C'est alors que notre pragmatique paysan a l'éclair de génie ! Il se dit que puisque les injecteurs fournissent le carburant, il pourrait peut-être enlever le carburant de son mélange et ne faire entrer que de la vapeur d'eau par l'entrée d'air du moteur. Chose dite, chose faite et, **au printemps 2001, le voilà dans ses champs avec un tracteur muni d'un système Gillier-Pantone, qui ne crache plus de fumées noires et qui consomme 25 % moins de carburant.** Le fonctionnement est expliqué dans le texte qui accompagne la figure 4.29. La beauté en est que toutes les vannes du système Pantone ont disparu, puisque le carburant entre dans le moteur en permanence par les injecteurs. Le système Gillier-Pantone est on ne peut plus simple, et le moteur ne subit aucune modification. Seul le tuyau d'échappement est modifié, et un raccord est ajouté à l'entrée d'air. (Voir figure 4.29)

La consommation du tracteur d'Antoine a diminué encore par la suite, probablement en raison du désencrassement de son moteur par la vapeur d'eau. En fait, c'est un vieux truc de mécanicien d'introduire lentement un peu d'eau dans un moteur en marche pour nettoyer la calamine qui s'y est accumulée (ne l'essayez surtout pas vous-même, car il faut s'y connaître, sinon on peut briser le moteur si on met trop d'eau). Or, la calamine réduit l'étanchéité des cylindres et augmente la consommation de carburant. Ainsi, en l'enlevant progressivement avec la vapeur d'eau du système Gillier-Pantone, on diminue progressivement la consommation de carburant, jusqu'à la rétablir près de son niveau original.-5-

Figure 4.29



La suite de l'histoire ? Eh bien ! Antoine communique les plans de son système à Bernadette et Jean Soarès, les fondateurs et administrateurs du site Quant'Homme (www.quanthomme.fr). Ces derniers rendent rapidement l'information disponible sur leur site et maintiennent depuis lors un registre sur les multiples reproductions qui ont été réalisées un peu partout dans le monde, avec les témoignages de leurs responsables sur les économies de

carburant réalisées.

En fait, en 2008, il y a des centaines d'agriculteurs français qui ont équipé leurs tracteurs avec un système Gillier-Pantone, leur apportant généralement entre 20 % et 40 % d'économie de carburant diesel, le tout remplacé par quelques litres d'eau à l'heure. En prime, finies les fumées noires ! Il y a même des kits Gillier-Pantone, de conception très compacte (appelés SPAD), qui sont vendus maintenant pour les tracteurs, afin de faciliter les choses, par la société française Hypnow (www.hypnow.fr). La société Ecopra, quant à elle, vend des kits pour les tracteurs et pour les automobiles diesel (www.ecopra.com).



Il est à noter qu'Antoine Gillier n'a pas de brevet et ne retire aucun bénéfice des réacteurs Gillier-Pantone autres que l'économie de carburant de ses tracteurs. Il a donné son invention au public et il est demeuré anonyme jusqu'à l'automne 2007. Jusque-là, on parlait de systèmes Pantone-G. Mais, quelqu'un s'est fait passer pour lui sur Internet et tenait des propos avec lesquels Antoine n'était pas d'accord, d'où sa décision de sortir de l'ombre.

Il n'y a pas que les individus qui bricolent leur tracteur. La Chambre agricole du Département de l'Aisne, en France, effectue des tests en 2006, sur deux tracteurs identiques dont l'un est équipé avec un système Gillier-Pantone. Pour ces tests, ils utilisent un dynamomètre et font traîner une lourde charge sur le même trajet, à la même vitesse. Ils démontrent ainsi que le tracteur avec un réacteur Gillier-Pantone consomme 25 % moins de carburant diesel, alors que les deux tracteurs affichent sensiblement la même puissance. Pour plus de détails, consulter la section Téléchargements du site Écologie (www.econologie.com), à la rubrique Moteur Pantone. Le dossier s'intitule « Moteur Pantone sur tracteur New Holland au banc d'essais ».

Enfin, au printemps 2007, Luc Corradi, maire de Vitry-sur-Orne, en France, fait équiper une fourgonnette municipale diesel C15 de Citroën, modèle 1993, avec un système de dopage à la vapeur d'eau. Les tests effectués dans un garage agréé démontrent une diminution de l'opacité des fumées en sortie d'échappement de 82 %. Du côté de la consommation de carburant diesel, la diminution constatée est de 36 % ! De 8,25 litres/100 km, elle est passée à 5,28 litres/100 km, en moyenne sur 919 km parcourus après l'installation du système de dopage à la vapeur. La consommation d'eau, quant à elle, a été mesurée à 0,8 litre/100 km. Il y a même eu un reportage de France 3 sur le sujet, diffusé le 1er juin 2007. C'est l'association La Pierre Angulaire (dédiée à la promotion du biohabitat et à la maîtrise de l'énergie : <http://lapierreangulaire.free.fr>) qui a conçu et installé le système innovant et compact, mieux adapté pour les voitures diesel. Il n'est pas dit qu'on puisse atteindre une diminution de consommation aussi élevée avec une voiture diesel récente, car ces dernières se sont beaucoup améliorées. Ça reste à vérifier. Mais il n'en demeure pas moins que la vapeur d'eau aide énormément à améliorer la combustion dans un moteur diesel, à peu de frais.

Ce qui est très particulier dans la saga Gillier-Pantone de dopage à la vapeur d'eau des moteurs, c'est le fait que ce sont les paysans et les bricoleurs qui font évoluer le dossier et non les grands laboratoires des fabricants d'automobiles ou des instituts de recherche nationaux ! L'auteur a pu constater du scepticisme parmi de nombreux scientifiques. C'est un peu normal face à une nouvelle invention dont le mécanisme défie nos connaissances établies sur les moteurs, surtout lorsque c'est un néophyte qui en est à l'origine. Mais lorsque des centaines de personnes l'ont essayé et confirment les bienfaits de la nouvelle invention, alors là, un véritable scientifique doit s'interroger sérieusement et se demander s'il n'y a pas quelque chose qui lui a échappé. C'est ce qu'ont fait plusieurs ingénieurs d'un fabricant d'automobiles français bien connu, en rendant visite à Antoine Gillier, comme il me l'a raconté lors de notre rencontre.

Pour ceux et celles qui ont une bonne connaissance des moteurs thermiques, le système Gillier-Pantone apparaît comme une hérésie, et avec raison ! Après tout, on utilise bien un radiateur pour refroidir l'air comprimé par un turbo avant qu'il entre dans le moteur. Pourquoi ? Simplement parce que de l'air plus froid contient plus de molécules d'oxygène pour un même volume. On a donc intérêt à ce qu'il y en ait le plus possible pour augmenter la puissance des moteurs et/ou réduire la grosseur de ceux-ci. Alors, envoyer de la vapeur à 300 °C dans les pistons va à l'encontre du bon sens !

Mais regardons si on ne peut pas identifier des pistes intéressantes. L'hydrogène semble en être une, car toutes les études effectuées depuis les années 1970 démontrent que ce gaz très léger diminue la consommation des carburants auxquels on l'associe en petite quantité. Ce n'est pas l'énergie de l'hydrogène lui-même qui diminue la consommation (il y en a trop peu), mais plutôt le fait que l'hydrogène favorise une meilleure combustion du carburant, en raison de la plus grande vitesse de propagation de sa flamme. En effet, à la même température, une molécule légère comme l'hydrogène se déplace beaucoup plus vite que les autres molécules plus lourdes du mélange air-carburant.

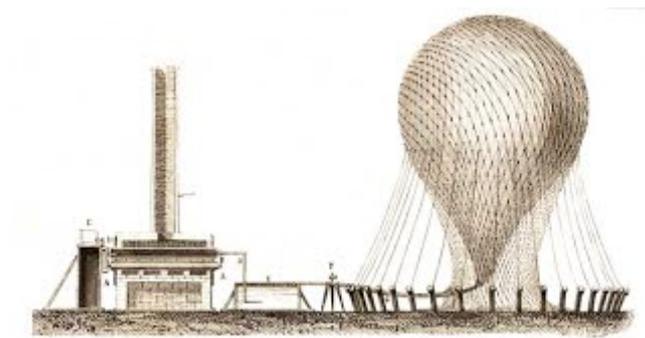


Fig. 288. — Appareil qui sert à préparer le gaz hydrogène, pour le remplissage de l'aérostat militaire / *Estrennes*.

Figure 4.31

Mais comment l'hydrogène serait-il fabriqué me demanderez-vous ? Et bien, les conditions de température et de pression qui règnent dans les cylindres d'un moteur diesel robuste sous bonne charge (température maximale >2000 °C, pression jusqu'à 70 bars) sont semblables à celles qu'on trouve dans les usines de fabrication d'hydrogène par oxydation partielle des carburants fossiles (température de 1200 à 1500 °C, pression de

20 à 90 bars) **-6-**. De plus, dans ces usines, on mélange les carburants avec de l'air et de la vapeur d'eau, sans catalyseurs. Cette pratique ne date pas d'hier. À l'exposition universelle de Paris de 1867, il était possible de faire des vols d'aérostats captifs (attachés au sol par un câble) où on offrait aux visiteurs les sensations uniques d'une ascension à 300 mètres d'altitude au-dessus de la ville. Cette opération commerciale se poursuivit après l'exposition et il fallait trouver une façon économique de produire l'hydrogène. On utilisa alors de la vapeur d'eau qu'on envoyait au travers un lit de charbon incandescent, en présence d'air **-7-**. (Voir la figure 4.31)

Il est donc possible que la vapeur d'eau injectée dans les cylindres d'un moteur diesel favorise la production rapide d'hydrogène par une réaction semblable. On retrouve bien des particules de carbone incandescentes dans les cylindres (responsables des fumées noires). L'hydrogène agirait par la suite comme catalyseur pour améliorer la combustion.

Une autre piste intéressante pour tenter de comprendre les systèmes de dopage à la vapeur des moteurs diesel est l'inertie thermique élevée des molécules d'eau qui empêche les changements brusques de température. Ainsi, le fait d'introduire de la vapeur d'eau dans les cylindres va diminuer la température maximale de la combustion mais également empêcher un refroidissement trop brusque des gaz lorsque le volume de la chambre de combustion s'agrandit subitement après l'explosion. Ces conséquences ont été vérifiées expérimentalement par Pierre Clerget, le célèbre motoriste français du début du 20^e siècle **-8-**

Ce qui permet à la vapeur d'eau de se comporter ainsi, c'est sa capacité de stocker beaucoup d'énergie sous forme de rotation et de vibration de ses molécules. En effet, la température d'un gaz est en fait une mesure de la vitesse de déplacement des molécules qui le composent (vitesse de translation). Ainsi, les molécules de carburant, qui ne peuvent stocker autant d'énergie sous forme de rotation et de vibration, vont nécessairement augmenter davantage leur vitesse avec l'énergie qu'on leur transfère et donc s'échauffer plus que les molécules d'eau. Si on mélange de la vapeur d'eau avec du carburant, une partie de l'énergie donnée aux molécules de carburant est transférée aux molécules d'eau qui vont en stocker une partie en rotation et vibration, entraînant une élévation moins grande de la température.

D'un autre côté, lorsqu'on veut diminuer la vitesse de translation des molécules d'eau (refroidissement), leur énergie stockée sous forme de rotation et de vibration est alors transférée à l'énergie de translation dans un processus d'équilibrage, ce qui ralentit le refroidissement. Maintenant, on sait qu'en prenant de l'expansion après l'explosion, les gaz se refroidissent en poussant sur les pistons, dans les cylindres. Or, la vapeur d'eau permet à la température des gaz dans les cylindres du moteur de se maintenir à une valeur élevée plus longtemps, ce qui donne plus de temps pour effectuer une combustion complète du carburant et assure une poussée plus importante et uniforme sur les pistons du moteur. En fait, à ce moment, les molécules d'eau redonnent au piston l'énergie qu'elles avaient stockée en rotation et vibration, y compris celle qui provient des gaz d'échappement. **La vapeur d'eau agirait donc comme une pompe à chaleur qui puise l'énergie calorifique perdue par le tuyau d'échappement pour la transformer en énergie utile qui pousse sur les pistons plus fort, plus longtemps et plus uniformément.** D'ailleurs, le fait que ceux qui ont installé un système Gillier-Pantone sur leur véhicule témoignent d'un fonctionnement plus doux du moteur confirme cette poussée plus uniforme sur les pistons.

L'inertie thermique de la vapeur d'eau a une autre conséquence bénéfique sur l'amélioration de l'efficacité d'un moteur en diminuant les pertes thermiques dans le bloc-moteur. Celles-ci sont proportionnelles à la température dans la chambre de combustion. Le moment où ces pertes sont les plus importantes est lorsque le piston atteint le haut de sa course et que le carburant est injecté dans le cylindre. Le volume de la chambre de combustion est alors le plus petit et la température peut atteindre plus de 2000 °C, s'il n'y a pas d'eau, alors que le cylindre passe une partie importante de son cycle dans cette position (sommet d'un cycle sinusoïdal). De plus, lorsque le piston est au sommet de sa course dans le haut du cylindre, c'est à cet endroit que le rapport de la surface de la chambre sur son volume est le plus grand, ce qui contribue à de plus grandes pertes thermiques par les parois. Donc, si on empêche la température de grimper trop haut à l'aide de la vapeur d'eau, on diminue nécessairement les pertes thermiques dans le bloc-moteur et on augmente par le fait même l'énergie disponible pour pousser sur les pistons.

Enfin, voici une dernière piste intéressante. Il y a des gens qui disent que l'eau est la cendre de la combustion de l'hydrogène et qu'il est insensé de prétendre qu'on peut tirer de l'énergie de la « combustion de l'eau ». Ils ont parfaitement raison, l'eau est la cendre de l'hydrogène qui a brûlé. Il n'y a pas un scientifique qui va contredire ça et j'en suis un. Par ailleurs, en brûlant de l'hydrogène, on dégage beaucoup d'énergie, comme nous le démontre chaque lancement de la navette spatiale qui brûle de l'hydrogène liquide avec de l'oxygène liquide dans ses tuyères, ce qui forme de l'eau, comme cendre.

Ceci étant dit, il est tout de même curieux de constater que l'industrie nucléaire qui planifie sa prochaine génération de réacteurs, justifie en partie ces futures centrales, dites de génération IV, en mentionnant qu'elles vont utiliser une cendre, de l'eau, pour fabriquer de l'hydrogène afin de produire de l'électricité avec des piles à combustible. Comment se fait-il qu'ils puissent penser faire une chose pareille ? Après tout, il faut plus d'énergie pour fabriquer l'hydrogène que l'hydrogène en redonne dans les piles à combustible...

Pourtant c'est très logique, car pour faire renaître l'hydrogène de sa cendre, l'eau, ils veulent utiliser la chaleur qui serait normalement perdue par les centrales nucléaires en décomposant l'eau grâce à des réactions thermochimiques. Il ne faut pas oublier, en effet, que les deux tiers de l'énergie de l'uranium sont perdus en chaleur et qu'un tiers seulement est transformé en électricité. La fission des atomes d'uranium chauffe de l'eau en vapeur qui actionne une turbine pour faire fonctionner un générateur électrique. Et oui, les centrales nucléaires sont en fait des machines à vapeur, très inefficaces, comme les moteurs thermiques de nos voitures !

Alors, on a le choix, soit on perd les deux tiers de l'énergie des centrales nucléaires en chaleur dans l'atmosphère et dans l'eau de la rivière qui la refroidit, soit on fait renaître l'hydrogène de sa cendre avec cette énergie perdue, afin d'en faire quelque chose d'utile. Est-ce si insensé de penser de la sorte ? Non, bien sûr, vous en conviendrez. Mais n'allez pas déduire de cet exemple que l'auteur est pour l'énergie nucléaire, ou en faveur des voitures à hydrogène, c'est simplement pour mieux faire comprendre ce qui suit.

Maintenant, revenons aux moteurs diesel des tracteurs. Ces moteurs perdent en chaleur près de 40 % de l'énergie du carburant dans les gaz d'échappement. Alors, si on peut utiliser une partie de cette énergie pour aider à décomposer les molécules d'eau en hydrogène et en oxygène, et qu'on puisse par la suite transférer l'énergie de la combustion de ces deux gaz aux pistons, ça serait une façon de faire travailler l'énergie normalement perdue par le système d'échappement. La décomposition des molécules d'eau peut se faire par la chaleur, à des températures au-delà de 2000 °C et efficacement dépassé 2500 °C. Nous avons vu que des températures supérieures à 2000 °C peuvent survenir dans un moteur diesel qui travaille fort. Il est donc plausible qu'une partie des molécules d'eau, qui reste à déterminer, puisse être dissociée uniquement par la chaleur.

Mais, il ne faut pas oublier que l'énergie déployée pour les amener à la température requise a été fournie en partie par la chaleur des gaz d'échappement, par la compression des pistons et par la combustion du carburant. Lorsque les atomes d'oxygène et d'hydrogène se recombinent pour former de l'eau, c'est l'ensemble de ces énergies différentes qui serait transmis aux pistons, incluant l'énergie récupérée dans les gaz d'échappement, qui se transformerait alors en énergie utile. **Il est important de noter, ici, qu'Antoine Gillier a confié à l'auteur que les économies de carburant dues au dopage à la vapeur sont d'autant plus grandes que les tracteurs travaillent fort, correspondant à des températures élevées dans les cylindres.**

L'inertie thermique de la vapeur d'eau et la production d'hydrogène dans les cylindres semblent des pistes prometteuses à explorer pour mieux comprendre les «mystères» du dopage à la vapeur. L'auteur ne prétend pas les avoir toutes identifiées, bien sûr. Il est très possible également que les divers mécanismes et réactions contribuent ensemble à rendre les phénomènes observés plus importants. Il va de soi qu'il est important de valider les différentes hypothèses par une étude détaillée dans des laboratoires bien équipés, où travaillent des scientifiques compétents. MAIS IL FAUT LE FAIRE, la situation actuelle de la planète et le déclin imminent de la production de pétrole ne nous autorisent pas à prendre à la légère quelque technologie que ce soit, surtout lorsque plusieurs centaines de personnes ont transformé leur tracteur ou leur voiture et en ont constaté les bienfaits.

Par ailleurs, il n'est pas indispensable de comprendre tous les détails d'un phénomène avant d'utiliser des technologies qui en tirent profit. Par exemple, lorsqu'on a mis les premières automobiles sur le marché, on était loin de comprendre tous les détails de la combustion des carburants dans un moteur à combustion interne. Par ailleurs, on a longtemps utilisé les supraconducteurs alors qu'on en avait une connaissance très réduite et déficiente. De même, on a longtemps utilisé la boussole sans comprendre les forces magnétiques...

En fait, **nos gouvernements devraient mettre en place des laboratoires d'essai pour valider les différents systèmes de dopage à l'eau, à la vapeur ou à l'hydrogène, et élaborer des politiques qui favorisent l'intégration des systèmes jugés performants dans les véhicules existants.** On ne pourra disposer de véhicules électriques et hybrides branchables à grande échelle avant 2020 environ et, d'ici là, il faut se donner tous les moyens pertinents pour diminuer au maximum notre consommation de pétrole le plus vite possible.

4.26 – En résumé (à noter, seulement les derniers paragraphes de la section 4.26 ont été copiés sur cette page)

En ce qui concerne le dopage à l'eau, on savait depuis le début du 20^e siècle, grâce aux travaux du célèbre motoriste français Pierre Clerget, qu'en injectant de l'eau dans les moteurs diesel, on réduisait beaucoup les fumées noires émises et on pouvait doubler la puissance du moteur. Cette puissance

accrue est rendue possible par le refroidissement que permet l'eau dans les chambres de combustion. L'injection d'eau a été utilisée dans les avions de la Deuxième Guerre mondiale pour augmenter la puissance des moteurs et leur permettre de décoller sur de courtes distances. Elle a également été utilisée dans les moteurs de voitures de course formule 1 au cours des années 1980. Dans les années 1990, c'est plutôt la diminution de pollution des moteurs diesel en milieu urbain qui a apporté un regain d'intérêt pour le dopage à l'eau.

Une façon simple d'introduire de l'eau dans les moteurs sans les modifier est d'inclure l'eau dans le carburant diesel, en fines gouttelettes dont le diamètre est inférieur à un millième de millimètre. C'est ce qu'on appelle une émulsion de deux liquides qui normalement ne se mélangent pas. Pour maintenir stables les carburants émulsifiés à l'eau, on ajoute de petites quantités de produits émulsifiants. Ces carburants contiennent généralement de 10 % à 15 % d'eau. Le carburant émulsifié Aspira de BP (13 % d'eau) a été testé dans les autobus de Londres en 2001, et on a constaté que les fumées noires ont été réduites de 65%, les oxydes d'azote de 15 %, et le CO₂ de 12 %. La contribution de l'eau à la diminution de consommation de carburant diesel proprement dit a été d'environ 8 %. Plus récemment, en 2006, le professeur Tajima de l'Université de Kanagawa, au Japon, a développé un procédé qui permet de faire une émulsion stable de 30 % d'eau et 70 % de carburant diesel. Son équipe a testé leur carburant SEF (Super Emulsion Fuel) avec un camion à ordures de 30 tonnes. Ils ont ainsi pu vérifier une diminution de plus de 95 % des particules de suie, une diminution de 70 % à 80 % des oxydes d'azote, et une réduction de 10 % à 15 % de la consommation de carburant.

En s'inspirant du système Pantone, breveté en 1998 pour les moteurs à essence, Antoine Gillier, agriculteur biologique français, a développé une autre façon astucieuse pour doper à l'eau ses moteurs de tracteur, en 2001, afin d'éliminer les fumées noires. Le système Gillier-Pantone consiste à faire passer le tuyau d'échappement au centre d'un réservoir d'eau en acier et de diriger la vapeur qui s'en dégage à travers une tubulure qui la conduit à un réacteur au centre du tuyau d'échappement, pour pénétrer ensuite dans le moteur diesel par son entrée d'air. Les résultats sont une réduction remarquable des fumées noires et, en prime, des économies de carburant diesel de 20 % à 40 % !

L'information sur la façon de faire ayant été mise à la disposition du public dans Internet, des centaines d'agriculteurs ont répété l'expérience sur leur propre tracteur et témoigné des performances remarquables qui en résultent. Les motoristes s'interrogent sur cette anomalie, car normalement on essaie de refroidir l'air qui pénètre dans les cylindres. Toutefois plusieurs pistes nous rendent plausible un tel phénomène. Parmi elles, on retrouve la production d'hydrogène dans les cylindres du moteur et l'inertie thermique de la vapeur d'eau, qui améliorent la combustion, diminuent les pertes dans le bloc-moteur, et permettraient de récupérer une partie de l'énergie perdue par les gaz d'échappement. Ces hypothèses doivent, bien sûr, être validées dans des laboratoires compétents, mais ON DOIT LE FAIRE. On ne peut se permettre de négliger aucune technologie ayant le potentiel de réduire de façon importante notre dépendance au pétrole, sous prétexte qu'elle origine d'un agriculteur, ou qu'elle semble incompréhensible.

Les biocarburants de deuxième génération, dopés à l'eau ou à l'hydrogène, vont donc être de fiers partenaires de la motorisation électrique, dans nos véhicules hybrides branchables avancés de demain !

^[1] . G. Hartmann, *Pierre Clerget 1875-1943 – Un motoriste de génie*, Les éditions de l'officine, Paris, 2004.

^[2] . C. Hawks, *The Chance Vought F4U Corsair*, article en ligne sur le site www.chuckhawks.com dédié à l'histoire des technologies militaires (www.chuckhawks.com/corsair_F4U.htm).

^[3] . Green Car Congress (site sur la mobilité durable), Kanagawa University Develops New Diesel Emulsion Fuel, 4 octobre 2006 (www.greencarcongress.com/2006/10/kanagawa_univer.html).

^[4] . C. Martz, *Élaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformage*, Projet de fin d'études en génie mécanique réalisé à l'École nationale supérieure des arts et industries

de Strasbourg (ENSAIS), octobre 2001. Téléchargement gratuit sur le site Écologie à www.econologie.com, dans la section Téléchargements, sous la rubrique Moteur Pantone.

^[5] . Si l'auteur, un Québécois, peut vous raconter cette histoire, c'est qu'il est allé passer une journée avec Antoine Gillier, ainsi qu'avec Bernadette et Jean Soarès, en janvier 2008, juste après avoir participé à la finale du Prix Roberval, à Compiègne et Paris (<http://prixroberval.utc.fr>). D'ailleurs, il y a remporté la mention spéciale du jury pour le meilleur livre de communication en science et technologie de la Francophonie, catégorie Grand Public. C'était son deuxième livre (*Sur la route de l'électricité*, vol. 2, Éditions MultiMondes, Québec, 2006), alors que celui que vous tenez entre les mains est le troisième.

^[6] . C. Beaudoin, S. His et J.-P. Jonchère, « Comment produire l'hydrogène – La production à partir de combustibles fossiles », *Clefs CEA* (publication interne de la Commission de l'Énergie Atomique), n° 50/51, p. 31 à 33, hiver 2004-2005.

^[7] . L. Figuière, *Les merveilles de la science*, volume 2, Furne, Jouvet et Cie, Éditeurs, Paris, 1868.

^[8] . G. Hartmann, *op. cit.*