

Cette courte note est une synthèse des documentations glanées deci delà, en particulier sur Internet pour un projet de moteur à auto-allumage qui verra peut-être le jour...un jour. Donc c'est livré tel quel, pour simple information.

Un excellent site sur les micromoteurs : <http://modelengineneeds.org/>

Micromoteurs à autoallumage

Ces micromoteurs sont improprement appelés Diesel¹. C'est inexact. Il s'agit de moteurs 2 temps (2T) avec transfert et à autoallumage. Dans un 2T classique le taux de compression tourne autour de 7:1. Dans un 2T à auto-allumage il évolue entre 15:1 et 20:1.

Remarque :

Le rapport entre le volume maximal V_{max} dans lequel est emprisonné le gaz et le volume minimum V_{min} , s'appelle taux de compression.

$$TauxCompression = V_{max} / V_{min}$$

Par exemple si le volume réservé aux gaz au point mort haut (PMH) est de 0,2 cm³ et qu'il soit de 1,5 cm³ en fin de course au point mort bas (PMB) le taux de compression sera :

$$Taux_compression = 1,5 / 0,2 = 7,5.$$

Il ne faut pas confondre le taux de compression qui est un rapport de volumes et le rapport des pressions, initiale et finale. Si la compression est très rapide et qu'en conséquence il n'y a pas d'échange de chaleur entre le mélange carburant et l'environnement extérieur (piston, culasse, cylindre) on peut utiliser la formule

$$P_{finale} = P_{initiale} * TauxCompression^\gamma \text{ avec } \gamma = 1,4$$

Si par exemple on démarre la compression à 1 bar absolu (pression atmosphérique) avec un taux de compression de 15 on aura en fin de compression avant déflagration du mélange une pression de

$$P_{finale} = 1 * (15^{1,4}) = 44,3 \text{ bars (utiliser la fonction } x^\gamma \text{ sur la calculatrice Windows en mode scientifique)}$$

En modélisme les moteurs à auto-allumage sont apparus vers les années 1940 pour réellement prendre leur essor plus tard. Ils demeurent encore populaires dans les pays anglo-saxons.

Ces moteurs avaient, à l'époque de gros avantages :

- puissance rapportée au poids élevée
- poids faible
- très bien adaptés aux petites cylindrées, typiquement quelques cm³.
- plutôt simples à fabriquer mais un usinage très précis de certains sous ensembles critiques.
- facile à mettre en oeuvre (pas d'allumage avec bougie, rupteurs, batterie)
- entretien très réduit
- très grande vitesse de rotation, ce qui est un avantage en aéromodélisme.

Les points négatifs :

- mal adapté aux cylindrées dépassant 5cm³, la limite supérieure semblant être 10 cm³. En cylindrée importante, le moteur est difficile à démarrer de manière conventionnelle, il est

¹ Le cycle de fonctionnement Diesel est particulier. Il y a des moteurs Diesel 4T, 2T, avec un allumage à bulbe chaud, à auto allumage, à chambre de précombustion et sûrement d'autres combinaisons de solution.

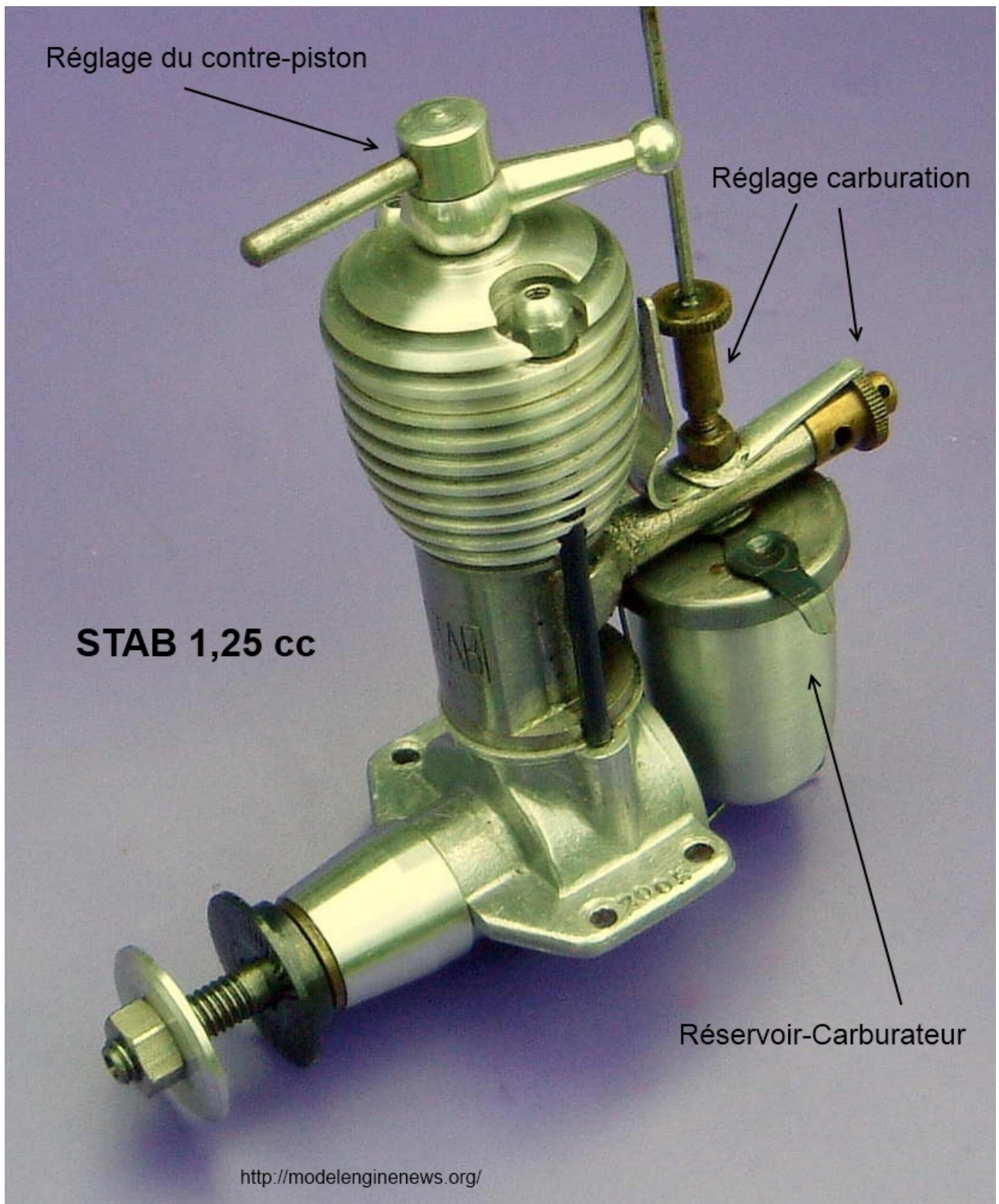
très brutal et les vibrations sont importantes. Apparemment il n'existe pas de multicylindre en auto-allumage, alors que cela existe en glow-plug

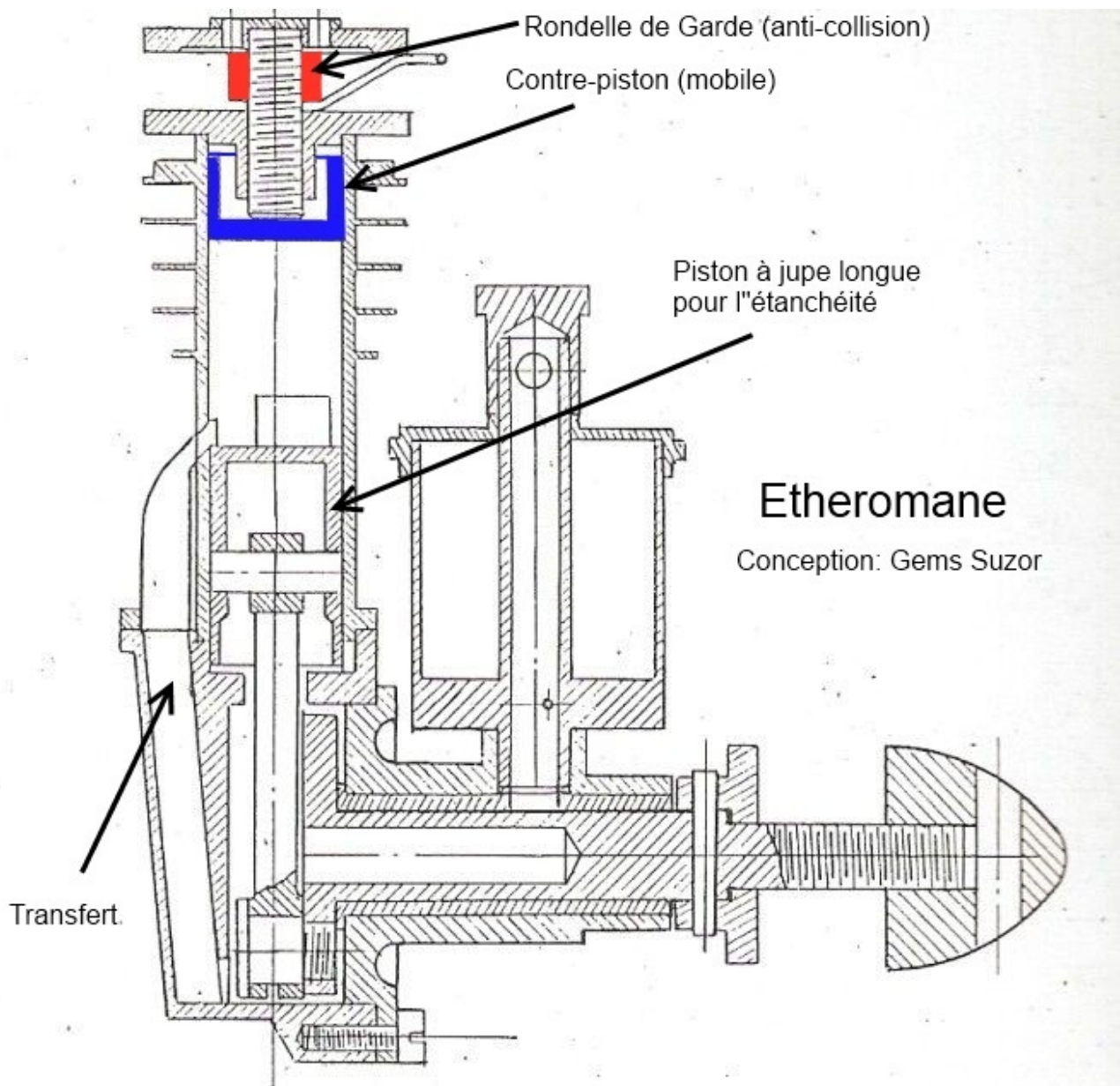
- un manque de modulation de vitesse avec un ralenti très élevé,
- une courbe de couple très « pointue » donc un manque de souplesse en utilisation
- ce sont des moteurs très polluants, de part la composition des carburants avec un taux d'huile avoisinant les 25% et des additifs.
- le carburant contenant de l'éther impose des contraintes de stockage (en bidons métalliques étanches) et de manipulation.
- passage fréquent en régime détonant si l'on met trop d'éther avec bris mécanique
- risque élevé à froid d'apparition du phénomène de « piston liquide » (blocage hydraulique) avec destruction du bas moteur. C'est le carburant qui arrive en masse dans le cylindre sous forme liquide ou bien qui se condense. Les liquides sont incompressibles, donc c'est la casse de bielle et de son maneton en général. Ce phénomène de blocage hydraulique est banal sur les moteurs à vapeur. Pour y pallier les cylindres des moteurs à vapeur sont munis de purgeurs de démarrage et de soupapes de décharge (en tête de cylindre) pour faire face à un blocage hydraulique, en marche, dû à une arrivée inopinée d'eau surpressée entraînée hors de la chaudière par le flux de vapeur.

Compte tenu de ce qui précède, ces moteurs à autallumage étaient d'excellents candidats pour les compétitions de vitesse soit sur l'eau avec des hydroplanes ou bien en vol circulaire.

Les moteurs 2T à auto-allumage sont aujourd'hui tous à **compression variable**. Cette variation du volume mort est obtenue par un contre piston mobile dans le haut de la culasse.

Ci dessous un moteur ancien STAB 1,25 cc.





Remarque :

L'Etheromane ci-dessus a un alésage de $D=12\text{ mm}$ et une course de 17 mm . On notera que la valeur de la course n'est pas trop éloignée de celle de l'alésage ce qui signe en général les moteurs rapides.

PMH=point mort haut ; PMB=Point mort bas

La surface balayée par le piston est de $S_{bp}=3,1459 \times 1,2 \times 1,2/4 = 1,132\text{ cm}^2$

Le volume balayé par le piston $V_{bp} = S_{bp} \times \text{Course} = 1,132 \times 1,7 = 1,925\text{ cm}^3$.

En notant V_{PMH} le volume résiduel au PMH et V_{PMB} le volume total au PMB on peut écrire

$V_{PMB} = V_{bp} + V_{PMH}$ c'est le volume « mort » au PMH augmenté du volume balayé par le piston.

Le taux de compression peut s'écrire $\text{Taux} = (V_{bp} + V_{PMH})/V_{PMH}$.

Une autre manière, plus intéressante, de l'écrire est $V_{PMH} = V_{bp}/(\text{Taux}-1)$

- Pour un taux de compression de 15:1, le volume mort au PMH est de $V_{15} = 1,925/(15-1) = 0,1375\text{ cm}^3$ soit une hauteur libre entre le piston et le contre-piston de $h_{15} = 0,1375/1,32 = 0,104\text{ cm} = 1,04\text{ mm}$

- Pour un taux de compression de 20:1, le volume mort au PMH est de $V_{20} = 1,925/(20-1) = 0,1013 \text{ cm}^3$ soit une hauteur libre de $h_{20} = 0,1013/1,32 = 0,08 \text{ cm} = 0,8 \text{ mm}$

Il suffira d'une descente de $1,04 - 0,8 = 0,24 \text{ mm}$ pour passer d'un taux de 15:1 à un taux de 20:1

- On notera que la variation du taux de compression s'obtient par un faible déplacement, elle est donc très rapidement obtenue. Il faut prévoir une rondelle de garde pour empêcher d'aller trop loin en descente et risquer de faire taper le piston sur le contre-piston.

Comprendre le phénomène d'autoallumage

- Un gaz que l'on comprime s'échauffe ; un gaz que l'on détend se refroidit.

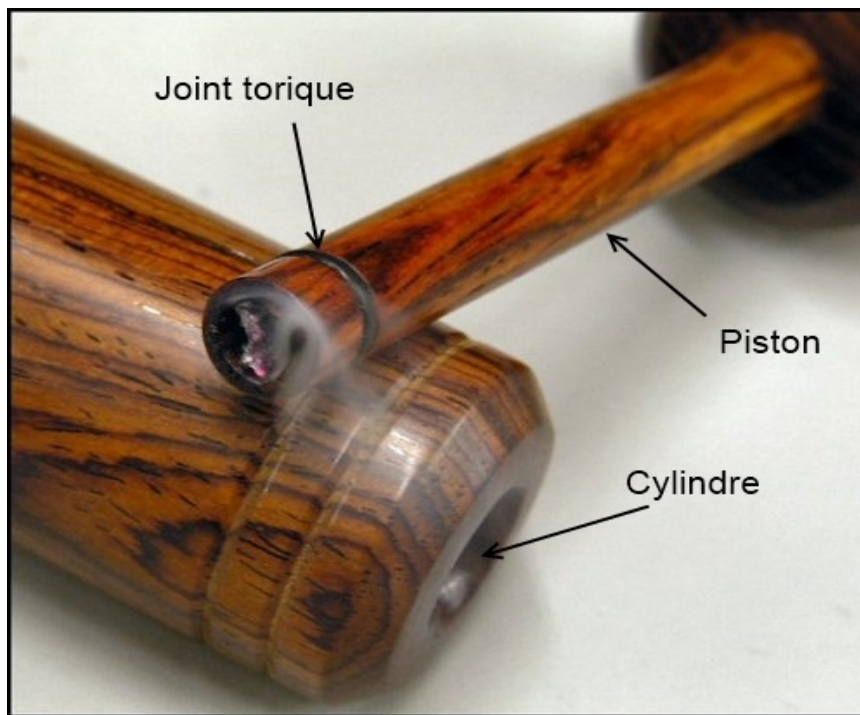
Si la compression est suffisamment rapide, le gaz comprimé n'aura pas le temps de dégager la chaleur² vers son environnement confiné, supposé plus froid que lui. Sa température en fin de compression sera élevée.

Cela a donné lieu, au 19ème siècle, à des inventions comme le briquet à air comprimé³ et ... l'allumage du moteur à cycle Diesel



² Ce type de compression sans échange de chaleur s'appelle compression adiabatique.

³ Briquet pneumatique, briquet adiabatique, *briquet à air comprimé*, briquet à percussion, fire-syringue, fire-piston



Source : http://outdoors.magazine.free.fr/spip.php?page=print_article&id_article=393

Des formules théoriques existent pour calculer la température en fin de compression, mais elles donnent des valeurs beaucoup trop élevées de température car la compression est supposée instantanée et sans aucun échange de chaleur avec l'extérieur.

- On retiendra qu'un taux de compression de 20:1 permet de monter raisonnablement vers 200-300°C pour une durée de compression de l'ordre du dixième de secondes.

A la recherche du carburant idéal

Nota bene :

Cette section n'est pas là pour inciter le lecteur à jouer à l'apprenti sorcier avec des produits dangereux ou à forte écotoxicité. Il est de loin préférable d'adopter la voie de la sagesse en utilisant des produits commerciaux sans transformer son hobby en film d'horreur. L'objectif est d'acquérir une connaissance minimale afin de ne pas faire n'importe quoi.

- Un liquide, en soi n'est pas inflammable. C'est le mélange des vapeurs du liquide dans l'air qui peut former un mélange gazeux inflammable.

Or en règle générale on utilise comme carburants des produits liquides à la température ordinaire. Ces liquides devront donc être vaporisés et cela consomme souvent pas mal de chaleur.

Le **point d'éclair** ou point d'inflammabilité (en anglais : *flash point*) est défini comme la température la plus basse à laquelle un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie

calorifique telle qu'une flamme pilote, mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même. Pour une combustion maintenue sans appoint extérieur, il faut atteindre le **point d'inflammation**. Si l'inflammation ne nécessite pas de flamme pilote, on parle alors d'auto-inflammation. C'est ce qui nous intéresse.

Ainsi, le **point d'auto-inflammation** (*auto-ignition*) est la température à partir de laquelle une substance s'enflamme spontanément en l'absence de flamme pilote. L'expression « point d'allumage spontané » est parfois utilisée.

- ➔ Donc ne pas confondre le **point d'inflammation**, qui est la température pour laquelle la combustion une fois amorcée peut continuer, avec le **point d'éclair** qui est la température pour laquelle un liquide produit suffisamment de vapeurs pour qu'elles s'enflamment momentanément en présence d'une source d'énergie calorifique conventionnelle.
- ➔ on retiendra aussi que le mélange doit se présenter sous forme gazeuse homogène.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est l'énergie thermique libérée par la réaction complète de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, sans récupération de la chaleur de condensation des fumées (chaleur latente) .

Les **limites d'explosivité** d'un gaz ou d'une vapeur combustibles sont les concentrations limites du gaz (dans l'air) qui permettent que celui-ci s'enflamme et explose. L'intervalle d'explosivité est caractérisé par la **limite inférieure d'explosivité** (LIE) et la **limite supérieure d'explosivité** (LSE).

A des concentrations inférieures à la **LIE** le mélange est trop pauvre en combustible pour amorcer une réaction. Au-dessus de la **LSE** c'est le comburant (l'air dans notre cas) qui manque.

Les concentrations sont données en pourcentage du volume dans l'air.

On notera la dangerosité de l'éther, du méthanol et du nitrométhane qui peuvent exploser même en très forte concentration, donc dans un bidon ou à très faible concentration.

Substance	Point éclair °C	Auto-inflammation (°C)	Limite d'explosivité dans l'air	Pouvoir calorifique inférieur (PCI) MJ/kg
Ether (éther di-éthyl)	-45	160 à 180	1,7%-48%	33,4
Kérosène	40 à 55	220	0,6%-4,9%	42,8
Gazole	55 ou moins	257	0,6%-6,5%	44,8
Thérébentine	30 à 46	220 à 255		
Huile de vaseline	180 à 220	290°C		
Butane	-60	287	1,8%-8,4%	49,51

Nitrométhane	35	417	7,3%-60%	11,3
Huile végétale (colza)	280	450		39,1
Méthanol	12	455	6,7-36,5%	19,94
Acétone	-18	465	3%-13%	28,55

Avant de faire des cocktails compliqués, il faut s'assurer que les carburants soient miscibles entre eux. L'essence de thérebentine par exemple n'est que faiblement soluble dans l'éther et dans le méthanol. L'huile de ricin n'est pas soluble dans le kérosène.

Autre point à regarder, c'est la viscosité du carburant qui en ralentit l'écoulement. Par exemple l'huile de colza pure doit être réchauffée vers 70°C pour être suffisamment fluide.

Enfin la stabilité chimique est importante. L'huile de ricin et l'huile de lin polymérisent et se transforment en mastic quasi solide. Elles forment une sorte de vernis très adhérent.

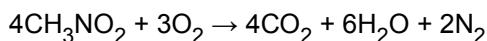
On voit donc des candidats se détacher comme: Ether, Kérosène.

Le nitrométhane est un bien piètre combustible car son pouvoir calorifique est faible. Sa température d'auto-inflammation est trop élevée pour nos petits moteurs à auto-allumage.

Remarque :

Le nitrométhane est utilisé comme carburant pour les véhicules de course, en particulier pour les dragsters, afin de fournir plus de puissance. Il est également utilisé comme comburant, pour donner un « apport » indirect en oxygène dans les moteurs thermiques de voitures et avions radiocommandés. Dans ces deux cas, il est souvent simplement surnommé « *nitro* ».

L'oxygène contenu dans le nitrométhane lui permet de brûler avec beaucoup moins d'apport d'oxygène atmosphérique que d'autres hydrocarbures, comme l'essence par exemple. La réaction de combustion est la suivante :



14,6 kg d'air sont requis pour la combustion d'un kilogramme d'essence, mais seulement 1,7 kg sont requis pour 1kg de nitrométhane. Comme le cylindre d'un moteur ne peut contenir qu'une quantité limitée d'air à chaque cycle, on peut donc brûler 8,7 fois plus de nitrométhane que d'essence. Cependant, le nitrométhane a un pouvoir calorifique très inférieur à celui de l'essence : 11,3 MJ/kg pour le nitrométhane contre 42 à 44 MJ/kg pour l'essence. Ceci permet de déduire que le nitrométhane génère environ $(8,7 \cdot 11,3) / 42 = 2,3$ fois plus d'énergie que l'essence lorsqu'il est combiné avec un volume d'air donné.

Quelques mots sur les composants

Ether

L'éther en lui-même est un carburant assez moyen. Le problème est qu'il détone de façon imprévisible ce qui peut détruire le moteur. La fonction principale de l'éther dans les moteurs à auto-allumage est d'abaisser le point d'inflammation du mélange carburant. De ce fait il permet de diminuer les taux de compression, ce qui est toujours intéressant.

Une autre fonction de l'éther est de permettre de dissoudre l'huile de ricin et le kérosène sans additifs spéciaux.

L'éther pur est dangereux à manipuler, il s'enflamme et/ou explose à la moindre flamme (voir limites d'explosivité) et cela à la température ordinaire. Comme l'éther s'évapore rapidement il doit être conservé dans des bidons métalliques étanches. Le mélange est transvasé juste au moment de l'utilisation.

Il faut être prudent car l'éther est un solvant puissant de nombreuses substances, il peut aussi modifier et attaquer certaines matières plastiques. Il met à mal, assez rapidement, les tuyaux silicones ordinaires utilisés comme durite d'essence.

Il est aussi chimiquement très réactif et, exposé à la lumière il forme avec l'oxygène de l'air des peroxydes très instables avec risques explosifs.

Le fait qu'il soit mélangé à du kérosène et à de l'huile applanit bon nombre de ces problèmes.

Enfin, l'éther pur est difficile à se procurer, non seulement à cause de pratiques toxicomaniaques mais surtout à cause des risques cités. Les modélistes américains utilisent du liquide de démarrage pour moteurs à combustion interne. Ce liquide contient de 50 à 80% d'éther. On le trouve souvent, dans les auto centers, en bombe aérosol à pulvériser dans l'entrée du filtre à air.

Kérosène

Le kérosène est le carburant de base du mélange. Il va fournir une grande partie de l'énergie calorifique. Contrairement à l'éther le kérosène a une allure de combustion régulière et « lente » (mode de déflagration). Le kérosène est très proche du carburant Diesel vendu dans les stations service. Le carburant Diesel peut très bien remplacer le Kérosène. De la même manière on peut utiliser le combustible pour poêle à pétrole. Plus on ajoute de kérosène plus il y a d'apport calorifique et donc de puissance massique sur le moteur. La contrepartie ce sont les risques de surchauffe et de serrage du moteur et bien sûr l'obligation d'augmenter le taux de compression pour atteindre le point d'auto-inflammation. L'expérience montre que l'optimum se trouve entre 40% et 45%.

Huile

Le type d'huile à utiliser est un sujet de discussion sans fin.

L'huile dans les micromoteurs a trois fonctions à assurer :

- la lubrification au démarrage et en fonctionnement. Elle doit donc résister en température pour conserver ses propriétés lubrifiantes.
- l'étanchéité entre le piston et le cylindre via un film très mince. La viscosité, l'adhérence et la résistance au déchirement du film d'huile sont cruciales. En effet les micromoteurs « Diesel » sont à piston lisse, car les segments trop fins seraient difficiles à usiner et très fragiles en fonctionnement. Et un segment qui casse à plein régime.....
- la protection contre la corrosion lors des phases de stockage du moteur en période d'inutilisation. A ce titre certaines huiles sont franchement à écarter car elles contiennent des additifs, dont des détergents, qui peuvent littéralement détruire des pièces en aluminium. On cite souvent qu'il faut absolument proscrire les huiles de boîte de vitesse ou certaines huiles pour la compétition automobile vrai grandeur...à vérifier

Pour les 2T à auto-allumage, les pressions élevées et le fonctionnement proche du régime de détonation exercent des efforts très importants sur les paliers et les roulements. Comme, dans les moteur 2T de base, la lubrification et une partie du refroidissement viennent du mélange carburant.

Ainsi pour ces moteurs à auto-allumage, on aura la main lourde sur l'huile. Une tronçonneuse thermique fonctionne parfaitement avec un mélange à 4% d'huile alors que pour les 2T à auto-allumage on navigue entre 20 et 25% d'huile.

Une petite partie de cette huile est brûlée mais l'essentiel est évacué par l'échappement. On imagine aisément le « carnage » sur un fuselage d'avion ou une belle coque vernie et finement poncée et peinte en 20 couches successives. Il est aussi de première importance que l'huile qui s'accumule à l'intérieur du moteur ne polymérise pas sous forme d'un mastic quasi impossible à éliminer.

- Si l'huile de ricin a de nombreuses qualités, à défaut, le choix assez souvent recommandé pour la simplicité est l'huile 2T spéciale vendue dans les vrais magasins pour motoculture et utilisée dans les tronçonneuses, tailles-haie et débroussailleuses avec moteur thermique 2T.

Additifs

Les fabricants ajoutent probablement un certain nombre d'additifs tenus secrets, ne serait ce que pour la stabilisation et la conservation des mélanges. Il en est cependant une catégorie qui est constamment présente, ce sont les initiateurs d'inflammation.

Les produits utilisés sont souvent les mêmes que ceux ajoutés au carburant Diesel de nos automobiles. Leur rôle est double : abaisser le point d'auto-inflammation et surtout réduire le temps entre le moment où la température d'auto-inflammation est atteinte et le moment où la combustion se déclenche réellement. Ils sont ajoutés à proportion de quelques % et facilitent grandement le démarrage à froid. Ils permettent par contrecoup de diminuer, en régime établi, le taux de compression. En plus grande proportion que quelques %, le fonctionnement du moteur devient erratique et incontrôlable, le mélange s'allumant en dehors du diagramme de distribution prévu.

Voici les deux ténors de la catégorie.

Isopropyl nitrate (IPN)

Surtout utilisé en Europe.

(IPN, 2-propyl nitrate) est un liquide incolore qui est utilisé pour améliorer l'indice de cétane du carburant Diesel. Il a un point éclair à 22°C. C'est un explosif de faible sensibilité dont la vitesse de détonation est de 5400 m/s.

Il est utilisé dans la propulsion de moteurs fusées en monocomposant. C'est un liquide très inflammable qui brûle avec un flamme quasi invisible. Les produits de sa combustion, c'est à dire ses fumées mélangées à l'air sont explosibles !

Nitrate d'amyle

Surtout utilisé au USA. Mauvaise odeur, paraît-il, des produits de décomposition après combustion.

Le nitrate d'amyle est utilisé comme additif dans le carburant diesel pour automobiles, où il sert d'améliorateur d'inflammation en déclenchant très tôt l'allumage du mélange.

Le nitrate d'amyle est un toxique dangereux .

Mélange de carburant pour moteurs « Diesel »

Gems Suzor cite un exemple de « cocktail effarant » proposé par le constructeur suisse du moteur Dyno vers 1936.

Pour 100 ml

Pétrole lampant : 24

Essence de thérebentine : 24

Huile de paraffine : 24

Ether sulfurique (appelé aujourd'hui éther di-ethyl) : 13

Huile minérale de graissage : 15

Gems Suzor proposait dans les années 1946 un mélange par tiers : Ether, Pétrole lampant, Huile minérale. Pas mal vu ! On est très proche des carburants modernes. Le pétrole lampant est un kérosène.

A titre d'exemple on voit ci-dessous les formules proposées par un fabricant industriel

http://www.modeltechnics.com/diesel.htm	Ether	Kerosène	Huile de ricin	Isopropyl nitrate
D1000 pour moteur jusqu'à 1,5 cm ³	35,00%	35.00%	28,00%	2.00%
D2000 pour moteur de plus de 1,5 cm ³	30,00%	43.75%	24,00%	2.25%
D3000 moteur compétition > 14 000 trs/mn	30,00%	47.50%	20,00%	2.50%

A partir d'un mélange moyen et du type de moteur que vous utilisez , des ajustements à la marge peuvent être réalisés pour le fonctionnement en période froide ou en période chaude. Par exemple en période chaude il est conseillé d'ajouter de 2 à 3% d'huile au mélange de base ; cela améliore considérablement le fonctionnement moteur.

- ➔ Les mélanges commerciaux permettent de faire tourner sans peine ces moteurs avec un taux de compression de 15:1 à 18 :1.

Démarrage des moteurs à auto-allumage

Beaucoup déconseillent formellement le démarrage au démarreur électrique qui serait la cause de nombreux blocages hydrauliques dont il a été question en tout début du document dans les paragraphes consacrés aux inconvénients. On procède au démarrage au doigt (avec un protège doigt!). Un morceau de tuyau d'arrosage bien épais s'ajustant sur le doigt est souvent conseillé.

Au dire des utilisateurs chaque modèle de moteur à sa « personnalité » et ses petits caprices, mais pour un moteur rodé on retrouve des principes assez généraux.

On part d'une compression basse disons 15:1 pour l'augmenter très progressivement jusqu'au démarrage franc. Si à 20:1 il n'y a aucun démarrage c'est qu'il y a un problème : le carburant n'arrive pas, le mélange air-carburant est incorrect, le carburant est de mauvaise qualité (trop vieux par exemple), il y a un manque d'étanchéité sur la compression.

- Ne pas noyer le moteur. Pour dé-noyer, fermer le pointeau et sécher le moteur en tournant l'axe de vilebrequin.

- En cas de retour violent ou de blocage hydraulique baisser la compression en manoeuvrant la vis de réglage d'1/4 de tour. Tourner lentement l'axe de vilebrequin

Marche à suivre conseillée

1. Régler la vis pointeau d'alimentation. Si le moteur est un moteur du commerce le constructeur aura précisé tout cela
2. Boucher l'arrivée d'air et faire 2 tours moteurs complet.
3. Aller sur la compression et lancer l'hélice d'un coup sec
4. Si au bout de 6 à 8 lancers successifs rien ne se passe, augmenter légèrement le taux de compression (environ 1/8 de tour à la vis du contre piston). Boucher l'arrivée d'air et faire un tour complet, puis lancer l'hélice d'un coup sec. Et ainsi de suite.
5. Quand le moteur commence à se réveiller, augmenter peu à peu la compression jusqu'à un fonctionnement stable.
6. Augmenter alors progressivement la compression, jusqu'à lui faire atteindre son régime maxi. Baisser alors légèrement la compression pour obtenir un fonctionnement régulier et doux. Faire fonctionner un moteur à très haute compression n'apporte pas d'avantages mais une usure prématurée.

Le rodage suit en gros le même principe que celui de tous les micromoteurs avec un peu plus de précautions et de palier d'arrêts compte tenu des ajustages serrés de ces moteurs. Pour les moteurs de moins de 3 cm³ totalement neufs il faut compter 1 heure de fonctionnement en rodage avec un mélange riche, les premières étapes étant cruciales.