



Mairie de Cahors.

Le point sur une Action 21 menée depuis janvier 2008 :  
Formation de personnel et équipement d'un véhicule  
municipal d'un système de dopage à l'eau.



- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| - Histoire de ce procédé        | page 2  |
| - Principe                      | page 4  |
| - Explications et théories      | page 5  |
| - Expérimentations              | page 5  |
| - Opération à Cahors            | page 6  |
| - Résultats                     | page 10 |
| - Projection                    | page 11 |
| - Que nous reste-t-il à faire ? | page 12 |

Du lundi 21 au vendredi 25 janvier 2008, une action a été entreprise par la mairie de Cahors. Il s'agissait de former une équipe de techniciens au principe du dopage à l'eau des moteurs, puis d'équiper un véhicule municipal de ce procédé, permettant la réduction des émanations polluantes tout en réduisant sa consommation de carburant par l'ajout de vapeur d'eau dans la carburation.

## - Histoire du dopage à l'eau.

Le concept n'est pas nouveau puisqu'on en trouve les premières applications en 1864 avec les travaux de l'ingénieur Hugon sur son moteur à gaz.

Son objectif premier était de mieux contrôler les cycles des explosions des moteurs qui avaient une fâcheuse tendance... à exploser, avec les dégâts que l'on imagine.

En 1895, De Dion et Bouton déposent le premier brevet concernant l'injection d'eau dans un moteur à essence. La vapeur ajoutée au carburant apportant d'excellents résultats en matière de régulation de combustion, plusieurs brevets sont déposés en Europe sur ce procédé, entre 1895 et 1899.

Pendant la première et la deuxième guerre mondiale, l'ingénieur motoriste Pierre Clerget expérimente avec succès le dopage à l'eau de ses moteurs d'avions.



Le Marquis Albert de Dion et Georges Bouton.



Pierre Clerget en 1908.

Les recherches de ces ingénieurs ont amené d'autres découvertes intéressantes : la quasi suppression des fumées noires d'échappement, la réduction de la consommation en carburant, la suppression des cliquetis des moteurs, l'augmentation de la durée de vie des moteurs testés (les huiles de vidanges sont toujours très claires) et l'augmentation du couple du moteur, c'est à dire l'amélioration de sa capacité de charge.

En 1974 et 1975, deux français, Jean Chambrin et Jack Jojon déposent aussi une série de brevets pour un système permettant l'ajout de la vapeur d'eau à des moteurs d'automobiles ou de camions.



Jean Chambrin et Jack Jojon



Paul Pantone

Dans les années 80 et 90, on retrouve ce procédé qui permet un gain notable de puissance, lors de Rallyes automobiles et même sur certaines Formules 1.

En 1998, un américain, Paul Pantone dépose un brevet identique à ceux de Chambrin et Jojon, mais simplifié, et en "offre" les détails sur le Net. Tout le monde peut ainsi s'en emparer, l'étudier, le modifier.

En France, des ingénieurs (dont notre formateur) et des mécaniciens ont amélioré le procédé de Pantone pour n'en garder que le coeur : l'échangeur de chaleur et le chargement en électricité de la vapeur d'eau.

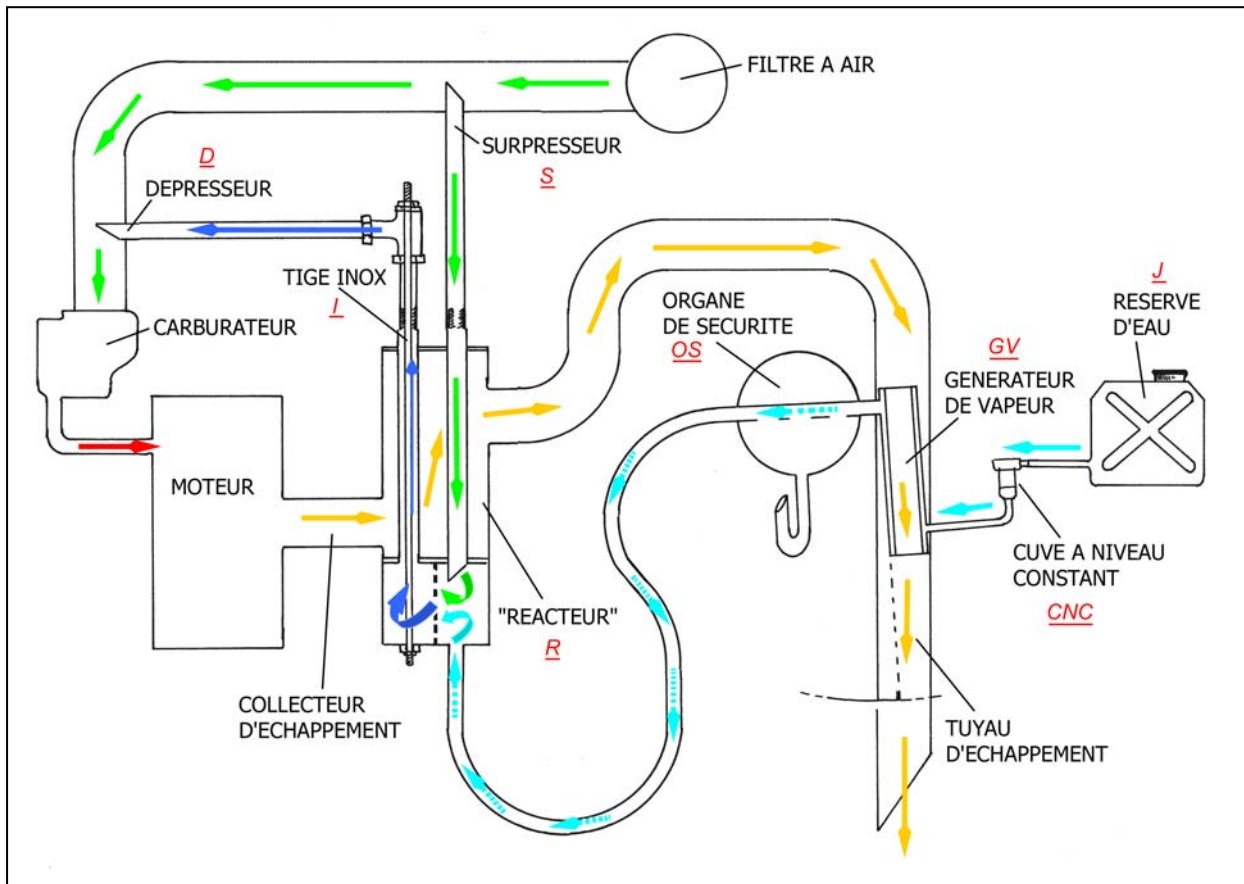
Aujourd'hui, en l'état actuel des recherches, tous les moteurs essences peuvent être équipés d'un système de dopage à l'eau. Les moteurs diesels atmosphériques peuvent l'être aussi.

Toutefois, il existe des difficultés d'adaptation pour les diesels modernes type TDI, HDI Common Rail. Nous en reparlerons plus bas.

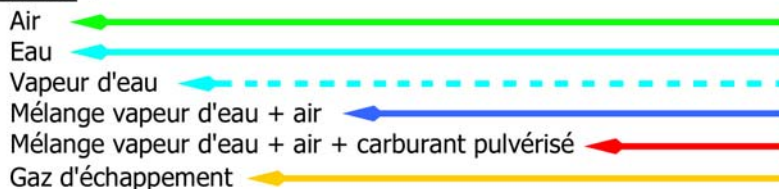
Une fois installé, le système fonctionne sans aucune manipulation particulière. Seul le remplissage d'une réserve d'eau placée dans le coffre du véhicule est fait en même temps que le plein de carburant habituel.

Toutefois, si le conducteur oublie de remplir cette réserve d'eau, le véhicule se remet à fonctionner en mode classique, retrouvant sa pollution et sa consommation habituelle.

## Descriptif du principe amélioré.



### Légende :



On utilise la chaleur dégagée par le pot d'échappement pour produire instantanément de la vapeur d'eau dans un petit générateur de vapeur **GV**. Cette vapeur est envoyée dans une chambre **R** appelée "réacteur" qui, elle aussi, est chauffée par la chaleur des gaz d'échappement. Dans cette chambre, la vapeur d'eau passe par un circuit secondaire de tuyaux où elle va encore monter en température (plus de 800°) puis se charger électriquement, du fait des frottements volontairement provoqués le long de la tige en inox **I**.

La vapeur d'eau chargée électriquement est envoyée dans la chambre de combustion du moteur par le biais du filtre à air, grâce au surpresseur **S** et au dépresseur **D**. Cette vapeur d'eau va donc se mélanger au carburant (gasoil ou essence) dans le carburateur.

Ce mélange carburant + vapeur d'eau chargée électriquement offre une meilleure combustion, avec un meilleur rendement et les trois effets constatés habituellement :

- diminution des cliquetis et augmentation de la longévité du moteur en augmentant l'indice d'octane du mélange,
- augmentation de la pression moyenne effective dans les chambres de combustion avec une consommation de carburant spécifique diminuée,
- diminution importante des fumées et des rejets polluants (imbrûlés).

## Explications et théories.

Il y a généralement trois théories qui sont proposées et qui sont toujours sujettes à discussions.

a) - les réactifs azote, dioxygène et vapeur d'eau sont transformés chimiquement dans la chambre de réaction et le produit obtenu agit lors de la combustion.

Selon les conditions de transformation présentes dans le montage du dopage à l'eau, il peut se produire de l'hydrogène atomique H+, de l'hydrazine ou encore du peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. On parle, dans ce cas là, de l'ionisation de la vapeur d'eau.

b) - l'eau n'est pas transformée dans la chambre de réaction mais un effet se produit dans la chambre de combustion. On parle alors de cracking de l'eau par thermolyse lors de la combustion où  $C + H_2O$  donne  $CO + H_2$ . Mais les spécialistes en chimie semblent ne pas être d'accord du fait de l'écart des températures réellement obtenues mais nécessaires en théorie pour une telle réaction.

La thermolyse de l'eau commence à devenir significative vers 750 °C, et elle serait totale vers 5 500° C. La réaction produit du dioxygène et du dihydrogène  $2H_2O \leftrightarrow 2H_2 + O_2$

Mais nous sommes loin de cette température dans un moteur à l'explosion.

c) – l'électro-dynamique-quantique. Pour rapidement résumer ce terme difficile, il s'agit de produire de la vapeur d'eau chargée électriquement grâce à la résonance des bulles d'eau. Cette résonance est due au rayonnement infra rouge émis par tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu. Cette électrification favoriserait la combustion du carburant.

Pour le moment, nous nous contentons d'observer le phénomène et le bon fonctionnement du système. L'explication finira sans doute par être trouvée.

## Expérimentations.

De nombreux défenseurs de l'écologie ont expérimenté des montages basés sur ce principe, dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de réduire la consommation en carburant.

Le dopage à l'eau a fait largement ses preuves d'efficacité ces dernières années. Ces expériences ont apporté les résultats positifs escomptés.

Pourtant, ce système ne se développe pas.

En France, deux cents véhicules (répertoriés) fonctionnent avec ce procédé, plus ou moins modifié selon l'installateur et le type de véhicule. On trouve différentes évolutions du montage sous les noms de G-Track, Vulcano, Spad, eCopro ou encore PMC Geet.

Les véhicules équipés sont des berlines classiques, mais aussi de nombreux utilitaires comme des camions, des fourgonnettes et de nombreux tracteurs. L'économie en carburant constatée varie de 25% à 40% selon les montages et les types de moteurs. La dépollution varie quant à elle de 60% à 91%.

La moyenne d'économie couramment admise oscille autour des 30% et la moyenne de dépollution autour des 82%.

Les résultats obtenus à Cahors correspondent bien à ces moyennes.

## Détail de la formation.

Composition de l'équipe :



De gauche à droite : Alexandre Tornel, initiateur et coordinateur du projet ; Mathias Autesserre, représentant Quercy-Energie ; Dominique Trabalon, responsable de l'atelier mécanique ; Bernard Delfour et Jean Claude Brel, atelier de forge, serrurerie, spécialistes de tous types de soudures et Alexandre Grégoire, ingénieur diplômé de l'ENS-GSI de Nancy (Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels), notre formateur.

Lundi 21 janvier :

Approche de la partie théorique du procédé avec un rappel historique.

A noter que tous les membres de l'équipe connaissaient le procédé ou avaient fait preuve de curiosité et s'étaient bien renseignés par le biais de lectures.

D'où un gain de temps notable. Dès lundi après-midi, nous avons pu préparer directement l'usinage des différentes pièces.

Préparation du réacteur.



Préparation des pièces du réacteur.



Etape intermédiaire.



Préparation du générateur de vapeur.



Le générateur de vapeur dans une section d'échappement.



Vue d'ensemble des divers éléments réalisés en atelier

Mardi 22 et Mercredi 23 janvier :

Monsieur Grégoire nous signale que le choix de la Peugeot 306 est un excellent choix car la place disponible pour y installer un réacteur est extrêmement réduite. C'est un vrai défi de pouvoir placer un tel dispositif dans un espace aussi limité.

En effet, deux jours ont été nécessaires pour caler les éléments constitutifs du système entre le moteur, la cloison pare-feu, la tringlerie de la boîte à vitesses.

Et selon le principe du "qui peut le plus peut le moins", les installations futures sur des fourgons ou des camions ne poseront aucun problème car elles seront moins contraignantes, du fait d'une plus grande place généralement observée sur ces véhicules.

Jeudi 24 janvier :

Installation du circuit d'eau.



Réservoir d'eau dans le coffre de la voiture.



Cuve à niveau constant



Raccordement de tous les éléments (réacteur, générateur de vapeur, réservoir, cuve à niveau constant, canal d'admission, organe de sécurité)

Vendredi 24 janvier :

Le matin : vérification générale du circuit avant la mise en fonction du système. Mesure de la pollution pour comparaison.

Puis test avec la mise en eau du système.



Vérification de sortie de vapeur avant connexion de la durite



Organe de sécurité



Nous avons constaté que la vapeur était bien générée immédiatement à chaque coup d'accélérateur. Le condensat d'eau est bien rejeté : l'organe de sécurité **OS** fonctionne parfaitement. En effet, ce petit dispositif permet d'éviter une projection directe d'eau sous sa forme liquide dans la chambre de combustion et empêche donc l'usure prématurée de la tête de piston.

En effet, voici ce qui arrive aux pistons si le moteur avale des micros gouttelettes d'eau.



Tête de piston piquée par des gouttes d'eau

Après-midi : un test de 81 kilomètres, à pleine charge (4 passagers), a été effectué sur la RN20 et des petites routes de campagne environnant Cahors.

Constat : Pas de surchauffe du moteur.

Le moteur semble émettre moins de cliquetis. Mais pour éviter toute subjectivité, un test audio aux mesures rigoureuses devra être fait.

A noter l'absence remarquable d'odeur désagréable si spécifique à la sortie d'échappement d'un diesel.

De retour au garage, un test d'opacité des fumées d'échappement est fait en statique.



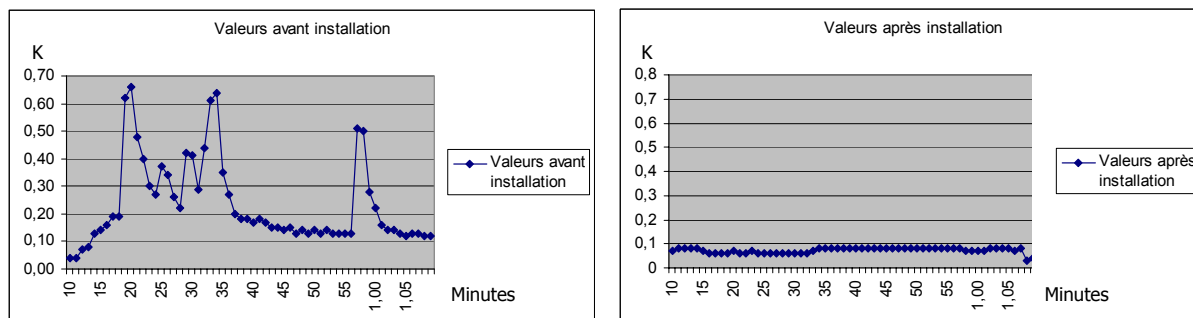
Test AVANT : pic à 0.66 m-1



Test APRES : pic à 0.08 m-1

Durant le test, les valeurs instantanées de K (indice d'opacité) peuvent être lues directement sur l'écran de l'appareil.

Nous avons comparé et relevé les deux enchaînements de valeurs en utilisant les deux vidéos réalisées avant et après installation du système. Voici les résultats sous forme de graphique :



Avant installation du système : valeur moyenne de K : 0,23 m-1

Après installation du système : valeur moyenne de K : 0,07 m-1

Soit une réduction de la pollution de **69,565 %**

## Résultats.

Au 30 mars 2009, après plus d'un an de tests, les résultats observés sont les suivants :

- diminution de la consommation moyenne en carburant stabilisée à 25 % : de 7,42 L/100, on descend à 5,57 L/100.
- réduction de l'opacité des fumées (due aux imbrûlés) de près de 70 %.

Bien qu'il y ait eu plusieurs conducteurs différents avec des styles de conduites dissemblables, la réduction de carburant reste constante en moyenne.

La consommation d'eau est d'environ de 30 centilitres pour 100 kilomètres parcourus.

Il est prévu de mettre en place un dispositif aux ateliers permettant la récupération de l'eau de pluie afin d'économiser l'eau potable.

De plus, l'eau de pluie, légèrement acide, évite l'entartrage du système et permet une meilleure conductibilité de l'eau.

### Qu'avons-nous observé ?

Pendant cette période de tests, des conducteurs ont utilisé cette 306 modifiée pour des petits trajets professionnels en ville et campagne environnante (service Eau et Assainissement). D'autres ont fait de longs trajets d'une seule traite (services Administratifs et Techniques).

**Le système est encore plus efficace quand le véhicule a un régime moteur soutenu et régulier.**

En effet, la chambre de réaction est chauffée plus rapidement et est maintenue à une température haute. La vapeur d'eau est produite régulièrement et en permanence. L'impact environnemental est réel et l'économie en carburant parfaitement constatée.

Projection technique : il faudra trouver un moyen de pré-chauffer le générateur de vapeur très rapidement de manière à augmenter l'efficacité du procédé, dès les premières minutes de roulage.

## Projection.

Cela nous amène à nous pencher sur le choix des véhicules qui peuvent être équipés d'un dispositif de dopage à l'eau.

### Prenons un exemple.

Sachant que le coût d'équipement se chiffre à environ 1 300 euros (matériels, matériaux et main d'œuvre), l'amortissement peut se faire rapidement sur un véhicule qui fait régulièrement des longs trajets d'une seule traite ou qui a un régime moteur régulièrement élevé, tel que les camions bennes à ordures ménagères ou l'hydrocureur.

En prenant pour base une consommation moyenne en carburant de 65 litres au cent kilomètres observés sur une benne à OM et une économie moyenne de 25 % en carburant, généralement constatée sur ce type de véhicule, les économies sont significatives et l'amortissement plus rapide.

Toutefois, les études faites sur les derniers camions utilisés par le service de ramassage des ordures ménagères, nous ont permis de constater un évident manque de place pour l'installation d'un système de dopage à l'eau.

Autre problème technique : les camions étudiés (la plupart neufs ou très récents) sont tous équipés d'un système appelé intercooler. Ce procédé de refroidissement des gaz amenés aux chambres de combustion entraîne un problème de taille : la vapeur se condense et des micro-gouttelettes d'eau vont finir par perforer les têtes des pistons.

Enfin, il faut savoir que techniquement, les véhicules essences et diesels qui sortent de chaînes aujourd'hui sont pour la plupart équipés d'un oxymètre (appelé aussi sonde lambda) qui mesure le taux d'oxygène résiduel dans les gaz d'échappement.

Les informations de ces sondes sont utilisées par les boîtiers de contrôle moteur pour piloter au mieux l'injection de carburant et la combustion.

Le contrôle du taux d'oxygène est devenu un paramètre important du réglage des moteurs à combustion interne ; aussi retrouve-t-on des sondes à oxygène (sondes lambda) sur la plupart des moteurs modernes.



Un oxymètre

Un moteur dopé à l'eau rejette par l'échappement un mélange gazeux qui est beaucoup plus riche en oxygène du fait de la meilleure combustion. Cet avantage indéniable en matière de dépollution devient un problème pour cette sonde lambda.

Elle interprète mal cette valeur inhabituelle pour elle et provoque un mauvais fonctionnement du moteur (trop de carburant ou pas assez, selon le cas).

Il existe des techniciens qui peuvent reprogrammer ces sondes sur les moteurs à essence :

Des contacts ont été pris avec un spécialiste des courses automobiles à Castres : il peut reprogrammer -ou plutôt « leurrer »- les sondes équipant ces moteurs.

Pour les moteurs diesels actuels, le problème est différent. Ils ont deux sondes mais leur fonctionnement est différent des anciennes sondes. De plus, les systèmes d'injection de carburant sont plus complexes que ceux utilisés sur les moteurs essences.

Enfin, les systèmes turbo et haute pression peuvent compliquer encore la tâche du dopage à l'eau, du fait de la pression de l'air générée dans le circuit. C'est difficile, mais pas nécessairement insurmontable.

Pas insurmontable ? En effet : tout dernièrement, des techniciens ont réussi à s'affranchir de ces différentes sondes. Des développements vont donc être observés.

## Que nous reste-t-il à faire ?

C'est une question de choix.

### Le choix économique :

La pollution et la consommation diminuant depuis les évolutions techniques et les normes drastiques de 2000 et 2005, on peut se poser la question s'il est vraiment rentable d'équiper les véhicules diesels neufs. On relève aujourd'hui pour des petites berlines, des consommations en dessous des 5 litres aux 100 kms.

Ceci étant, les prix à la pompe augmentent toujours, et la flotte captive n'est pas composée exclusivement de petites berlines... Alors, choix économique ? Pourquoi pas ?

Il faudra toutefois repenser à la place disponible sous les capots des moteurs d'aujourd'hui.

### Le choix politique : l'avenir de l'homme dans tout cela ?

Qu'en est-il de la réduction de la pollution ? Doit-on se contenter des barrières psychologiques (et fiscales) des 120 grammes de CO2 rejetés ? Non, bien sûr. La pollution existe toujours, même si elle a été réduite.

Le dopage à l'eau réduit énormément la pollution sur les moteurs anciens.

Qu'en serait-il, s'il pouvait être adapté sur des moteurs neufs ? La "norme" des 120 grs de CO2 nous paraîtrait honteusement élevée.

Ne pourrait-on pas imaginer de réduire encore plus, par ce procédé simple, notre dépendance en carburant ?

Le citoyen attend des solutions de la part des constructeurs automobiles, des motoristes.

Par l'exemplarité des communes et par ce type d'opération "hors normes" que mène la Ville de Cahors, un signe fort peut être envoyé à la population et aux industriels de l'automobile.

Pour l'environnement, pour les économies financières générées, pour l'image de la ville, il est intéressant de continuer les études.