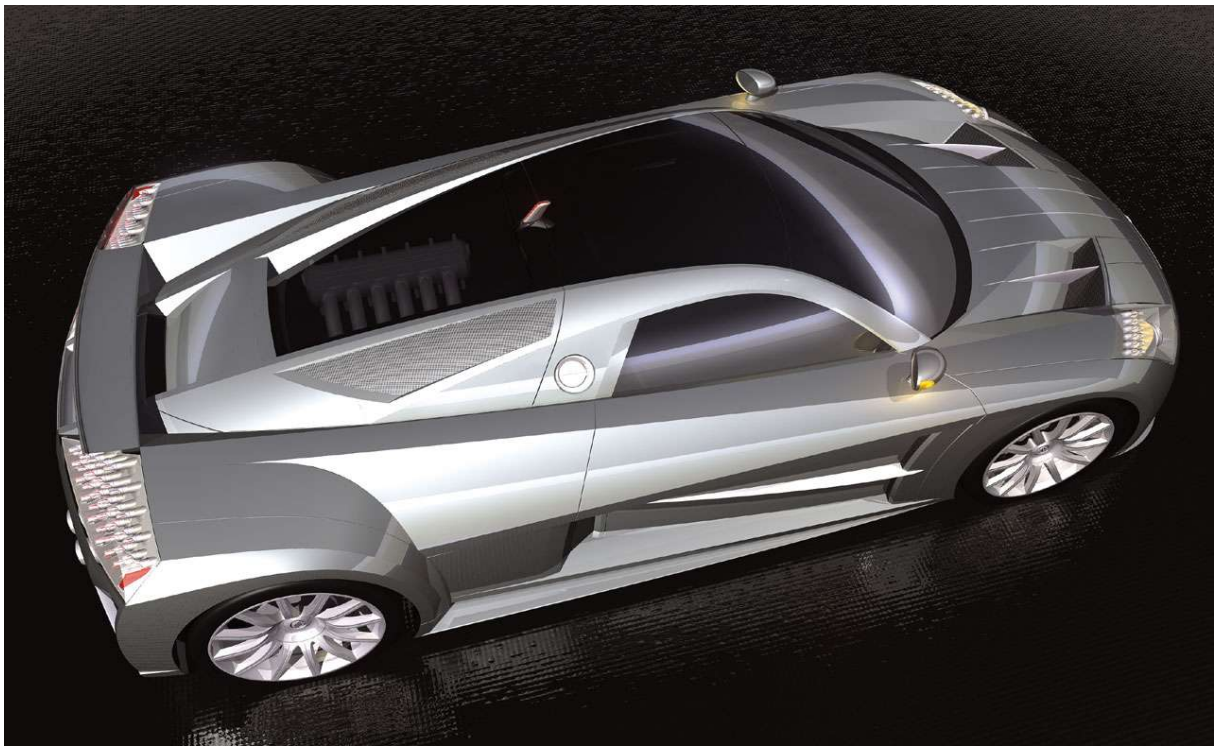
TRAVAUX PERSONNELS ENCADRES

Thème : Modèle, modélisation

ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UNE VOITURE DE GRAND TOURISME



SOMMAIRE

PRÉSENTATION **3**

ENERGIE **4**

Vecteur d'énergies 5
Carburants 8
Autre 11
Bilan 12

MOTEUR **13**

Electrique 13
Essence 19
Points supplémentaires 29
Bilan : l'hybride 33

TRANSMISSION **35**

Embrayage 35
Boite 37
Différentiel 39
Bilan 39

LIAISONS AU SOL **40**

Roues 40
Direction 41
Châssis 43
Suspensions 44
Bilan 49

CELLULE **50**

Confort/Aides diverses 50
Commandes : 52
Sécurité : 54
Vision : 55
Conception générale : 59
Bilan 62

AÉRODYNAMIQUE **62**

L'effet de sol 62
Les surfaces d'appui 63
Bilan 66

CONCLUSIONS **66**

Site pédagogique Eduscol : http://eduscol.education.fr/D0050/modeles_modelisation.pdf

Le modèle comme outil d'anticipation	• Les outils d'estimation : sondage, statistique • Les prototypes • Prévision, simulation en météorologie, dans le domaine spatial, en « mécanique céleste » : éclipses, météorites… • Prévisions en économie, en politique… • Processus aléatoire, simulation ***enseignements artistiques, histoire-géographie, lettres, mathématiques, physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre***

Direction de l'enseignement scolaire - Bureau du contenu des enseignements - **Thèmes TPE - Classe de première** - Page 2 sur 3

Présentation

Les voitures de grand tourisme sont des ensembles mécaniques complexes. C'est pourquoi l'innovation est si difficile à apporter et cela explique leur prix important et leur rareté. Afin d'essayer de prévoir les innovations futures et le fonctionnement général des GT de demain, nous allons nous servir de la modélisation prospective. Ainsi, après avoir étudié le principe général de fonctionnement des concept-cars et GT d'aujourd'hui et analysé quelques innovations comme les nouvelles suspensions Bose à moteur linéaire, nous avons utilisé une voiture de course thermique au 1/5e qui reprend les solutions et technologies principales aujourd'hui employées et nous avons essayer d'imaginer si les solutions innovantes pourraient en remplacer d'autres, plus anciennes mais plus étayées et développées jusqu'à leurs limites, en ayant, à niveau égal de développement, de meilleures performances.

Problématique :
Comment devraient fonctionner les voitures de grand tourisme de demain ?

Energie

La base du mouvement provient d'une source d'énergie. Celle-ci peut avoir plusieurs formes : électricité, liquide inflammable ou gaz, air compressé, ou même plusieurs en même temps. La base de consommation, pour un véhicule de cette catégorie, est d'environ 20 litres aux 100 kilomètres en moyenne, pour une autonomie de 350 kilomètres. C'est-à-dire qu'il faut compter un réservoir de 70 litres d'essence « traditionnelle ».

Le Shell Eco Marathon

La compétition où l'on peut trouver le plus d'information sur les énergies du futur semble être le Shell Eco Marathon. Course au meilleur rendement énergétique, il propose en effet, depuis vingt ans, un véritable défi aux participants venus du monde entier. Cette année, 227 équipes de 18 nationalités différentes relèvent ce défi et verront aboutir leur projet sur le circuit de Nogaro dans le Gers.

Le Shell Eco marathon accueille des véhicules utilisant le supercarburant (157 véhicules), le gazole (25), le GPL (16) ou des énergies alternatives (29) comme l'hydrogène, le solaire, l'alcool et les biocarburants. Pour cette édition, les piles à combustible (PAC) ont de nouveaux adeptes. Les véhicules utilisant l'énergie solaire sont également plus nombreux.

Alors que le principe du Shell Eco marathon récompense le rendement énergétique des véhicules, cette année, un nouveau prix spécial est proposé aux participants : le Prix "Equation : climat". Il distinguera le véhicule d'une équipe dont les émissions de gaz à effet de serre, associées à la fabrication comme à l'utilisation du véhicule, sont les plus faibles. Ce nouveau trophée complète ainsi la démarche "globale" du projet Shell Eco marathon, qui au-delà de l'efficacité énergétique, souhaite promouvoir une vision durable de la mobilité et du transport. On peut donc voir ici que la tendance à venir sur les véhicules sera de réduire, non seulement la consommation, mais également les émissions de gaz à effet de serre.

Quel véhicule, quelle énergie emportera ce premier trophée ? On ne peut le prévoir, cependant le résultat est à prendre en compte, car les nouvelles énergies telles que PAC ou solaire semblent faire l'objet d'une concurrence accrue, signe d'une prochaine utilisation possible sur tout véhicule. Si l'une de ces énergies remporte la victoire, on peut imaginer que les futures PAC puissent remplacer le traditionnel réservoir à essence, à gasoil, ou à GPL.

Le Shell Eco marathon, propose trois rendez-vous au cours de la saison 2005 : le premier sur le circuit de Nogaro (Gers France), le deuxième sur les pistes du Centre de Technologies de Michelin (Clermont-Ferrand France), le troisième enfin sur l'anneau de vitesse de Rockingham (Grande-Bretagne). Preuve de la polyvalence que doivent avoir les machines pour remporter la compétition. Vitesse, rendement des roulements, des pneumatiques, des suspensions, allégement (utilisation de matériaux ultralégers) sont donc les maîtres mots d'une compétition prospective automobile.

Vecteur d'énergies

Pile à hydrogène :

Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une pile à combustible est le principe inverse de l'électrolyse de l'eau. Ainsi, là où l'électrolyse de l'eau la dissocie en ses éléments constitutifs : hydrogène et oxygène, la pile à combustible les réunit électrochimiquement pour produire de l'électricité, rejetant ce faisant de l'eau (ou plutôt de la vapeur d'eau, car la plupart des piles à combustible fonctionnent à une température d'environ 80°), et sans la moindre émission polluante si l'hydrogène employé est pur.

Cette réaction s'opère au sein d'un assemblage composé de deux électrodes séparées par un électrolyte, il peut-être liquide, mais il est le plus souvent solide, on le désigne alors sous le terme de membrane.

Avantages :

Quasi-absence de pollution sonore : une pile à combustible au maximum de sa puissance n'émet aucun bruit. Conjugué à un ou plusieurs moteurs électriques, la pile à hydrogène a donc l'avantage de laisser au conducteur le loisir de conduire sans perturbations sonores autres qu'aérodynamiques. Absence totale de tous gaz d'échappements et d'émissions toxiques : le seul sous-produit du fonctionnement d'une pile à combustible est de l'eau pure (équivalente à l'eau déminéralisée). C'est un avantage majeur dans ce siècle où la chasse à la pollution s'amplifie.

Abondance de l'hydrogène : on n'en trouve pas à l'état naturel, mais on en trouve dans les hydrocarbures, ainsi que dans l'eau et donc dans tout ce qui est vivant. Ajout indéniable face à l'essence qui va se raréfier de plus en plus ces cinquante prochaines années.
Pour une production à grande échelle, la solution la plus viable est l'électrolyse. Il n'y a dans ce cas aucune pollution si l'électricité de départ a été fournie par une énergie verte.

Inconvénients :

Dangerosité de l'hydrogène : c'est un gaz inflammable et détonnant. Pour cette raison, beaucoup de constructeurs (et des chercheurs partout dans le monde) travaillent à trouver une astuce chimique qui convertirait l'hydrogène, gaz inflammable, en un liquide inoffensif, facile à stocker et à distribuer, et qu'un dispositif intégré à la voiture, un reformeur, retransformerait ensuite en hydrogène au fur et à mesure des besoins de la pile à combustible.

Autres : rendre la voiture encore plus complexe, en lui ajoutant un système de transformation chimique d'un produit liquide en un gaz devant fonctionner en temps réel (la quantité d'hydrogène délivrée devant augmenter immédiatement quand le conducteur appuie sur l'accélérateur). La dangerosité de l'hydrogène peut heureusement être circonscrite par des normes d'usage rigoureuses, c'est vraisemblablement là qu'est la solution. Cependant on peut noter que sur un véhicule de course, les normes d'usage tendent à proscrire l'usage de substance dangereuse (GPL et autres), car un accident à haute vitesse ne peut préserver un réservoir même hyper protégé. Sur un véhicule de course à PAC, la solution serait donc bien d'utiliser un produit liquide donc l'hydrogène serait extrait par un reformeur léger et compact.

Le coût n'étant pas un problème important dans une auto de compétition dont les prix sont déjà d'au moins 100 000 € pièce.

Accumulateurs :

Batterie :

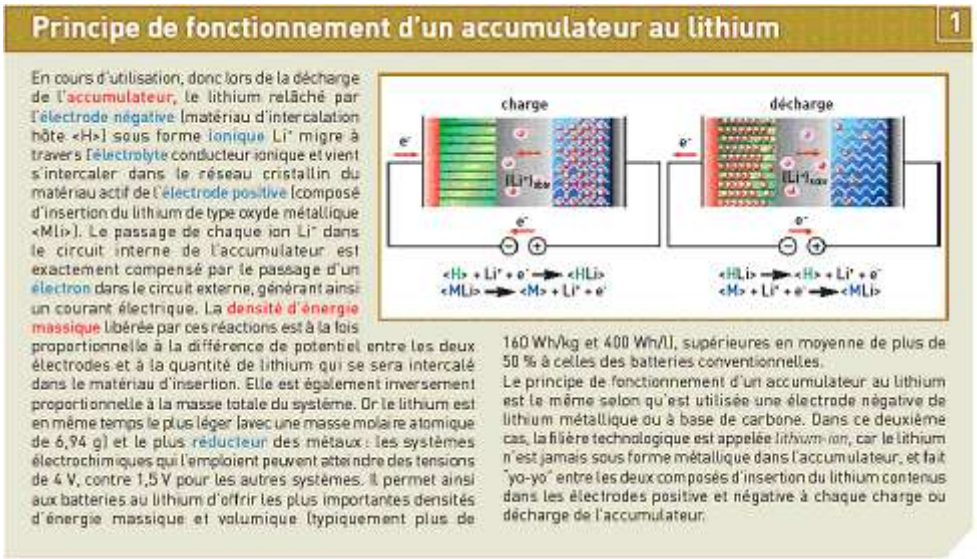
Les batteries lithium ion possèdent une meilleure énergie massique, une plus grande durée de vie que les autres types de batteries, elles ne nécessitent pas de maintenance et la tension par élément est plus élevée. Les accumulateurs lithium ion actuels, basés sur une technologie de type cobalt/graphite, sont de loin, ceux qui présentent les meilleures performances en terme de densité d'énergie massique et volumique, respectivement 150 à 170 Wh/kg et plus de 400 Wh/l.

Il existe différents types de batteries :

Li-Ion ou Lithium-Ion : Désigne le type de batterie le plus performant actuellement commercialisé en quantité. Offre un meilleur rapport masse / encombrement / capacité que les batteries NiMh.

NiCad ou Nickel Cadmium : Désigne le type de batterie le moins performant. Technologie ancienne en voie de disparition.

NiMh ou Nickel Metal Hybride : Désigne le type de batterie le plus communément utilisé dans les voitures électriques. Rapport masse / encombrement / capacité moyen.



Super condensateur :

Condensateur à double couche utilisé pour emmagasiner de l'énergie électrique, et qui pourrait à terme remplacer les batteries courantes car possède l'avantage de se recharger beaucoup plus rapidement. Autre atout, un super condensateur peut fournir si besoin est un courant de très très forte puissance, même s'il se décharge alors en quelques secondes.

Bilan : l'utilisation de batteries est possible déjà actuellement, les dernières générations ayant d'ailleurs un très bon rendement. On se dirige vers des batteries vraiment très légères et performantes : les super condensateurs sont capables de se recharger très vite (inconvénient majeur des anciennes batteries), sont légers et peuvent fournir une très grande puissance si besoin est : ils sont plus adaptés à une utilisation sur voiture que les batteries et

devraient donc permettre aux accumulateurs d'avoir leur place ces prochaines décennies dans les GT.

Solaire :

Intro : Quelques idées sur l'énergie solaire que reçoit une GT : Les bases de ces calculs sont issues des travaux du Centre National d'Etude des Télécommunications (CNET) de France Télécom qui a le savoir-faire en dimensionnement des stations solaires très fiables par exemple pour l'alimentation permanente des réémetteurs radio. Les données de base sont les recueils ou cartes de météorologie mondiale qui fournissent des données statistiques d'ensoleillement. Les données concernant les générateurs solaires sont celles des constructeurs confirmées par l'expérience.

Données : A nos latitudes, pour une orientation quasi-perpendiculaire au zénith, l'énergie annuelle moyenne recueillie est de 2,5 kWh par m² et par jour. Compte tenu d'un rendement de 14 % pour les cellules photovoltaïques en silicium cristallin (soit 12 % pour le panneau), 1 m² de panneau solaire a une puissance de 100 W et fournit une énergie de 2,5*0,12*365 = 110 kWh par an. Compte tenu des pertes lors du stockage dans les batteries et la restitution, on récupère 80 à 90% de cette énergie. Soit 90 à 100 kWh par an. Si l'on considère la surface supérieure d'une GT de dimensions « habituelles », hors cockpit, on obtient environ 10m². Des panneaux couvrant la totalité de la surface auraient donc une puissance de 1000 W, soit moins de 1,5 ch. ! Et la puissance fournie en un an serait de 900 à 1000 kWh.

Exploitation : Un bon moteur a un rendement a 90%. En considérant un moteur de 560 ch., c'est donc une puissance électrique de 625 ch. qu'il faut fournir au moteur. En utilisation maximale, c'est donc 460 kWh que le moteur consomme chaque heure. Avec un panneau solaire recouvrant toute la surface de la machine, c'est donc l'équivalent de 2 heures de consommation que l'on produit en un an. C'est-à-dire qu'avec un usage peu intensif (10% de la puissance), c'est seulement 20 heures d'autonomie que la voiture aurait.

On peut cependant donner 4 pistes qui pourraient faire émerger le solaire : le développement des panneaux solaires, qui pourraient voir leur rendement largement décuplé (d'après des informations qui restent encore à confirmer : jusqu'à 50% dans les prochaines décennies). L'utilisation d'un dispositif de récupération de l'énergie de freinage, qui pourrait atteindre 80%. Cependant on ne peut estimer l'influence des frottements avec l'air (qui dépendent principalement de la forme, de la surface frontale et de la vitesse du véhicule). On considérera une résistance nulle de l'air : c'est donc 80% d'énergie en moins qui devraient être produit. En usage intensif c'est donc 4 fois plus d'autonomie (pour l'amélioration des panneaux solaires) et 5 fois plus encore grâce au « frein moteur » électrique. Ce qui amène à 40 heures intensives produites chaque année, et 400 heures à 10%, ce qui parait plus réalisable, mais encore peu.

Conclusion : on peut donc estimer que le solaire, plutôt que d'encombrer le peu d'espace disponible et d'alourdir la voiture, devra plutôt se borner à un usage de production de l'électricité embarquée ensuite sur la voiture (chargement des batteries ou du supercondensateur, électrolyse pour fabriquer l'hydrogène). L'usage de panneaux solaires nécessitant un stockage de toute façon, autant les laisser sur les lieux de production où ils ont leur rendement maximum et ravitailler en électricité quand c'est nécessaire sur les lieux de production.

Carburants

On confondra dans cette partie essence et gasoil sous les termes essence, essences de pétrole, hydrocarbures, …

Biocarburants :

Ce sont des carburants obtenus par conversion des biomasses végétales. Ces carburants peuvent être substitués aux hydrocarbures, leur tort est d'être plus coûteux à produire (par rapport au coût de pompage et de raffinage du pétrole, qui est très bas), et rejettent quasiment autant de CO_2, mais leur atout est que ce dioxyde de carbone est celui que les plantes ont absorbé lors de leur croissance.

A quelques pertes près, les biocarburants sont donc neutres du point de vue de l'émission de gaz à effet de serre, et un autre atout est que l'usage de biocarburants permettraient de réduire la dépendance énergétique vis-à-vis de l'étranger, car ils peuvent être produits en France (en créant des emplois en zone rurale), mais ce qui bloque aujourd'hui leur développement est le flou qui entoure leur fiscalité. Après qu'un producteur ait été poursuivi en justice pour usage de carburant sans autorisation, et non acquittement de la Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers (à laquelle l'huile végétale brute qu'il produisait avait été assimilée), les entrepreneurs n'ont plus envie de prendre des risques, mais on attend une décision de Bruxelles pour venir retourner cette situation. Et à Paris aussi, la situation est en train de changer, plusieurs projets sont aujourd'hui en cours sur le territoire français. On pense que c'est eux qui remplaceront l'essence lorsque celle-ci sera trop rare ou trop montrée du doigt. Ils pourront éventuellement contenir des additifs « non bio » (en faibles proportions) pour améliorer leurs performances si besoin est (comme actuellement dans les essences normales : cf. § - additifs divers). Leur utilisation pourrait être couplée, comme dans les moteurs hybrides de maintenant, à un vecteur d'énergie telle la pile à hydrogène.

Après d'aussi importantes recherches que pour les essences de pétroles, ses performances pourraient égaler ces dernières.

Essence :

Le carburant du passé, du présent, et de l'avenir à court terme, et ce avec d'autant moins de peines que les pétroliers ont depuis 30 ans réalisé un travail considérable de « dépollution » de l'essence. Le plomb a disparu, le benzène est sur la même voie.

Mais la plus grande difficulté à laquelle les pétroliers sont aujourd'hui confrontés est de faire un nouveau carburant que puisse supporter les vieilles autos toujours en circulation. Ce souci écarté, donc en commercialisant un carburant qui ne serait pas accepté par une vieille voiture, une essence 25% moins polluante que celle d'aujourd'hui est possible tout de suite : Elf l'avait montré avec son produit « Optane Evolution », ce carburant a malheureusement été abandonné lors de la restructuration qui a suivi la fusion avec Total, mais le carburant « Optane », d'Elf est l'un des plus propres du marché.

Ce carburant a l'avantage d'avoir bénéficié de beaucoup de recherches pour améliorer ses performances (puissance, pollution), cependant ses ressources sont limitées, on ne peut

donc pas imaginer la poursuite de son utilisation dans un avenir à moyen ou long terme. Cependant les biocarburants pourront les remplacer dans les moteurs à essence actuels.

Gaz naturel :

Composé essentiellement de méthane, le gaz naturel est le moins polluant de tous les carburants pouvant se substituer à l'essence. Il est plus propre que le GPL car il produit moins d'oxydes d'azote, et il est aussi moins dangereux, car plus difficile à enflammer, mais le méthane étant un important gaz à effet de serre, toute déperdition à la production, ou lors de la distribution est plus néfaste qu'avec tout autre carburant.

Tout véhicule peut être converti pour fonctionner au gaz naturel, la transformation est comparable à celle pour le GPL, et c'est aujourd'hui près de 400 000 véhicules qui ont adopté ce carburant en Europe. On dénombre 26 stations en Suisse, plus de 300 en Italie, près d'une centaine en Allemagne, on peut aussi en trouver plusieurs au Danemark, et BMW, Citroën, Fiat, Ford, Iveco, Mercedes, Renault, Toyota et Volvo fabriquent en série régulière des autos étudiées pour ce carburant.

En France malheureusement, les quelques stations qui distribuent du gaz naturel ne sont en principe pas accessibles aux particuliers, et ne servent que pour des flottes captives. La faute résidant essentiellement dans le monopole de GDF sur la distribution du gaz naturel.

Gazole :

Le gazole est le carburant le plus polluant du marché. Il s'est heureusement bien amélioré récemment de par l'action des pétroliers qui ont su l'alléger de ses composants les plus nocifs, mais sa combustion libère toujours des particules particulièrement nocives, d'où l'invention de filtres pour les recueillir. Dans un véhicule ainsi équipé, le gazole n'est quasiment pas plus polluant que l'essence, avec l'avantage supplémentaire d'être plus énergétique (un moteur diesel consomme moins qu'un moteur à essence).

A côté du gazole dérivé du pétrole, il est possible de fabriquer du gazole à partir de gaz naturel (procédé de synthèse de Fischer Tropsch), mais la transformation étant coûteuse, polluante et complexe, on ne l'emploie que dans les pays qui possèdent d'importants gisements de gaz naturel (mais pas de pétrole).

GPL :

Ce carburant a été très en vogue aux Pays-Bas, en Belgique et en Italie dans les années 70 et 80, jusqu'à ce que l'on découvre la supériorité du gaz naturel. Mais en France, de par un parc installé conséquent, une taxation avantageuse, et la lenteur des politiques à s'engager sur la voie du gaz naturel, le GPL a encore un bel avenir devant lui.

Composé théoriquement à parts égales de butane et de propane, ces proportions, varient selon les saisons (on augmente la proportion de butane quand il fait chaud). Le développement du GPL en France n'est cependant pas ce qu'il aurait pu être, du fait des errements des politiciens qui auraient dû le promouvoir. Son développement avait ainsi été stoppé net au jour de l'interdiction de la bicarburation (au début des années 80), qui a duré plusieurs années, et ce n'est qu'en 1993 qu'une incitation conséquente, par une baisse de la fiscalité, a vraiment permis l'essor de ce carburant. Mais le législateur s'est trompé, car il a interdit les soupapes de sécurité qui évitent l'explosion d'un réservoir de GPL soumis à une

forte température. Ce n'est qu'après qu'un malheureux pompier soit devenu la victime de cette erreur, que cette fameuse soupape est devenue obligatoire (alors qu'elle l'était déjà depuis

longtemps dans les autres pays), mais l'image du GPL en a été ternie (alors que c'est celle des politiciens fautifs qui aurait dû l'être).

En attendant le GNV et les piles à combustible, il est pourtant avantageux de rouler au GPL, significativement moins polluant que l'essence, et salissant beaucoup moins le moteur puisqu'il n'y dépose pas de calamine.

Additifs divers :

Ethanol :

Alcool produit chimiquement à partir d'éthane ou d'éthylène (des hydrocarbures gazeux), un peu plus cher à produire que l'essence, et qui peut aussi être produit biologiquement (on dit alors bioéthanol, sauf aux USA où l'éthanol chimique est quasiment inexistant), par exemple avec des betteraves sucrières, mais également des céréales (blé, orge ou maïs aux USA).

Moins bon rendement que l'essence : il faut 150 litres d'éthanol pour remplacer 100 litres d'essence, mais combustion plus propre. Couramment utilisé comme additif à l'essence car permettant d'en accroître l'indice d'octane.

La Commission de Bruxelles étudie une directive visant à promouvoir l'usage du bioéthanol (voir biocarburants ci-dessus).

Méthanol :

Chimiquement très proche du méthane (d'où son nom), son principal avantage est d'être liquide, d'où un transport et un stockage bien plus facile, on l'appelle aussi alcool de bois.

Le méthanol peut-être utilisé dans tout moteur à essence, mais il est d'une part plus corrosif, ce qui entraîne de devoir remplacer toutes les canalisations qu'il utilise, et d'autre part plus performant de par un indice d'octane plus élevé : un moteur marche mieux en fonctionnant avec du méthanol car les explosions sont plus fortes, d'où une usure accrue. Il n'y a pas d'exemple de moteur marchant au méthanol ayant accompli de gros kilométrage.

Moins polluant que l'essence, mais plus que le gaz naturel (sans compter la pollution pour le fabriquer), le méthanol n'a guère d'avenir, sinon comme additif à l'essence, qu'il permet de rendre un peu moins polluante (pour les essences traditionnelles) et un peu plus performante. Des expériences sont d'ailleurs en cours au Canada pour tester cette piste de recherche.

Autre utilisation (?) : le méthanol peut aussi être utilisé dans une pile à combustible, comme dans les prototypes NECAR de Mercedes, c'est un reformeur qui convertit alors le méthanol en l'hydrogène dont la pile a besoin. Cette solution a aussi été étudiée par Général Motors (qui l'a vite abandonnée) car la conversion méthanol/hydrogène est polluante. A ce jour, il semble qu'il n'y ait plus un seul constructeur automobile poursuivant des recherches sur le méthanol : tous sont passés à l'hydrogène.

Carburants de substitution (exemples):

Diméthyléther :

Plus communément appelé DME, il s'agit d'un carburant de substitution au gazole, normalement obtenu à partir du gaz naturel. Comme le GPL, c'est un gaz, mais il a propriété de se liquéfier sous une pression de quelques atmosphères. Doté d'un très bon rendement, il a

de surcroît une combustion plus propre que celle du gazole, mais cet atout est diminué de par la pollution produite lors de sa production à la raffinerie à partir du gaz naturel.
Plusieurs constructeurs de poids lourds travaillent actuellement à développer l'usage de ce carburant, mais aucun pays n'a lancé de programme politique pour en promouvoir la consommation de quelque façon que ce soit.

Hydrogène :

L'hydrogène peut fonctionner dans un moteur thermique (à essence) conventionnel, mais du fait de la densité extrêmement faible de l'hydrogène, l'alimentation et la distribution sont profondément différentes de celles d'un moteur à essence, même si des solutions de bicarburation (on dit qu'une voiture est à bicarburation lorsque son moteur peut fonctionner avec 2 carburants distincts, par exemple l'essence et le GPL, ou l'essence et le GNV) ont été mises au point (par BMW et Mazda). Le moteur thermique alimenté en hydrogène est quasiment non polluant, puisque la vapeur d'eau mise à part, il ne rejette que des oxydes d'azote.

ETBE :

Symbole de Ethyl-tertio-butyl-éther, l'ETBE est un biocarburant produit par la fermentation de plantes riches en sucre comme la betterave ou la canne à sucre ou en amidon comme la pomme de terre et les céréales. ETBE est approximativement constitué de 42% d'éthanol. L'objectif de la création de ce carburant d'origine végétale est la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'ETBE augmente l'indice d'octane de l'essence, ce qui permet, indirectement, une amélioration du rendement des moteurs, donc une baisse de la production de polluants.

Autre

Air compressé :

Le projet MDI :

La seule société à s'être lancé dans cette voie d'énergie est la société MDI avec ses véhicules CAT (Compressed Air Tank). Le projet MDI a plusieurs directions complémentaires dans son horizon de véhicules : les mono énergies et les hybrides. Ce projet impose de toute façon, et à plus forte raison en mono énergie, d'embarquer une importante quantité d'air, caractéristique primordiale pour obtenir une bonne autonomie.

A cette fin, 340 litres d'air comprimé à 300 bars soit 102000 litres d'air, représentant environ 52 mégajoules, ou encore l'équivalent énergétique de moins de 2 litres d'essence, sont nécessaires pour utiliser un véhicule une dizaine d'heures en ville, uniquement avec de l'air.

D'autres contraintes, tels l'aspect sécuritaire, la recherche de gain de poids et un coût maîtrisé viennent s'y ajouter.

L'aspect sécuritaire est bien entendu prioritaire sur les autres caractéristiques, ce qui a rapidement orienté les recherches vers la solution de l'enroulement filamentaire en fibres et résines. En effet, les réservoirs aciers ne représentent pas une solution suffisamment sûre pour

une utilisation automobile. Cette technologie permet un rapport volume d'air embarqué / masse intéressant, impossible à réaliser avec de l'acier. A titre d'exemple, 100 litres d'air à 300 bars peuvent prendre place dans un réservoir de seulement 35 kg.

Conclusion:

La technologie MDI, en considérant uniquement l'air comprimé (donc en oubliant les projet hybrides de la société) repose sur de l'air très comprimé dans un réservoir conçu à cet effet par enroulement filamentaire en fibres de résines. D'après les données de MDI, pour obtenir une énergie équivalente à 2 litres d'essences, c'est un réservoir de 340 litres (le tiers d'un mètre cube) d'air à 300 bars (!) qu'il faudrait installer dans la GT.

Pour emporter l'équivalent énergétique de 2 litres d'essence, c'est donc un réservoir de 120 kg qu'il faudrait amener (102 mètres cubes d'air, soit 102 kilos d'air pour et un réservoir de 18 kilos). Pour emporter la quantité suffisante pour assurer une autonomie de 350 kilomètres, c'est un réservoir de 35 x 130 = 4550 kg qu'il faudrait embarquer sur la GT !!! C'est-à-dire une masse inconcevable pour ce type de voiture (il faudrait d'ailleurs le permis poids lourd pour la piloter). Même dans le cas d'un allégement des réservoirs, le volume d'air embarqué serait de 3,5 millions de litres d'air, soit 3500 mètres cubes. Or la masse volumique de l'air est de 1kg/m3, soit ici 3,5 tonnes d'air au bas mot : même avec un réservoir ultraléger de quelques centaines de kilos, c'est beaucoup trop encore une fois ! On peut donc abandonner cette technologie dans cette étude.

Bilan

Parmi la multitude de possibilités d'énergies qui s'offre maintenant d'équiper nos véhicules, on recense :

Les carburants traditionnels : on peut noter que ce sont elles qui offrent les meilleurs rapports masse/encombrement/énergie. Cependant ils ont gagné beaucoup ces dernières années suite à l'investissement consentit par les entreprises du secteur pétrolier. Elles vont donc être progressivement remplacées par les autres sources d'énergie.

Les biocarburants : On peut donc espérer voir se développer les biocarburants de la même manière, en partie grâce à l'aide proposée par les différentes institutions dans le cadre du protocole de Kyoto sur les énergies renouvelables De plus ces types de carburants ne seront de toute façon pas plus coûteux que les carburants traditionnels. En effet, ceux-ci doivent être extrais des gisements, puis traités ou raffinés, avant d'être transportés et distribués. Les biocarburants peuvent être produits presque sur place, et à moindre prix après leur démocratisation et la mise en place d'une réelle industrie du biocarburant. Après la détaxation qu'a promis l'Etat, les biocarburants devraient concurrencer les carburants immédiatement, et on peut les imaginer remplacer les dérivés de pétrole assez rapidement.

Les électriques : Les combinaisons batteries / super condensateur / piles à hydrogène, voire un hybride combinant le tout seraient des solutions intéressantes. Les accumulateurs sont aptes à devenir concurrents directs de l'essence dès maintenant, avec leurs capacités de recharge de plus en plus rapides.

Les normes antipollution s'accentuant, les constructeurs vont vouloir anticiper et les proposer rapidement sur leurs modèles, GT en tête pour montrer leur savoir-faire et les développer. On peut citer FETISH avec son modèle Venturi, qui y a intégré une PAC. Quelques modèles de riches recordmen privés pulvérisent également régulièrement les anciens temps, preuve s'il en faut du développement de cette technologie électrique. On peut donc

aisément penser à de vrais modèles de GT tout électrique à PAC ou supercondensateur d'ici quelques années, pouvant rivaliser avec leurs concurrentes à essence.

Les hybrides : Ce sont probablement eux qui auront le plus de succès. Alliant la puissance d'un carburant ou biocarburant et le confort sonore de l'électricité. De plus en plus de véhicules de grande série étant équipés de moteur hybride, les constructeurs voudront passer par cette mixité d'énergie pour se faire une expérience.

Moteur

Electrique

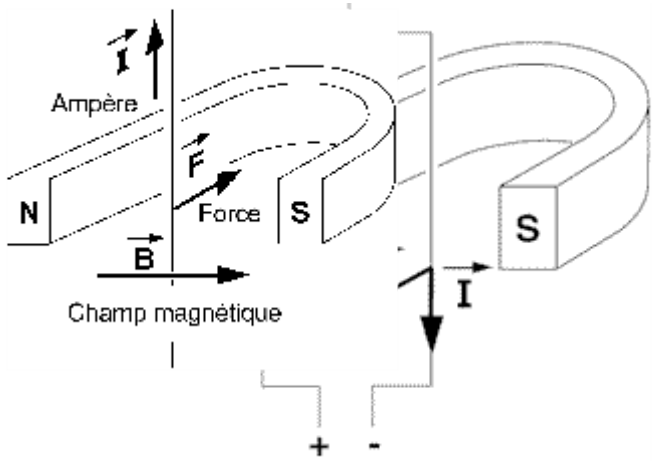
Peu d'informations sont disponibles sur ce sujet. D'après celles que j'ai pu trouver sur la Toyota Prius ou la Ford Synergy 2010, les moteurs fonctionnent avec du courant continu, directement issu des batteries, ou produit par un moteur en fonctionnement hybride. On peut néanmoins assurer que cette technologie va se développer énormément ces prochaines années. En effet, la seule utilisation des piles à hydrogène possible est dans des véhicules électriques, comme vecteur d'énergie. L'utilisation comme carburants se voyant très limitée car, le stockage et le reformage étant assez imposants, on préférera utiliser un carburant plus conventionnel mais moins astreignant. L'un des premiers exemples d'usage de PAC / moteur électrique pour propulser une GT est la Venturi Fetish, ce qui confirme la proximité d'un développement massif. Si un constructeur en fait sa vitrine technologique, c'est qu'il place ce concept comme référence pour ses modèles à venir. L'avantage principal lorsque l'on utilise cette énergie est la possibilité de récupération d'énergie au freinage. On peut remarquer que sur les voitures équipées de moteurs thermiques, le frein moteur (dont je n'expliquerai pas le fonctionnement dans cette étude) utilise la puissance motrice pour ralentir le véhicule. Au lieu de récupérer de l'énergie, il doit donc en fournir ! Les freins à disques ne sont pas beaucoup plus intéressants car ils dissipent l'énergie cinétique en chaleur, qui est ensuite évacuée par l'air de refroidissement des disques. Le seul moyen de récupérer l'énergie au freinage est de mettre des générateurs électriques pour convertir l'énergie cinétique en énergie électrique et recharger les batteries, ce qui permettrait de récupérer, avec de bons générateurs, environ 80 à 90% de l'énergie cinétique lors d'un freinage. C'est ce qu'on appelle une régénération.

Les moteurs à courant continu et brushless :

Le moteur brushless fonctionne sous courant continu. Son principal avantage par rapport à un autre moteur fonctionnant en courant continu est la dissipation

facilitée, par l'absence de balais entre le rotor et le stator, de la chaleur produite par l'induction des bobines.

Technologie et principe de fonctionnement :

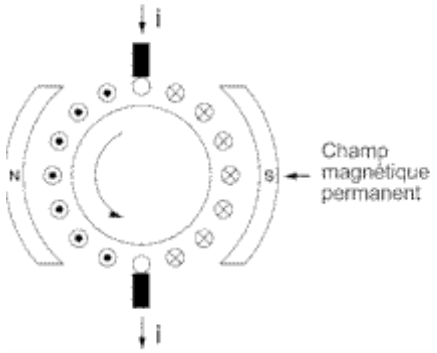


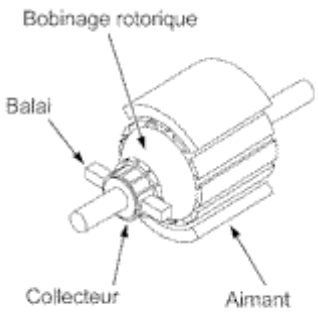
Le moteur brushless est basé sur le principe de l'électromagnétisme :

• Un conducteur parcouru par un courant dans un champ magnétique subit une force proportionnelle à ce courant.
• Si l'on prend deux conducteurs (bobine) parcourus par des courants opposés, on obtient un couple.
• En plaçant cette bobine entourée par des aimants fixes, on obtient un moteur à courant continu.
• Un champ magnétique fixe, créé par des aimants permanents au niveau du stator, agit sur les courants d'induit circulant dans l'enroulement du rotor. L'interaction entre les conducteurs sous tension dans le champ magnétique crée un couple rotorique.

Définition :

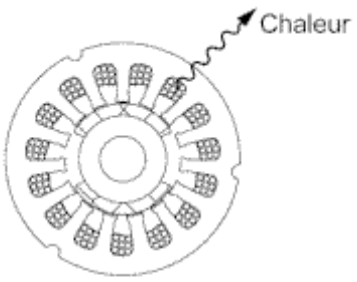
Un moteur à courant continu est constitué de trois éléments principaux :
1. Un rotor comprenant plusieurs bobines dans lesquelles passe le courant.
2. Un stator qui crée le champ magnétique. Il est composé d'aimants en terre rare pour les servomoteurs utilisés en robotique.
3. Les balais et le collecteur : interface mécanique permettant d'alimenter successivement chaque bobine du rotor.



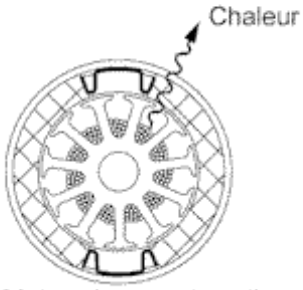


Le moteur à courant continu possède, sur son rotor, un collecteur qui dirige le courant vers les enroulements de l'induit pendant la rotation du rotor.

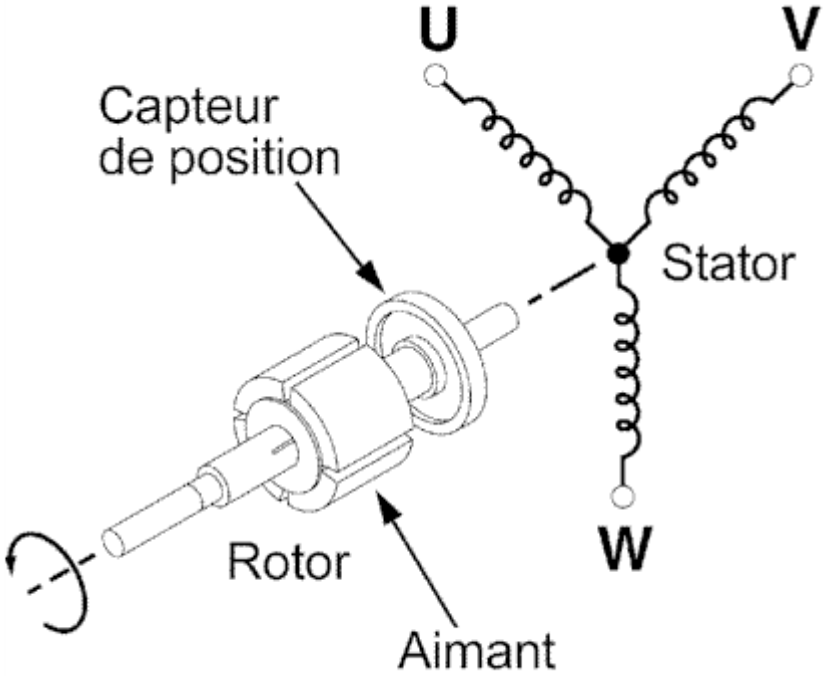
En d'autres termes, le courant est progressivement inversé lorsque les enroulements reliés aux lames du collecteur passent sous les balais. Dans un servomoteur, les balais sont placés de telle sorte que le vecteur d'intensité reste perpendiculaire au champ magnétique fixe, quelle que soit la vitesse du rotor. Le couple généré est ainsi proportionnel au courant d'induit, et la vitesse du moteur est proportionnelle à la tension d'induit.



Moteur sans balai



Moteur à courant continu



Un moteur brushless est constitué de trois éléments principaux :

1. Un rotor comprenant les aimants.
2. Un stator comprenant le bobinage des 3 phases.
3. Un capteur de position.

Comparaison des moteurs à courant continu et des moteurs brushless.

Dans les applications nécessitant un entraînement à rendement élevé, le moteur

classique à courant continu et à aimants permanents est utilisé dans l'industrie depuis des dizaines d'années. En effet, il est très facile de réguler son couple et sa vitesse en ajustant la tension de courant continu.

S'il est relativement facile de réguler un moteur à courant continu, le collecteur mécanique constitue son principal point faible. De par la structure du moteur, le collecteur doit lui aussi être rotatif, et avec lui le bobinage de l'induit. L'inertie du rotor est donc importante, et le comportement thermique n'est pas satisfaisant puisque la chaleur dissipée provient principalement du bobinage du rotor. Or les pertes produisant de la chaleur doivent naturellement être limitées au minimum et extraites efficacement, quel que soit le type de moteur, afin de conserver la température interne du moteur en dessous de sa limite maximale.

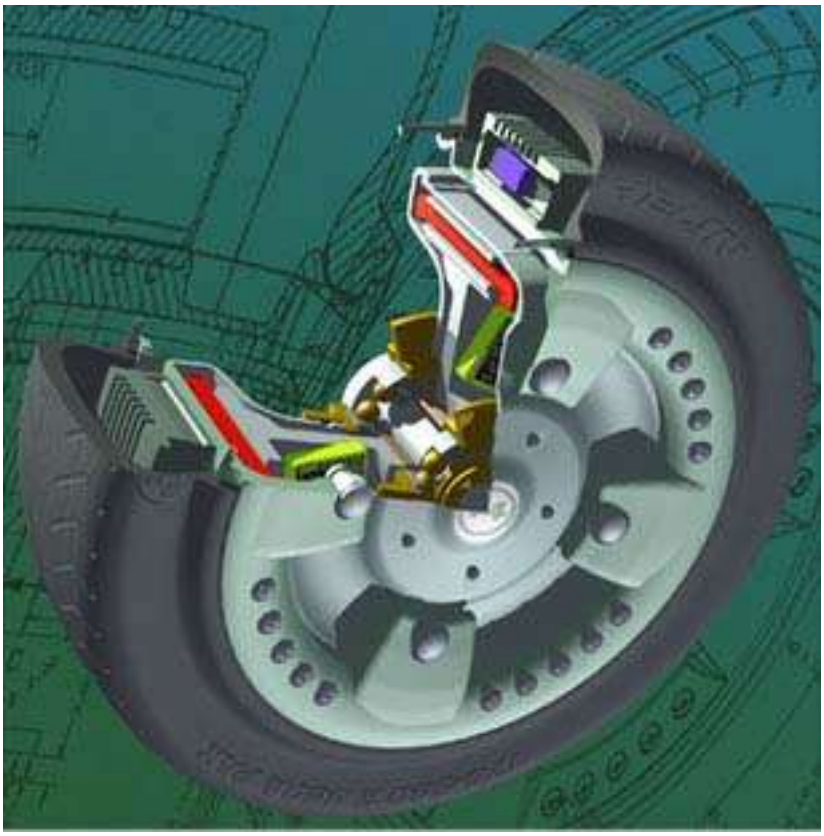
La technique de construction du moteur brushless permet de concentrer presque entièrement les pertes au niveau du stator, ce qui raccourcit le trajet de conduction thermique vers l'environnement. Le transfert de chaleur peut encore être augmenté en faisant passer de l'air sur le cadre du moteur. L'élimination du collecteur mécanique et de l'enroulement d'induit du rotor permet de réduire l'inertie du rotor sur les moteurs brushless, d'augmenter la vitesse de rotation et d'accroître la tension d'alimentation du moteur par rapport aux moteurs à courant continu classiques.

En robotique, les aimants permanents utilisés pour fabriquer le rotor sont constitués d'éléments de terres rares (samarium cobalt et néodyme fer bore). Ce qui semble permettre le rendement optimal. On remarquera néanmoins que cette technologie est très coûteuse. On peut cependant relativiser, car les moteurs à explosion W16 ou W18 qui se développent actuellement sont également très cher mais ça ne paraît pas être un frein à leur utilisation…

Les avantages techniques précités ont déjà poussé les moteurs brushless à remplacer les moteurs à courant continu dans la majorité des applications d'asservissement en robotique. Pourquoi ne deviendraient-ils pas également les moteurs des futures GT ?

Le moteur-roue :

En éliminant le moteur central, la transmission, le différentiel, les joints universels et l'arbre d'entraînement, les moteurs-roues compacts permettent une plus grande flexibilité au niveau de l'architecture du véhicule.



Le moteur-roue intègre un moteur électrique et d'autres composants dans une configuration compacte qui peut s'insérer dans une roue de dimensions ordinaires. La technologie de base résulte en une unité légère, compacte et d'une haute efficacité énergétique. Les convertisseurs de puissance peuvent être installés soit à l'intérieur ou à l'extérieur de la roue. Ce système permet d'une part de contrôler avec haute précision et indépendamment le couple appliqué à chaque roue et d'autre part de maximiser la capacité du freinage régénérateur. On remarquera que la puissance d'un seul de ces moteurs est de 107 ch., pour une efficacité de 96.3 % en charge continue.

Moteur-générateur :

Voici le nouveau système moteur générateur de TM4, un groupe motopropulseur incluant un générateur et un différentiel intégré. Associé à un moteur à combustion interne, le système offre une fonctionnalité et une flexibilité exceptionnelles.

En une fraction de seconde, le système moteur générateur transforme un véhicule en un hybride série, un hybride parallèle ou un véhicule électrique doté d'un prolongateur d'autonomie. Le système de TM4 optimise l'utilisation énergétique et maximise la performance en tout temps et dans toutes les situations de conduite.

Le système moteur générateur exploite une technologie très efficace à aimant permanent sans balai. Grâce à un astucieux concept, les ingénieurs de TM4 ont réduit le câblage et les points de raccordement électrique et de refroidissement. Le système moteur générateur est très compact, léger et économique. Il est aussi doté d'un contrôleur intelligent haut de gamme, tirant parti de contrôles logiciels programmables et d'électronique avancée.
Le système moteur générateur comprend aussi un chargeur incorporé.

Les moteurs à courant alternatif :

Les moteurs électriques à courant alternatif, qu'ils soient synchrone ou asynchrone, et malgré le fait que les moteurs électriques les plus performants fonctionnent avec ce type de courant, ne sont pas utilisables sur un véhicule. En effet, le stockage dans les batteries impose un courant continu. De plus les moteurs générateurs doivent de préférence fonctionner en continu pour éviter des pertes d'énergie suppression lors du redressement de tension (par un onduleur), et les moteurs brushless devraient supplanter ces moteurs rapidement même au niveau des performances. On n'abordera donc pas plus le sujet des moteurs électriques à courant alternatif dans cette étude.

On peut détailler 5 avantages de la propulsion électrique :

La régénération est le premier : l'utilisation de moteurs générateurs permet en effet, contrairement aux moteurs à carburants classiques, de récupérer l'énergie de freinage et d'ainsi faire des économies d'énergie. Il existait jusqu'assez récemment des combinaisons moteurs- alternateurs pour le fonctionnement motricité-freinage. L'apparition des brushless à changer la donne en détrônant le courant alternatif des voitures.

L'utilisation d'une source d'énergie non polluante et l'absence presque totale de toute pollution sonore liée à la motorisation constitue le deuxième point : les moteurs électriques sont en effet très peu bruyant et ne rejette absolument aucune particule et aucun gaz lors de leur fonctionnement. C'est un atout indéniable que le confort sonore, qui permet de mieux profiter de l'impression de vitesse grâce aux bruits aérodynamiques, et de plus apprécier la puissance sans être dérangé par un bruit parasite, à plus forte raison dans une voiture de ce type.

La possibilité de monter directement dans les roues les moteurs : un moteur électrique pouvant fournir sa puissance en permanence et non seulement pendant des

explosions, on peut mettre plusieurs petits moteurs par roues sans risquer une superposition d'explosions qui perturberaient les cycles et rendraient les moteurs peu performants. Cette disposition particulière des moteurs permet de réduire la masse de pièce habituellement nécessaires à la transmission (axes et différentiels entre autres), surtout en fonctionnement 4 roues motrices. La réduction de poids étant un enjeu permanent dans ces voitures, c'est encore un atout de taille pour les moteurs électriques.

Le refroidissement encore : placer des moteurs brushless dans les roues permet d'avoir un refroidissement répartit sur quatre surfaces bien distinctes dans la voiture, et à proximité du passage latéral de l'air. Contrairement aux voitures à moteur en place centrale arrière, qui nécessitent des prises d'air importantes sur le toit et le dessus de la voiture et diminuent ainsi l'appui aérodynamique, ce système n'a besoin que de l'air qui refroidit habituellement les disques de frein. Ainsi, au lieu d'avoir des conduits qui canalisent l'air des surfaces vers l'intérieur pour refroidir un moteur qui dégage beaucoup de chaleur, et en plus un circuit de refroidissement des freins, on a plus besoin que de ce dernier. C'est donc un gain au niveau aérodynamique, et au niveau des pertes par dissipation de chaleur.

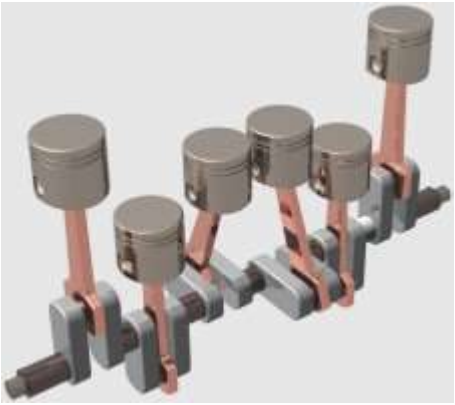
La bonne position du centre de gravité, avec un centrage des masses meilleur qu'avec un moteur en place centrale : ici, on a en effet la possibilité d'avoir la masse des moteurs dans chaque roue, soit un centre de gravité de la motorisation confondu avec la résultante de l'appui des roue : au centre de la voiture, sous la cellule. De plus, en plaçant les moteurs dans l'axe des roues, leur masse a un centre de gravité très bas, à moins de la moitié de la hauteur de la roue, ce qui est très difficile à faire sur un moteur thermique.

Essence

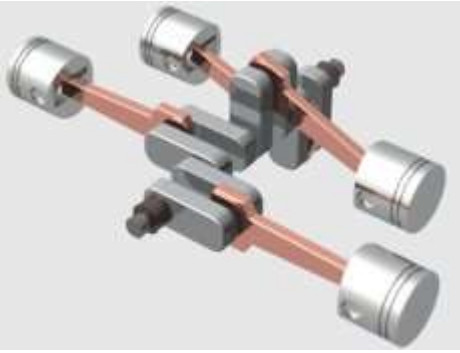
Cylindres en ligne/en V/en W/à plat/piston triangulaire :

Vx (ex: V8): moteur ayant un nombre x de cylindres disposés sous la forme d'un V.

Wx (ex: W12): moteur ayant un nombre x de cylindres, composé d'un Vx auquel on a rajouté une rangé de cylindres au milieu.



Cylindres en ligne



Cylindres à plat

Cylindres en V

Moteur Wankel :

Wankel, moteur (ou moteur à piston rotatif): moteur rotatif à combustion interne dans lequel le piston et le cylindre sont remplacés par un rotor triangulaire en rotation dans une chambre de forme ovale. Inventé en 1950 par un ingénieur allemand du nom de Félix Wankel, il n'est que très peu utilisé. De ce fait, les parties mobiles du moteur sont moins nombreuses, ce qui entraîne une généreuse perte de poids

Dans les années 1950, l'ingénieur Félix Wankel développa donc un moteur à combustion interne, dans lequel le piston et le cylindre sont remplacés par un piston rotatif triangulaire (rotor) en mouvement dans une chambre de forme ovale (stator). Chacune des 3 faces du piston va s'écarter et se rapprocher du carter, créant ainsi avec elle des chambres à volume variable permettant de réaliser les opérations de compression et de détente.

L'admission et l'échappement se font à l'aide d'ouvertures, masquées ou non par le rotor dans son mouvement. Ce mouvement, guidé par des dentures, suffit à assurer, en un seul tour, 3 cycles complets (aspiration - compression - détente - évacuation des gaz d'échappement).

L'arbre de sortie moteur, comportant un excentrique sur lequel est monté le piston, tourne trois fois plus vite que ce dernier : il y a donc un allumage pour chaque tour moteur.
Ces moteurs se développent de plus en plus, car ils sont plus silencieux, et produisent moins de vibrations. Malgré leur consommation accrue et certaines nuisances supplémentaires dues à leur faible développement, ils devraient progresser beaucoup ces prochaines années. On notera que tous les véhicules Mazda de la classe RX (RX-1, RX-2, …, jusqu'à RX-8 récemment) sont motorisés par ce moteur, rebaptisé Renesis par la marque. En effet, Mazda a racheté le brevet il y a 35 ans, et c'est donc elle qui a l'exclusivité de cette technologie.

Avantages du moteur rotatif : compacité, absence de vibrations…
Inconvénients : consommation élevée, frein moteur réduit…

Economies d'énergie en fonctionnement sur route :

CAI :

Ce symbole de « Controled Auto-Ignition » (Moteur à auto-inflammation), aussi appelé HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) et ATA (Active Thermo-Atmosphere) désigne le principe de combustion par auto-inflammation du carburant actuellement en étude chez les constructeurs. L'objectif recherché est un rendement nettement plus élevé à faible charge que le moteur à allumage commandé.

Le carburant est mélangé à une forte proportion d'air dans le cylindre (mélange pauvre), puis auto-enflammé par la montée du piston. Ce concept concerne autant le moteur essence que le diesel.

On peut remarquer tout l'intérêt de ce système dans des voitures de grandes puissances comme les GT qui, sur route normale, n'ont pas besoin de beaucoup de puissance par rapport à celle dont elles disposent. C'est-à-dire qu'elles tournent souvent à faible charge lorsqu'elles ne sont pas sur circuit. On s'attendra donc à l'implantation de ce système sur les GT lors de son apparition sur le marché à partir de 2010.

Système Camless :

Définition de « Camless » : moteur sans arbre à cames dans lequel les soupapes sont actionnées par des électro-aimants.

Pourquoi ? : Depuis qu'existe le moteur à explosion, ses soupapes (d'admission et d'échappement) sont commandées par un ou plusieurs arbres à cames, à l'exception des soupapes d'admission automatiques, qui furent rapidement abandonnées. L'arbre à cames n'est toutefois pas la solution permettant d'obtenir les meilleurs résultats.
Aujourd'hui, l'électronique embarquée, permettant de gérer par exemple l'injection de carburant, pourrait également commander les soupapes grâce à des électro-aimants, supprimant ainsi le ou les arbres à cames. Un concept en cours d'expérimentation chez Renault et BMW.

Principe de fonctionnement : Chaque soupape est commandée par un poussoir, solidaire d'un plateau se déplaçant entre 2 électro-aimants. Ils sont tous deux munis de ressorts étirés au repos.

1. Lorsque la soupape est fermée (position haute), elle est maintenue par son ressort tandis que le poussoir se trouve lui aussi en position haute grâce au plateau attiré par l'électro-aimant supérieur.

2. Pour provoquer l'ouverture de la soupape (position basse), l'électro-aimant supérieur est désactivé: le poussoir va retomber, pousser la soupape et donc l'ouvrir.

Pour le passage de la position ouverte (basse) à la position fermée (haute), le courant dans l'électro-aimant supérieur est toutefois modulé pendant un court instant, afin que la soupape se referme avec une certaine douceur afin de limiter le bruit.

On peut se demander pourquoi ne pas avoir directement relié la tige de la soupape au plateau; sans doute la raison est-elle que la chaleur conduite par cette tige pourrait détériorer les enroulements électriques.

On peut estimer qu'il a quelques atouts : La possibilité de mettre hors service un ou plusieurs cylindres si la puissance demandée n'est pas trop importante est le premier. En effet, sur un moteur avec arbre à cames, ceci est impossible à mettre en œuvre, car celui-ci commande les soupapes mécaniquement, sans possibilité d'immobiliser l'arbre à cames pour un ou plusieurs cylindres. La mise hors service des cylindres permet d'adapter la cylindrée à la puissance demandée. Un système camless ayant les moyens de remettre en route un cylindre quasiment instantanément si le pilote le demande. Un système mécanique, implanté sur l'arbre à cames, n'aurait pas cette capacité. En effet, un système de la sorte devrait désolidariser totalement le ou les cylindres en question des autres pour obtenir le même résultat : remettre les cylindres en route impliquerait de les redémarrer et de les recoupler aux autres.

Autre atout : de plus grandes possibilités de réglage du moteur, d'où un couple optimal sur une grande plage de régime et un meilleur contrôle de la consommation et la pollution. En effet, les soupapes étant commandés uniquement par électronique, leur temps d'ouverture et de fermeture pourra être adapté aux besoins afin d'avoir la meilleure combustion possible, plus complète donc plus économique, et moins polluante. De plus, l'usure du moteur serait aussi minorée, car l'explosion aurait besoin d'être moins violente pour produire la même puissance.

Bémols ? : Les électro-aimants commandant les soupapes sont lourds, trop lourds. L'inertie de ce moteur étant donc très importantes, il ne peut pas monter très haut dans les tours. Il est donc limité à 6000-7000 tours par minutes, ce qui est largement inférieur aux performances des moteurs les plus puissants actuellement. Ce désavantage peut néanmoins être relativisé : un moteur diesel ne monte pas plus dans les tours, mais les plus puissants

d'entre eux atteignent déjà 300 ch. environ. On peut donc miser sur le progrès des moteurs diesels, et imaginer l'implantation du système camless sur ceux-ci. Cette combinaison permettrait d'obtenir des moteurs certes peu rapides, mais très coupleux. En couplant deux V6 de 300 ch. pour construire un V12 diesel, et en introduisant le camless, on obtiendrait ainsi un moteur de 600ch. maximum, très puissant et très coupleux, pas très polluant car utilisant juste le nombre de cylindres nécessaire pour fournir la puissance demandée par le pilote.

Prévisions : Le camless va-t-il l'emporter sur le moteur à arbre à cames dans les moteurs de demain ? La réponse semble déjà être oui pour les futurs diesels, qui prendront peut être, à l'instar de leurs semblables de grandes productions, la place des autres moteurs à essence. Il devrait d'ailleurs être introduit très bientôt, vers les années 2005-2010. A plus long terme, en fonction de l'évolution des stocks de pétrole, le diesel sera ou non partie des motorisations…

Common-rail :

Terme désignant une rampe commune d'injection, c'est-à-dire un tube métallique très rigide et solide, partant de la pompe d'injection et amenant le carburant aux injecteurs qui le vaporisent dans les cylindres. L'avantage de cette technique est de permettre de très hautes pressions (jusqu'à 1700 bars), favorisant ainsi la dispersion régulière du carburant dans les cylindres, et donc une meilleure combustion, d'où une plus grande économie et une moindre pollution, et surtout davantage de puissance. C'est dans la même optique qu'ont été créés les moteurs 16 soupapes des petites voitures « sportives » : améliorer la combustions pour gagner de la puissance sans consommer plus. Ce système a fait son apparition il y a quelques années déjà sur les diesels de grandes séries. Il devrait continuer à progresser, chez les diesels, car malgré l'arrivée des injections hautes pressions sur les essences, on n'est encore loin des 1700 bars des diesels. Les diesels, donc, devraient pouvoir accéder à des systèmes très hautes pressions encore plus performants (supérieurs à 2000 bars dans un premier temps). Pour conclure, on peut prévoir que le common-rail sera sans doute bientôt remplacé par un système permettant des pressions encore plus importantes. Cependant, le système changera peut-être de nom, mais, le common-rail ayant encore beaucoup d'améliorations possibles, le principe de fonctionnement de rampe d'injection commune ne sera certainement pas supplanté très rapidement. Les prochaines générations de common-rail permettront donc peut-être d'atteindre des puissances encore plus importantes dans les moteurs diesels.

4 temps :

Il est maintenant acquis que les moteurs à explosion de type traditionnel (c'est-à-dire tous les moteurs à explosion excepté le moteur Wankel) fonctionnent en 4 temps : admission (injection air + essence), compression du mélange, explosion et dilatation, échappement. Précédemment les moteurs fonctionnaient en 2 temps, maintenant en 4 temps. Le moteur Wankel a été testé (avec succès) par Honda sur un prototype récent. En combien de temps fonctionneront les moteurs de demain ? Le système actuel n'est plus divisible en d'autres temps intermédiaires, et c'est donc 4 temps qui devraient encore composer le cycle de fonctionnement des moteurs du futur. Cependant, grâce à des systèmes comme le camless, chaque temps pourra être adapté en durée afin de pouvoir optimiser le fonctionnement du moteur.

Augmentation de la puissance :

Distribution variable :

Présentation : Durant les années 80 la mode GTI bat son plein. L'inspiratrice, la Volkswagen Golf doit faire face aux Peugeot 205, Super 5, et autres telle la Fiat Uno Turbo. Le mariage impossible entre couple et sportivité produit des moteurs puissants mais pointus. Le couple souvent haut placé oblige à manipuler fréquemment la boite de vitesse. Ceci perdure jusqu'en 1989, date à laquelle Honda dévoile solution sur son modèle Civic : le moteur Vtec (Variable valve Timing and lift Electronical Control). Son principe de distribution variable apporte souplesse dans les bas régimes et puissance aux abords de la zone rouge. Les autres constructeurs adoptent aujourd'hui des technologies équivalentes qui, en plus des qualités précitées, permettent d'abaisser le taux de pollution. Ainsi BMW propose le Valvetronic, Porsche le VarioCam, Honda a gardé son Vtec et Toyota a mis au point le VVTL. Aucune marque n'a la même appellation, comme pour les turbos, mais toutes proposent des systèmes similaires. Quel est donc le principe de fonctionnement de la distribution variable ?

Le rôle de l'arbre à came : La distribution variable se compose de deux concepts majeurs : la levée variable et le calage variable des soupapes. Mais avant d'entamer cette étude rappelons-nous les phases de fonctionnement d'un moteur à explosion. Elles sont au nombre de quatre et se répètent cycliquement :

1. Admission (injection air + essence)
2. Compression du mélange
3. Explosion et dilatation
4. Échappement

Ces étapes se déroulent dans le cylindre dont les soupapes, qui coiffent la partie haute, permettent l'admission et l'échappement. La synchronisation (calage variable) et le degré d'ouverture (levée variable) des soupapes est défini par la forme et l'angle des cames du ou des arbres à cames. Pour bien comprendre, on peut dire que plus une came est longue, plus la soupape a une levée importante. Et plus l'angle que compose la came d'admission et d'échappement est petit, plus la période d'ouverture simultanée des soupapes d'admission et d'échappement sera longue.

La levée variable : Comme dit dans la présentation, le premier système de levée variable des soupapes à l'admission a été le système Vtec d'Honda, en 1989. L'arbre y est central et ouvre alternativement les différentes soupapes. Quand le moteur optimise le couple (<5000 tr/min), il utilise les cames d'admission extérieures. Le mélange est stable, la levée de la soupape d'admission est moins importante que celle d'échappement. Si l'on sollicite la puissance et lorsque les paramètres :

- le régime et la charge du moteur
- la vitesse du véhicule
- la température du liquide de refroidissement

… sont favorables, le système Vtec enclenche la came intermédiaire (centrale). L'angle d'ouverture de la soupape d'admission devient plus grand, égal à celui de la soupape d'échappement, et plus d'air entre alors dans le cylindre. Les gaz d'échappement sont totalement expulsés et cette augmentation engendre une combustion plus énergétique. Le système de levée variable Vtec est propre à Honda et si les autres constructeurs utilisent des moyens mécaniques différents le résultat est le même.

Le calage variable : Le calage variable des soupapes joue sur les diagrammes de distribution en modifiant l'angle que composent les cames des deux arbres. On joue ainsi sur

la durée de la phase de croisement (ouverture simultanée des soupapes) et le retard de fermeture à l'admission. Cette durée détermine les caractéristiques du moteur. Pour avoir de la puissance, l'angle est augmenté au maximum, ce qui se traduit par un croisement faible. En revanche, lorsque l'on cherche à avoir le plus de couple possible (à faible vitesse de rotation moteur) on diminuera cet angle, ce qui augmente le moment de croisement. Les constructeurs jouent donc d'ingéniosité mécanique afin de modifier l'angle des différentes cames. Chez Honda, précurseur de ces technologies, l'actionneur du VTC (Variable Timing Control), installé sur l'arbre à came d'admission, est contrôlé par la pression d'huile pour permettre le calage en dynamique comme en continu afin de bien s'adapter à la charge du moteur.

Turbo compression :

Définition du turbo-(compresseur): élément du moteur destiné à améliorer ses performances, composé d'une turbine activée par les gaz d'échappement entraînant un compresseur qui comprime l'air arrivant au moteur.

Principe de fonctionnement : Le but des turbocompresseurs est de suralimenter le moteur. Dans un moteur classique, la quantité de carburant admise dans les cylindres est limitée dans le rapport de combustion par la quantité d'air aspiré. La proportion du mélange air essence ne pouvant pas varier, il faut donc, pour obtenir une suralimentation, comprimer l'air avant son admission dans les cylindres. Autrefois, les voitures de compétition furent équipées de compresseurs mécaniques entraînés par le moteur mais une partie de l'énergie développée était absorbée pour son fonctionnement. Aujourd'hui, les turbocompresseurs sont entraînés par une turbine actionnée par les gaz d'échappement.

Le turbocompresseur est composé de deux roues reliées entre elles par un arbre:
- la première (turbine) est actionnée par les gaz d'échappement;
- la deuxième (compresseur) aspire et comprime l'air grâce à sa grande vitesse de rotation (+ 100 000 tr/min).

Le gavage en air ainsi obtenu permet un meilleur remplissage des chambres de combustion et autorise l'injection d'une quantité plus importante d'essence ou de gazole: ce qui entraîne naturellement une augmentation des performances. On peut injecter un mélange riche dans le cylindre, sans risque d'avoir une combustion incomplète du mélange.

Un moteur consomme du carburant et de l'oxygène : Pour augmenter la puissance du moteur, il faut augmenter la puissance de l'explosion dans chaque cylindre. Toutefois, pour avoir une explosion il faut du carburant et... du comburant ! Le carburant étant l'essence ou le gasoil et le comburant étant l'oxygène contenu dans l'air.

Pour que l'explosion soit optimale, il faut donc de l'air en quantité suffisante pour que le carburant brûle entièrement. S'il y a trop de carburant, il y aura des rejets polluants et une combustion incomplète (rejet de monoxyde de carbone par exemple), s'il n'y a pas assez de carburant, l'explosion ne sera pas optimale (dilatation des gaz insuffisante).

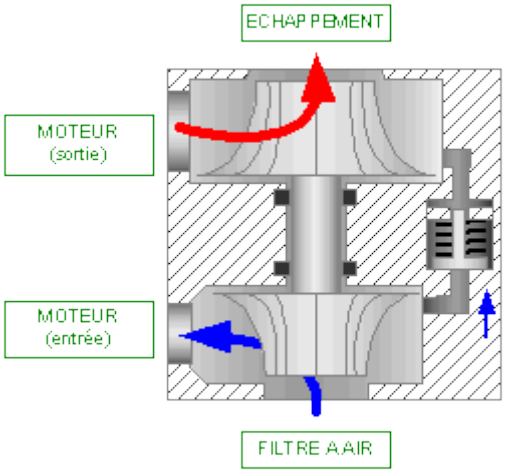
Les cylindres ayant un volume fixe, la quantité d'air admise ne peut pas dépasser cette capacité, sauf en comprimant cet air !
L'air étant compressible, il suffit d'avoir plus d'air pour pouvoir augmenter la quantité de carburant admise et obtenir ainsi une explosion plus forte.

Fonctionnement du turbocompresseur : Tout d'abord, il faut faire la différence entre un turbo et un compresseur :

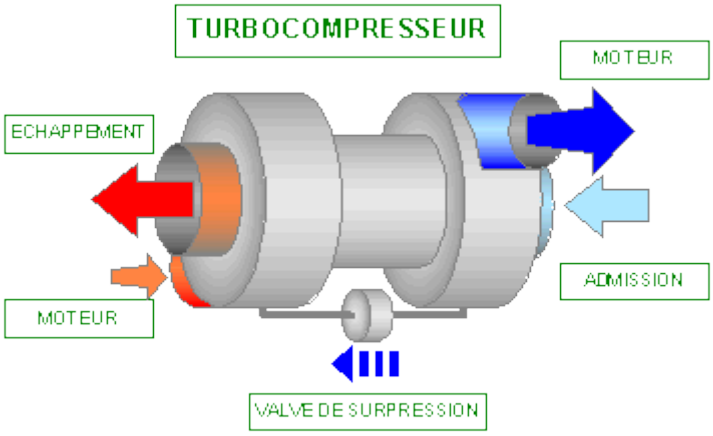
Le compresseur est entraîné par le moteur via une courroie, il fournit de l'air compressé au moteur. Son rendement est plus élevé dès les premiers tours puisqu'il tourne en même temps que le moteur.

Le turbo, quant à lui, est entraîné par les gaz d'échappement et fournit également de l'air compressé au moteur. Son rendement est plus élevé à haut régime car il y a plus d'échappement. A bas régime en revanche, les gaz d'échappements ne suffisent pas pour l'entraîner suffisamment rapidement.

Ci-dessous, voici le fonctionnement détaillé du turbocompresseur :



Le moteur expulse les gaz d'échappements vers le pot. Le turbo s'intercale donc entre le moteur et le pot. Les gaz d'échappements font tourner une turbine qui entraîne une autre turbine sur le même axe. Cette autre turbine se trouve entre le filtre à air et le moteur (coté admission). Plus il y a d'échappement et plus la turbine tourne vite (jusqu'à 200 000 tr/min) ce qui comprime l'air en admission et gave littéralement le moteur d'air.



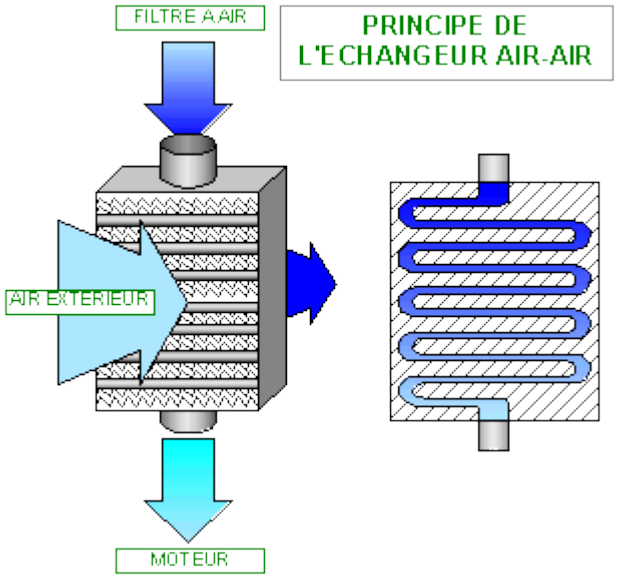
En revanche, s'il y a trop d'air, le rapport stœchiométrique n'est pas respecté et le moteur peut "cogner" (bruit de cliquetis). C'est pour cela qu'en cas de surpression, une valve peut s'ouvrir du circuit d'air frais vers l'échappement (en fait les deux turbines ne sont pas tout à fait symétriques, celle de l'échappement est plus grosse que l'autre).

La valve de surpression (wastegate) permet au moteur de conserver un bon rendement. Il s'agit d'une électrovanne contrôlée par l'ECU du moteur (il y a alors également un capteur de pression pour que l'ECU puisse ouvrir ou fermer la vanne au bon moment).

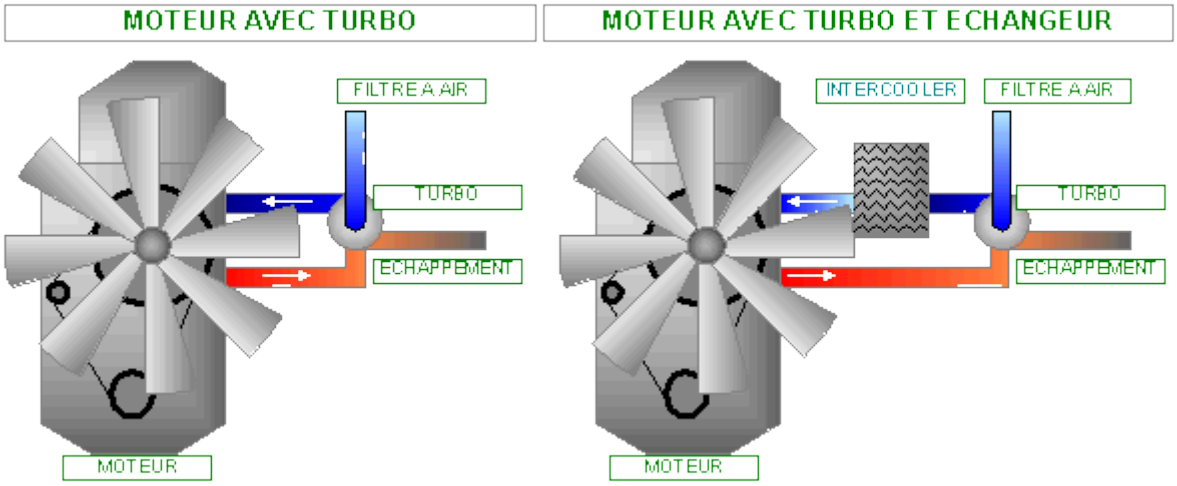
Intercooler :

L'inconvénient majeur de comprimer l'air dans un volume clos est que celui-ci s'échauffe. Plus l'air est chaud et plus il se dilate et plus il lui faut de place.

Dans un moteur, l'air compressé peut atteindre 160°, l'idée de l'intercooler est donc de refroidir l'air après sa compression par le turbo. Ainsi, pour une pression égale, il y aura encore un peu plus d'air dans le cylindre.



L'air provenant du filtre à air (et du turbo) passe dans un radiateur air-air. La température de l'air ambiant étant plus fraîche que celle de l'air compressé, on gagne ainsi quelques précieux degrés en sortie de l'intercooler. On peut alors gagner quelques kilowatts supplémentaires (environ 7 à 10%). Ce qui est quand même beaucoup pour un moteur déjà très puissant.



Voici un exemple de l'augmentation de puissance que peut permettre le système turbocompresseur intercooler : la Golf II Turbo Diesel, l'une des premières voitures à avoir été équipées du système. Pour 1588 cm3 de cylindrée on trouve alors :

64 ch. en moteur atmosphérique
70 ch. en moteur turbocompressé (+ 6 ch.)
80 ch. en moteur turbocompressé avec refroidisseur air-air (+16 ch.)

On notera que le bloc-moteur reste identique, et que c'est donc uniquement l'ajout d'un turbocompresseur et d'un intercooler qui augmente de la puissance.

Les voitures turbocompressées avec échangeur air-air consomment paradoxalement moins de carburant que leurs homologues sans, car les constructeurs profitent de la surpuissance engendrée pour augmenter les rapports de boite. Pour la même vitesse, le régime moteur est ainsi moins élevé. D'autre part, le couple étant également supérieur, le conducteur appuie moins sur l'accélérateur pour arriver à obtenir la même accélération. Ce système diminue la consommation pour la même puissance de sortie : le rendement du moteur est augmenté.

Bilan : le turbocompresseur, comme l'intercooler, a fait ses preuves depuis 25 ans sur les GTI et autres « petites » sportives. Il a réussi à démontrer son efficacité sur les motorisations diesels et on le retrouve maintenant sur la totalité des moteurs diesels les plus puissants. Ses avantages ont été ici assez détaillés pour que l'on ne revienne pas dessus. On s'attend donc à trouver des motorisations diesels très puissantes grâce à la combinaison des technologies common-rail, turbocompresseur et intercooler, qui permettent d'avoir l'explosion la plus grande possible dans le cylindre, du camless et de la distribution variable qui permettent d'adapter la puissance et le couple du moteur aux besoin, et à l'utilisation de moteurs diesels en V qui autorisent le couplage d'un plus grand nombre de cylindres. On notera que la plupart des recherches, et donc des innovations, dans les moteurs à explosion, concernent les diesels. Peut-être les moteurs à essence sont-ils devenus trop complexes et trop peu prometteurs pour que les motoristes s'intéressent encore à eux que précédemment. On a cependant remarqué que la Koenigsegg CCR développe une puissance de 806 ch. malgré un simple V8 double suralimentation. Preuve que les moteurs essence peuvent encore progresser dans la simplicité. On sait aussi que les moteurs GTI des années 80 développaient plus de 700 ch., d'où la conclusion sur les moteurs essence : on peut encore facilement leur donner de la puissance, mais leur rendement n'est alors plus assez bon pour un usage correct. Les moteurs essence à bon rendement, tels que celui de Lamborghini, qui pourraient se développer sont donc bien à saturation, et rien n'est connu à ce jour pour leur permettre d'encore progresser.

Normes antipollution : pot catalytique/antinox (cf. auto innovation dernier semestre)

Pourquoi des normes antipollution :

Les émissions sont les rejets polluants d'un moteur à explosion. Toute combustion émet en effet des rejets, éléments non brûlés ou éléments nouveaux résultant de la combustion des éléments de base. Les principales émissions d'un moteur à essence sont les suivantes : monoxyde de carbone (CO, gaz mortel), dioxyde de carbone (CO_2 ou gaz carbonique, inévitable, et nécessaire à la vie sur terre, mais dont les quantités aujourd'hui dégagées par toutes les automobiles de la planète mettent celle-ci en danger en réchauffant l'atmosphère), hydrocarbures (HC), oxydes d'azote (NOx, poison). On remarquera que les moteurs diesels se différencient par leur absence d'hydrocarbures dans leurs rejets, mais ils émettent à leur place des masses de particules, beaucoup plus nocives : La combustion des moteurs à essence rejette des hydrocarbures, celle des moteurs diesels n'en produit aucun, la combustion des moteurs diesels rejette des particules, celle des moteurs à essence n'en produit aucune.
Les particules étant beaucoup plus nocives pour la santé que les hydrocarbures, les quantités légales autorisées en sont 4 fois inférieures.

Catalyseur :

Elément du système d'échappement d'une voiture qui a pour but de réduire la nocivité des gaz expulsés, surtout les oxydes d'azote (NOx), en opérant sur eux une action de catalyse.

Toutes les voitures commercialisées en Europe depuis 1993 et depuis 1975 aux USA en sont équipées.

Filtre à particules :

Dispositif intégré à l'échappement d'une automobile à moteur qui a pour but d'empêcher, partiellement ou totalement, l'expulsion dans l'atmosphère des particules nocives venant de la combustion. Ils sont de 2 types, ceux qui agissent grâce à un additif (il faut donc régulièrement faire le niveau de ce produit faisant agir le filtre), et ceux qui agissent par catalyse (qui ne nécessitent aucun ajout, que ce soit d'additif ou d'autre chose).

OBD :

Sigle de On-Board Diagnostics, c'est un dispositif électronique qui contrôle et commande le fonctionnement anti-pollution d'un moteur. Ce système se compose généralement : d'une sonde placée dans les canalisations d'échappement et qui en mesure la nocivité des rejets, d'une centrale de gestion qui reçoit les informations de la sonde, et d'une injection électronique voyant ses paramètres de fonctionnement modifiés par la centrale de gestion si la sonde a détecté une trop forte pollution.

Points supplémentaires

Inertie en rotation :

Il existe un obstacle majeur pour parvenir à obtenir de grandes accélérations tout en réduisant la puissance : c'est l'inertie en rotation. Un moteur de voiture de course possède une puissance de 500 ch. environ au minimum. Pour produire cette puissance, les moteurs les plus légers qui existent à ce jour ont une masse d'environ 200 kg (comme dans la Porsche Carrera GT). Un moteur de cette catégorie fournit sa puissance maximale à 8000 tours par minute environ. Il faut donc entraîner une masse importante à une vitesse également très importante ! Premièrement, le centrage est d'une importance capitale pour limiter les efforts sur l'axe et les bruits relatifs aux vibrations du moteur. Deuxièmement, la puissance que fournit le moteur est en grande partie utilisée pour entraîner le moteur lui-même ! Remarquons quand même que l'énergie qu'il a fournit pour prendre des tours est en partie récupérée lors d'un changement de rapport. En effet à ce moment, le régime baisse, et le moteur, lorsque l'embrayage se remet en place, transmet les tours qu'il a en plus aux roues. Cela facilite donc la reprise de puissance après un changement de vitesse. En conclusion on peut donc dire que l'inertie en rotation facilite la sportivité de la voiture (à condition que les pertes par échauffement au niveau de l'embrayage ne soit pas trop importantes) malgré l'énergie qui semble être gâchée pour lancer le moteur. On peut d'ailleurs noter que les constructeurs n'hésitent pas à rajouter du poids sur les pièces en rotation pour réguler la vitesse du moteur : c'est en effet la fonction d'une pièce qui s'appelle le volant.

Radiateur :

Son rôle est de dissiper la chaleur produite par le moteur dans l'air circulant dans la voiture. Il est un échangeur thermique entre les deux. Sans lui, le moteur ne fonctionnerait plus correctement car il serait beaucoup trop chaud au bout d'un très court temps de marche. Sur les voitures de course telles les formules 1, le radiateur est fixe, contrairement aux véhicules de séries comportant un ventilateur qui permet de refroidir le moteur même à l'arrêt. C'est d'ailleurs pour cette raison que les formules 1 ont des pannes lorsqu'elles doivent rouler longtemps au soleil derrière la safe-car. Dans cette situation, les véhicules se succèdent à intervalle très court, et l'air que l'une évacue est réutilisé par la suivante : déjà chaud, cet air à une capacité de refroidissement moindre, ce qui est amplifié de voiture en voiture. Si bien que rapidement, les voitures qui ne sont pas en tête ont leur moteur qui chauffe. C'est pour cette raison qu'il lâche alors : plus assez refroidi, les contraintes mécaniques auxquelles il est à ce moment soumis sont trop grandes. On peut les trouver à diverses places dans la voiture : centrale avant pour les moteurs avants, latérales arrières pour les moteurs arrières, devant les roues pour les voitures avec les moteurs-roues.

1, 2, 3, 4, 5 moteurs :

On trouve une nouvelle piste de conception grâce en partie aux hybrides : celle de la multiplication des moteurs. Les hybrides ont en effet été les premiers à proposer vraiment deux moteurs différents sur le même châssis, contrairement aux véhicules à moteur thermique qui proposent plusieurs lignes de cylindres dans le même bloc moteur. Avec ce nouveau concept et l'arrivée de solutions électriques prometteuses à donc été amenée l'idée de supprimer certaines contraintes telles que le différentiel, l'arbre de transmission qui devait parcourir toute la voiture dans les quatre roues motrices, (l'embrayage), la complexification du bloc moteur, le réseau de refroidissement compliqué pour être efficace sur un bloc si compact, …

1 moteur :

En place centrale arrière, très bas pour descendre le centre de gravité. C'est encore la solution la plus courante dans le parc automobile actuel. C'est une solution de facilité. Cependant, dans un esprit de développement durable, les moteurs simples auront tendances à utiliser des biocarburants, ou à laisser leur place aux moteurs doubles. Actuellement, le moteur simple électrique n'est pas une solution intéressante. Il est encore trop lourd, et ses batteries également : pour compenser cette surcharge, on doit apporter une source d'énergie à fort rendement par un autre moteur, thermique celui-ci et utiliser un hybride. Cependant, il est alors probable que les véhicules électriques n'auront plus un unique moteur. Il semble probable que les voitures à moteur simple électrique puissent se développer beaucoup à la place d'hybride grâce à la PAC, qui permet d'emporter beaucoup d'énergie et de diminuer le poids en supprimant les lourdes batteries.

2 moteurs :

C'est la solution qui se développe pour les véhicules hybrides. Un moteur électrique souple et coupleux pour les bas régimes, avec un super condensateur pour fournir de grandes accélérations ponctuelles, complémenté par un moteur thermique à biocarburant pour fournir l'énergie électrique via un générateur embarqué lorsque le taux de charge des batteries n'est plus suffisant. Ce moteur, n'étant utilisé qu'en charge, peut fonctionner à son régime de rendement maximum afin de consommer le moins possible.

Il en existe une autre composante : deux moteurs thermiques pour une quatre roues motrices permanentes, permettant de supprimer un différentiel. On pourra peut-être, dans un avenir proche, gérer l'allumage du deuxième moteur uniquement lorsque la puissance

demandée est assez importante pour nécessiter l'utilisation des deux moteurs. Ce n'est à nos yeux pas une solution intéressante, car elle est polluante malgré la diminution par rapport à un moteur unique thermique. On notera cependant au passage que l'alterno-démarreur de Citroën pourrait maintenant très bien gérer le deuxième allumage, mais qu'un autre problème se pose : celui de la coordination de vitesse et de puissance des deux moteurs.

3 moteurs :

Ce procédé reprend le fonctionnement du bimoteur hybride, mais en mettant deux moteurs électriques, l'un pour l'avant, l'autre pour l'arrière par exemple, ou plutôt deux devant, mais un de chaque côté (meilleure répartition des masses : un moteur essence, lourd, en place centrale arrière, deux moteurs électrique, plus légers, dont le centre de gravité est situé à l'avant au centre. On a l'avantage d'un quatre roues motrices lorsque la puissance demandée est importante et que le moteur à explosion est sollicité pour fournir de la puissance directe. De plus, on peut encore une fois supprimer le différentiel, avec un inconvénient de moins qu'avec les moteurs essence : en branchant les deux moteurs électriques en série, leur puissance s'adapte toute seule (celui à l'intérieur de la courbe tournera moins vite que l'autre, qui consommera alors ce que celui-ci ne consomme pas). Mettre deux moteurs électriques au lieu d'un a l'avantage de simplifier l'installation sur la voiture. En effet un moteur unique devrait être aussi puissant que les deux réunis, donc on devrait transmettre plus de puissance par l'axe de sortie moteur, et le moteur lui-même serait plus complexe et plus lourd. De plus, on devrait utiliser des mécanismes dont le rendement n'est pas de 1 (le cardan par exemple), d'où des pertes inévitables. On peut donc trouver un intérêt certain dans cette méthode.

4 moteurs :

Idéal pour la motorisation toute électrique, ce procédé permet de supprimer tous les organes de transmission de puissance. En effet, on peut mettre de petits moteurs directement dans les roues, sans arbre de transmission, cardans ou différentiels, pour obtenir une quatre roues motrices (comme expliqué dans le précédent paragraphe). Pour une puissance totale de 500 ch., c'est seulement des moteurs de 125 ch. qui devraient se loger dans les roues. Le problème est ici la masse de batteries. L'évolution de l'électrique étant ce qu'elle est, on peut prévoir ce dispositif dans quelques années.

Autre possibilité : quatre moteurs thermique directement dans les roues. Le but est le même, diminuer la puissance de chaque moteur emporté, les contraintes sont différentes : la coordination de la vitesse de rotation des quatre moteurs en fonction de l'orientation des roues directrices… Solution sans doute peu probable, sachant que les moteurs permettant de motoriser d'un seul bloc sont déjà au point et plus compacts. L'intérêt au niveau du refroidissement (voir la partie aérodynamique) serait important, cependant une limite beaucoup plus gênante apparaîtrait : En effet, on ne pourrait pas mettre ces moteurs directement dans les roues, car on aurait toujours besoin d'un système de freinage à cette place (on pourrait cependant en mettre au point un différent, directement sur l'axe moteur). Autre problème : la nécessité de boite de vitesse et d'embrayage porterait leurs nombres à quatre sur la voiture, ce qui est difficile à synchroniser et qui conduirait à un véhicule difficilement conductible.

5 moteurs :

C'est la méthode hybride combinée à une motorisation électrique quatre moteurs. Elle permettrait de combiner tous les avantages de ce dernier système, en supprimant le problème de l'autonomie. Cette solution, comme la « quatre moteurs », est idéale du point de vue

répartition des masses. On a en effet quatre moteurs électriques dont le centre de gravité correspond au centre de la voiture, et un moteur thermique et des accumulateurs dont le centre de gravité est, avec celui de la cellule, au même point.

Les objectifs du Système de Propulsion Hybride

Meilleures performances et accélérations grâce à un apport d'énergie instantané.

Récupération de l'énergie au freinage : une partie de l'énergie est convertie en électricité, le reste est transformé en chaleur (à comparer avec les voitures classiques qui en convertissent 100 % en chaleur).

Gestion avancée de l'énergie et du système.

Réduction du poids et réduction de la taille des composants.

Normes américaines/européennes de puissance :

Aujourd'hui, même si les constructeurs semblent s'être convertis au kilowatt depuis quelques années, la bataille avec les chevaux (de toutes sortes) est encore rude. Petit récapitulatif...

Dans les fiches techniques des années 60-70, les constructeurs, suivant leur origine géographique, avaient recours aux normes DIN, SAE, CUNA ou encore BHP:

- **DIN**: les Allemands utilisaient leurs chevaux DIN (*Deutsche Industrie Normen*); ceux-ci expriment la puissance d'un moteur tout équipé, installé dans la voiture et prêt à l'emploi.
- **SAE**: les Américains, pour leur part utilisaient les chevaux SAE (*Society of Automotive Engineers*), dits "brutes"; ils expriment la puissance d'un bloc moteur "nu", c'est à dire démuni de tous ses accessoires, tels que servo-frein, alternateur, ventilateur de refroidissement, qui engloutissaient parfois plusieurs dizaines de chevaux. Les chiffres annoncés étaient alors bien plus élevés qu'avec des chevaux DIN: par exemple, une Chevy Corvette de 1971 (7,4 l), annoncée à 430 ch. SAE, ne possédait que 330 "vrais" chevaux sous le capot.
- **CUNA**: les Italiens ont pendant quelque temps utilisé les chevaux CUNA (*Commissione Unificazione e Normalizzazione Autoveicoli*); même principe que pour les chevaux SAE: quelques accessoires en moins pour gonfler les chiffres.
- **BHP**: les Anglais, pour une fois de plus ne rien faire comme tout le monde, ont inventé leur propre unité de puissance: le BHP (*British Horse Power*). Un de ceux-ci vaut 1,0139 ch. DIN.

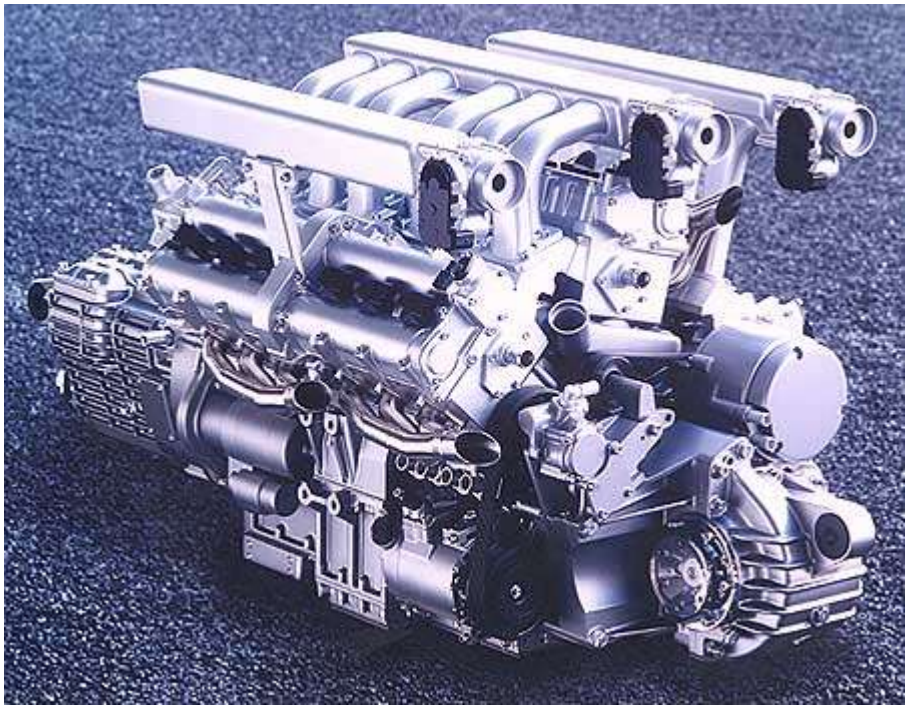
Il a fallu attendre le début des années 70 et la fin de la "course à la puissance" qui animait les constructeurs de Détroit, pour que tous adoptent les mêmes normes; les chevaux DIN l'emportèrent au nom de la transparence et du droit à l'information du consommateur.

Bilan :

Dans les diesels, le common-rail progresse comme tous les systèmes récemment inventés pour les diesels. Le diesel faisant ses premières armes sur les véhicules de course, les technologies « de base », comme l'injection, la compression, différent encore peu entre les modèles de série puissants et les modèles de course.

On remarquera que les moteurs les plus puissants réussissent encore à améliorer leurs performances, mais en diminuant le rendement. Ainsi le moteur le plus puissant mis au point à ce jour est le W18 que Bugatti implantera dans son nouveau modèle à partir de septembre

2005. Ce moteur délivrera 1001 ch. avec un rendement de 89 ch. par litre. Avec ses quatre turbocompresseurs, ses 18 cylindres en W et ses dispositifs de commande électronique de l'injection du carburant, il est sans doute le plus complexe mis au point à ce jour. On comprend alors pourquoi les diesels progressent si vite, compte tenu de leur « simplicité » de conception, face à des moteurs déjà si développés.



Le W18 de la Bugatti EB 18/4 Veyron

Bilan : l'hybride

C'est sûrement la solution la plus performante, car elle allie le confort et la flexibilité de l'électrique à la puissance et à l'autonomie de l'essence. Voyons ses organes spécifiques.

Séparateur d'énergie :

Le cœur du séparateur d'énergie est constitué d'un embrayage planétaire compact. Cet embrayage planétaire (voir schéma ci-dessous) commande les interactions entre le moteur à

essence, le moteur électrique et le générateur. C'est lui qui relie le bloc moteur/générateur-moteur. Il est plus léger et possède beaucoup moins d'éléments mobiles qu'une boîte de vitesses automatique standard à 5 ou 6 rapports telle que celles utilisées à l'heure actuelle sur la plupart des voitures de luxe. Tout cela contribue à augmenter la longévité du produit, à réduire les pertes de friction et à rendre le moteur plus silencieux.

Centrale électrique :

La « centrale électrique » hybride est un système unique en son genre, qui produit et gère une réserve d'énergie électrique stockée dans une batterie high-tech.

Batterie à haute densité de sortie :

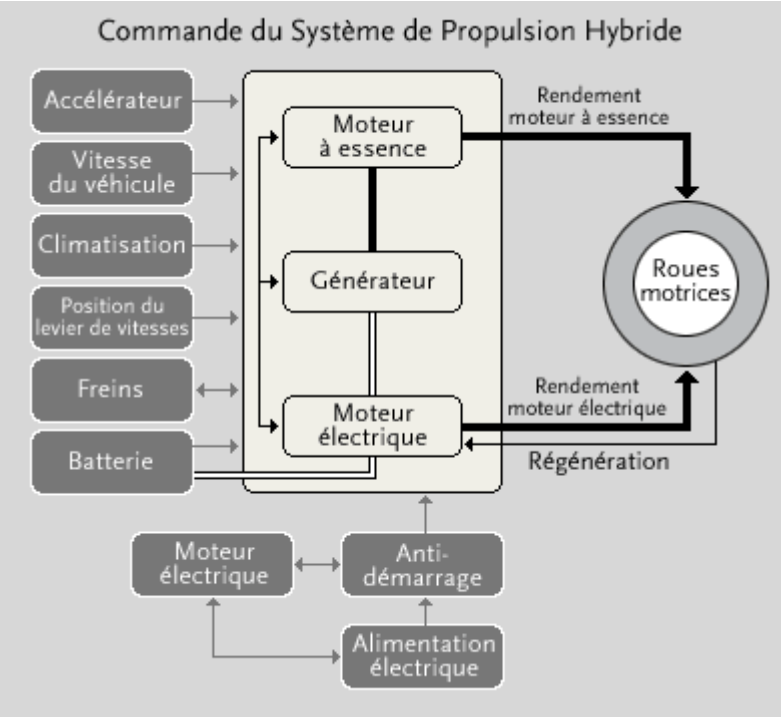
Pour animer le moteur et les systèmes électriques de la voiture, le système HSD utilise une batterie à haute densité de sortie. La batterie employée pour stocker l'énergie produite par l'HSD est une batterie nickel-métal-hydrure.

Groupe régulateur et commutateur à semi-conducteurs :

Le groupe régulateur et le commutateur à semi-conducteurs servent à gérer l'énergie entre le générateur, la batterie et le moteur. La batterie est un appareil à courant continu, alors que générateur et moteur sont des appareils à courant alternatif. Par ailleurs, la tension de sortie de la batterie ne correspond pas à celle du générateur, ni à la tension d'entrée nécessaire au moteur. C'est pourquoi ces deux appareils inversent et convertissent l'énergie requise par notre système.

Système de freinage régénérateur :

Le générateur est utilisé au cours du freinage pour ralentir le véhicule, produisant en l'occurrence de l'énergie électrique. Cette énergie est ensuite stockée dans les batteries. Traditionnellement, toute l'énergie utilisée pour le freinage est intégralement perdue. Le système est tout particulièrement efficace pour récupérer de l'énergie dans la conduite en ville, où les schémas répétés d'accélération et de décélération sont fréquents. L'absence de boîte de vitesses signifie une friction moindre dans le système, ce qui permet de récupérer davantage d'énergie cinétique sous forme d'énergie électrique.



Commande du système hybride Lexus

Transmission

La transmission est la partie qui lie le ou les moteurs aux roues motrices. Elle comporte trois parties principales : la boite de vitesse, l'embrayage, et le différentiel. Voyons ce qui à tendance à se développer.

Embrayage

Les embrayages assistés :

Il existe plusieurs types d'embrayage. Sur les premières voitures il était mécanique. C'est-à-dire que le conducteur devait exercer toute la force nécessaire pour désolidariser les

deux disques, maintenus par un ressort l'un contre l'autre. Les moteurs n'avaient alors pas un couple très important et le ressort n'avait pas une tension très importante. Cependant avec l'évolution des moteurs, qui prennent chaque année davantage de couple, le ressort doit être sans arrêt plus fort. Si bien que sur les voitures actuelles, le couple est si fort que personne ne pourrait plus exercer une pression suffisante sur la pédale d'embrayage pour décoller les deux disques. Un concept a donc vu le jour : celui d'embrayage assisté. Il consiste à exercer la pression nécessaire pour décoller les disques, lorsque le pilote fait un effort sur la pédale.

Les embrayages automatiques :

Il existe maintenant des embrayages automatiques. On observe en effet de plus en plus de véhicules équipés de boites automatiques ou séquentielles. Sur ces véhicules aucune pédale d'embrayage n'est nécessaire, l'opération est prise en charge par l'électronique de bord. Ce système sera détaillé dans le paragraphe sur les boites de vitesses.

Les nouveaux matériaux :

Les embrayages étant soumis à des contraintes toujours plus importantes, les matériaux employés doivent s'adapter pour pouvoir supporter ces contraintes. Ainsi Porsche, sur sa nouvelle GT, a conçu un embrayage directement issu des technologies employées en course. C'est l'embrayage céramique PPPC Porsche. La Carrera GT dispose donc en tant que premier véhicule homologué pour la route d'un système d'embrayage en céramique, le PPPC.

Le PCCC est un embrayage à sec à deux disques en céramique. Le résultat : une plus grande dynamique moteur, une réduction de la charge de synchronisation moteur. L'ensemble reste facile à manier, les passages de vitesse confortables.

Les disques céramiques à contrôle hydraulique sont très résistants. Leurs faibles diamètres permettent l'utilisation d'un petit boîtier. L'avantage : une construction très basse qui permet un abaissement du centre de gravité.

Embrayage Porsche

Boite

Les boites de vitesses que l'on rencontre sur nos voitures comportent généralement 4 rapports (pour les plus anciennes), ou 5 rapports. Les dernières nées, issues souvent des procédés de la course, en possèdent 6. Quant aux derniers concept-cars de voitures de course, comme la Chrysler ME Four-Twelve ou la Maserati Birdcage 75th, ils en possèdent 7. On peut donc imaginer les prochaines générations avoir 8 ou 9 vitesses… mais dans ce cas le passage à boite séquentielle ou automatique est obligatoire. En effet, un levier à 8 ou 9 positions parait peu pratique lorsqu'il s'agit de passer rapidement les vitesses.

Les boîtes manuelles :

Jusqu'à un passé encore proche, la plupart des boites étaient manuelles. C'est-à-dire que le conducteur devait passer les vitesses par un levier ou une position définie correspondait à un certain rapport. L'inconvénient majeur était le temps très long que prenaient les actions débrayage/passage du rapport/embrayage.

Les boites séquentielles :

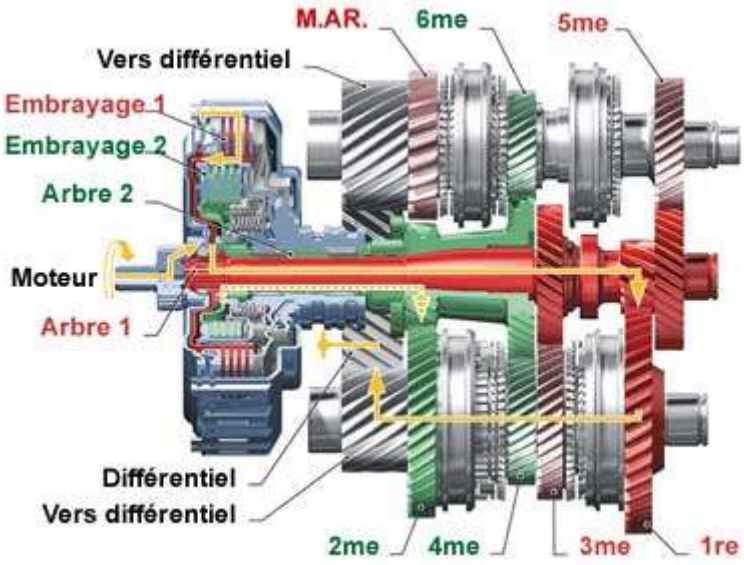
Beaucoup de voitures sportives sont maintenant équipées de ce type de boite. Une boîte de vitesses séquentielle est une boîte manuelle avec changements de rapports automatisés.

Cette technique, utilisée par l'intégralité du plateau de Formule 1, est reprise progressivement par les constructeurs spécialistes et généralistes.

Il ne faut cependant pas la confondre avec la boîte de vitesses dite automatique car elle offre un avantage de taille : un meilleur rendement.

Les nouvelles boites comme celle du constructeur Volkswagen-Audi, et de Porsche nommée DSG (Direkt Schalt Getriebe ou Direct Shift Gearbox - boîte à changement direct), essayent d'automatiser la transmission. Le DSG est un nouveau concept de boîte de vitesses manuelle à commande séquentielle. Elle a l'énorme avantage de pouvoir changer de rapports ultra rapidement et sans rupture de couple. Elle préfigure le nouveau système de transmission qui remplacera les anciennes générations de boite de vitesses manuelle à commande séquentielle.

C'est en fait deux boîtes en une. La puissance du moteur est envoyée alternativement sur l'une des deux boîtes, suivant l'embrayage sélectionné. Le différentiel récupère la puissance de chacune en sortie. La première boîte assure les rapports impairs (1, 3 et 5) et la seconde les rapports pairs (2,4 et 6). Ce qui permet un changement de rapport plus rapide qu'avec n'importe quelle autre boite.



On ne parlera pas ici des boites automatiques, car elles ont un moins bon rendement et ne sont pas adaptées à une utilisation en course (elles ne prennent pas en compte les contraintes futures, donc elles ne savent pas quand pousser une vitesse, ou rétrograder rapidement pour reprendre de la puissance pour les fortes et courtes accélérations. Il existe encore un autre concept : celui des CVT, à couple constant. Elles sont encore moins performantes que les précédentes, car elles fonctionnent à un rythme constant du moteur, d'où une nuisance sonore permanente et une consommation (et une pollution) maximum. L'avantage des boites (automatiques ou semi-automatiques) est de permettre de supprimer l'embrayage car c'est alors la voiture qui le prend en charge, pour plus d'efficacité : le pilote ne s'occupe plus que de monter ou descendre les vitesses à l'aide de palettes sur les séquentielles, il n'a plus besoin de savoir le rapport auquel il est, ni à s'occuper de l'embrayage, etc.…

Boite à palette Lamborghini (de chaque côté du volant)

Différentiel

Engrenage différentiel: combinaison d'engrenages permettant aux roues opposées de tourner à des vitesses différentes dans les virages.

Dans un virage, les deux roues d'un même train (avant - arrière) ne parcourent pas la même distance: la roue intérieure du virage parcourt une plus courte distance que la roue extérieure. Pour qu'une automobile puisse effectuer un virage correct, il faut donc leur donner des vitesses différentes. Cela est possible grâce au différentiel.

Il se compose d'une couronne dentée qui transmet le mouvement aux planétaires sur lesquels sont fixés les arbres des roues, par l'intermédiaire d'un pignon satellite.

Principe : Lorsque la voiture roule en ligne droite, la couronne, entraînée par l'arbre de transmission, fait tourner les arbres des roues à la même vitesse. Le satellite est immobile.

Quand le véhicule aborde un virage, une des deux roues tourne plus vite que l'autre: le satellite se met en rotation.

Le différentiel sera évidemment placé sur l'essieu actionné par le moteur. Dans un quatre roues motrices, un minimum de deux différentiels seront nécessaires; dans les 4X4 permanents, un troisième, appelé différentiel central ou inter-ponts, sera nécessaire pour compenser les différentes vitesses entre l'essieu avant et arrière.

Les voitures hybrides à moteurs électriques placés directement dans la roue permettent de supprimer les différentiels, même en 4x4 permanant. En effet, les roues ne sont alors pas liées mécaniquement : si la roue droite tourne plus vite que la gauche (virage à gauche), son moteur consommera plus que celui de l'autre roue, et en montant ces deux moteurs en série, l'électricité se répartit toute seule où on a le plus besoin d'elle. Sur un 4x4, le courant se répartira tout seul entre les roues avant et les roues arrière.

Ce phénomène intéressant à étudier s'explique comme ceci : le courant peut varier selon la charge, c'est-à-dire que si une roue est moins sollicitée qu'une autre, elle va demander moins d'énergie, et l'autre pourra recevoir ce qu'elle nécessite. Cette explication permet de comprendre tout l'intérêt d'installer des moteurs électriques directement dans les roues plutôt qu'un seul en position centrale, ou pourquoi on ne met pas des moteurs à explosion directement dans les roues. Cette dernière configuration viendra peut-être grâce aux calculateurs électroniques, mais ces moteurs ont l'inconvénient de ne pas se répartir automatiquement l'énergie disponible en fonction des besoins.

Bilan

En résumé, les transmissions prochaines devraient être manuelles à commande séquentielles, sur une boite double de type DSG, avec trois différentiels pour mieux répartir la puissance. On notera que les hybrides ou les électriques n'ont pas besoin de transmission autant développées grâce à la propriété des moteurs-roues de pouvoir se loger directement dans la roue, et de n'avoir aucune plage d'utilisation restreinte (2500-10000 tours sur un moteur à combustion interne).

Liaisons au sol

Roues

Pneumatiques

Les pneumatiques sont très sollicitées sur ce type de véhicule. Ainsi, lors d'une utilisation intensive sur circuit, il est possible d'user une paire de pneus en une après-midi seulement. Ceci est dû au fait que sur circuit, la charge verticale due à l'appui aérodynamique augmente considérablement. Les ailerons amovibles se déploient en effet, et la vitesse élevée se conjugue aux virages plus rapides pour augmenter l'effort auquel sont soumis les pneumatiques. A ceci on peut ajouter la température qui s'élève plus lors d'une utilisation sportive de la GT, qui change alors les propriétés du pneu. Certaines gommes vont ainsi accrocher beaucoup à froid, et se désagréger très rapidement dès que le pneu chauffe, d'autres vont mettre du temps à chauffer mais seront plus endurantes et performantes une fois chaudes.
De plus, le revêtement de la route change beaucoup la donne : le béton et l'asphalte ont ainsi des réactions bien différentes selon la température. Le béton voit ses performances augmenter de 0 à 26°, et rester largement supérieures à celle de l'asphalte jusqu'à 40°, tandis que celui-ci voit ses performances décroître sans cesse sur la même plage de température. Les gommes ont également d'autres paramètres modifiables, comme la dureté du caoutchouc. Un pneu dur permet de plus grands efforts latéraux, d'où son utilité en course pour mieux « accrocher » dans les virages, cependant il autorise de moins bons freinages, car le caoutchouc perd une partie de sa viscoélasticité lorsque l'on augmente sa dureté. Il faut donc « jongler » avec ces différentes caractéristiques selon le résultat que l'on souhaite obtenir. On peut encore détailler la largeur des pneus, et la surface de contact du pneu avec le sol. En effet, l'augmenter permet une augmentation de l'effort latéral maximum, donc c'est généralement ce qu'on cherche à faire sur toutes les voitures. On notera au passage qu'encore un choix doit être fait : celui des sculptures. Les pneus slicks permettent la meilleure accroche possible sur sol sec car ils offrent la plus grande surface de contact possible. Cependant, sur sol mouillé, les pneus doivent évacuer l'eau pour éviter l'aquaplaning et garder leur efficacité. C'est donc un compromis entre des sculptures larges et profondes permettant une bonne tenue même sur sol mouillé et des sculptures étroites peu profondes qu'il faut faire, car les GT doivent pouvoir tenir la route quelque soit le temps.
On peut encore dire que les capteurs de pression intégrés font leur apparition. Ils permettent en effet d'informer le conducteur de l'état du gonflage : une pression de gonflage trop élevée surcharge les bords de la bande de roulement, tandis qu'une pression trop faible en surcharge le centre. Une pression optimale vis-à-vis de l'usure pour un parcours autoroutier est donc insuffisante lorsque l'on veut conduire sportivement sur route sinueuse, du fait des transferts de charge. Informer le conducteur du gonflage permet donc de l'avertir quant à la conduite qu'il peut pratiquer. Les capteurs de pression intégrés avertissent également d'une crevaison et permettent l'auto-injection d'un liquide réparant, et ce pendant que le véhicule roule. Ils permettent encore au pilote de régler la pression selon le style de pilotage qu'il souhaite pratiquer : un dispositif peut alors être installé pour réguler automatiquement la pression des pneus pendant que une sortie. Cette régulation peut donc permettre l'adaptation de la pression même en cas de chaleur, c'est très utile car il ne faut pas oublier que la pression de l'air contenu dans les pneus augmente lorsque sa température monte.

Bilan : Les compromis seront toujours obligatoires avec les pneumatiques, car on ne peut allier les caractéristiques des gommes dures et on ne peut faire une gomme polyvalente toutes surfaces : béton, asphalte, températures : chaud, froid, humidité : pluie, sec, vitesses : rapide, lente et donc charge verticale…

Jantes :

Remarques générales : Les jantes n'ont qu'un rôle artistique, on pourrait les remplacer par un disque plein pour améliorer l'aérodynamique, et la cacher comme sur la Audi RSQ. Les matières utilisées sont généralement des alliages légers et très résistants aux contraintes de torsions qui sont imposées aux jantes pour transmettre l'effort du moteur aux roues. Ainsi les alliages magnésium-aluminium sont les plus usités actuellement. Sur les GT du futur, ce sera les alliages d'alors qui seront utilisés. Aucune prédiction n'est possible à ce sujet, car une révolution technologique permettra peut-être la création d'un nouvel alliage. Cependant on peut déjà avancer la piste des nanotubes de carbone, ultralégers et ultra-résistant (approximativement 10 fois plus légers et 100 fois plus résistants, mais ces valeurs progressent d'année en année). On prévoit, d'après les esquisses des plus grands designers, que la tendance va être à la dissimulation des roues, donc les jantes devront être hyper-légères et pourront être des disques, plus faciles à fabriquer que celles de maintenant, ce qui compensera un peu les matériaux très chers employés.

Actuellement, les tailles les plus courantes sur les prototypes sont de 19 pouces à avant, et de 20 pouces à l'arrière. Ce qui pourrait changer avec la meilleure répartition des masses et la transmission intégrale. On aurait alors des jantes avants/arrières de même diamètre, environ 19 ou 20 pouces, soit un peu moins de 50 centimètres.

Direction

La direction agit sur les roues afin de tourner. On peut noter que depuis les directions à crémaillère, elle n'a eu de cesse de s'automatiser. Ainsi les principales évolutions ont été les suivantes : de manuelles elles sont devenues assistées, puis, récemment, Citroën (environ 5 ans après Ford) a décidé de supprimer la colonne de direction pour vouloir loger un airbag plus performant dans le moyeu alors fixe du volant. Les aides à la direction telles qu'anti-patinage et correcteur de trajectoire ont commencé, depuis plusieurs années déjà, à automatiser la direction. Voyons ce qui pourra être proposé dans quelques décennies.

Au niveau des aides, le GPS et le détecteur de lignes permettent déjà presque un pilotage automatique sur les grands axes, après le régulateur de vitesse. Ils devraient donc à partir de maintenant le rendre totalement autonome assez rapidement. Une palette d'outils, très en rapport avec les points détaillés dans la partie sur l'interface homme-machine de la cellule (et d'ailleurs un peu détaillé à cette place) permettant au conducteur de converser avec les autres conducteurs de son environnement direct sera également proposée, afin de pouvoir user d'un autre système nouveau. Celui-ci permettra au pilote de se laisser conduire en adaptant automatiquement son allure et sa trajectoire à la voiture le précédent. Ainsi des convois de voitures pourraient s'organiser (sans problèmes de distances de sécurité, car toutes les voitures exécuteraient les mêmes changement d'allure au même instant) permettant une automatisation de la direction des voitures même hors routes balisées. Le pilote pourrait alors se laisser guider par ses « collègues », ce qui n'empêcherait pas de le laisser se concentrer sur circuit en désactivant toutes les aides à la trajectoire et au guidage. Ce dispositif, très cher, ne pourra dans un premier temps n'être proposé que dans les voitures très haut de gamme (les premières à avoir à l'époque, opté pour les régulateurs de vitesse). On peut donc affirmer, avec de fortes probabilités de succès, que cet équipement sera présent dans les GT du futur : leur propriétaire sont en effet amateurs de sport automobile mais ils apprécient malgré cela le fait de se faire conduire par leurs bolides. Les limites morales de confiance envers la machine seront plus simples à franchir pour des amateurs d'automobiles révolutionnaires que par les autres personnes.

Dans la même voie, on revient donc à la direction elle-même : les directions à crémaillères étaient totalement mécaniques, on a ensuite dû les équiper d'un système hydraulique commandé par un cerveau électronique pour créer la direction assistée. C'est le système qui prévaudra toujours dans les GT, car c'est elle qui permet au pilote de piloter (elle n'est pas complètement automatique) mais en lui offrant plus de rapidité et un effort réduit.
Le principe de la direction assistée est de fournir la force complémentaire, que le pilote n'arrive pas à fournir lui-même, qui fera tourner les roues, et ce même si des efforts déjà importants s'appliquent sur celles-ci. Avec l'apparition de la direction assistée, les pilotes ont pus maîtriser plus facilement leurs véhicules : au lieu de faire plusieurs tours pour tourner, un seul peut aujourd'hui suffit : ceci est dû a la démultiplication de l'effort, diminuée par rapport à précédemment.

Il existe maintenant de nouveau concept de direction : BMW a mis au point une direction assistée qui adapte l'angle de braquage des roues à la vitesse, et ce non seulement au niveau de la roue elle-même, mais également au niveau de la sensation due au retour de force, renvoyée au pilote. Les concepts de directions assistées à moyeu fixe et adaptation de braquage à la vitesse devraient donc être présent dans les GT de l'avenir, car ils permettent au pilote d'être beaucoup plus précis dans sa tâche, et plus réactif grâce à la modération de l'effort à fournir. Les volants à moyeu fixe pourront être remplacés par des joysticks d'ici quelques décennies, pour gagner de l'espace dans le cockpit. L'essentiel avec la direction électronique est de renvoyer l'information au pilote de l'état des forces qui s'exercent sur les roues de façon à vouloir perturber leur braquage.

On revient à un autre point, permis par les directions assistées déjà, mais apparemment pas réalisé d'après les maquettes, plans, et voitures réelles inspectées. C'est celui du recentrage de l'axe de rotation des roues, qui avait été excentré pour que les roues reviennent en place toutes seules lorsque le pilote réaccélérait (comme sur les roues d'un caddie de supermarché). Ce système est en effet inutile maintenant : la direction assistée peut être connectée à l'accélérateur pour produire les mêmes effets. Ce recentrage permettrait de justement réduire les efforts que la direction doit fournir, car on aurait plus de force tendant à faire se remettre droites les roues. D'où un effort minoré à appliquer sur les roues dans certains virages.

Bilan : La direction pourrait alors consister en un volant ou joystick à retour de force commandant la voiture comme une manette de jeux vidéo, et en deux petits servomoteurs positionnés directement à proximité des roues : toute la masse du système hydraulique de la direction assistée contemporaine, du moyeu mobile et de la barre liant les deux roues serait alors supprimée au profit de deux « petits » moteurs. L'axe de rotation sera donc confondu avec le centre de la résultante des forces de frottements du pneu sur la route, pour permettre cela.

Châssis

Le châssis de la voiture, monocoque ou tubulaire, est la partie centrale de la voiture à laquelle tout est rattaché. Il comprend le pilote, donc il doit être capable d'absorber de gros chocs, mais peut être très léger (à titre d'exemple le châssis d'une Formule 1 ne peut peser que 35 kg !). Le châssis tubulaire est souvent réalisé en fibre de carbone. Ce matériau d'abord développé par l'aérospatiale est 5 fois plus léger que l'acier et 2 fois plus résistant. C'est le meilleur que l'on puisse trouver pour la conception de GT, il est d'ailleurs employé depuis plusieurs années en F1. Le châssis doit pouvoir résister aux forces très importantes produites par les vitesses élevées, les secousses et la charge aérodynamique, imposés à la voiture. La procédure pour fabriquer des pièces en carbone est la suivante : Le baquet est d'abord conçu sur un logiciel de CAO puis une machine contrôlée par ordinateur découpe des morceaux d'ureol pour en faire un moule (procédé au laser : ces moules ne sont fait qu'en quelques minutes). L'ureol n'est pas très différent du bois, mais c'est un matériel synthétique qui n'absorbe pas l'eau. Il est également moins granuleux et ne se transforme pas avec la température, ainsi des modèles très précis peuvent être faits. Ces modèles de châssis sont alors couverts de fibres de carbone pour créer le moule final à partir duquel le châssis sera conçu. La fibre de carbone est entreposée en rouleaux et doit être réfrigérée jusqu'à son utilisation. On applique ensuite de la résine et un durcisseur sur les parties à agencer afin de former un tout. Une fois le moule obtenu, il est poli dans toute sa partie intérieure puis enduit de

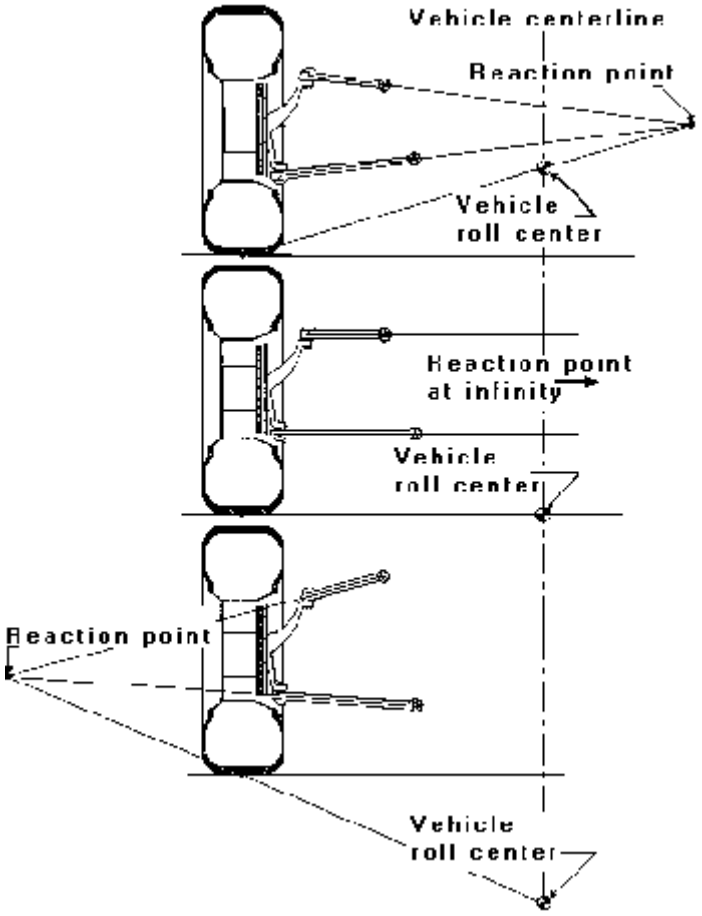
lubrifiant pour faciliter le démoulage du baquet final. Le moule est soigneusement rempli de couches de fibres de carbone. Les fibres de carbone se présentent comme n'importe quels tissus mais ils peuvent être chauffées, leur procurant alors une incroyable solidité. La façon

dont ces fibres sont disposées est très importante car les fibres jouent un rôle primordial dans l'absorption des efforts et des forces subies par la voiture vers d'autres parties du châssis. La fibre est travaillée pour s'adapter exactement au moule du châssis. Le nombre de couches souhaité atteint, le moule est alors mis dans une machine à vide (sac hermétiquement fermé et pressurisé) pour littéralement sucer la couche de carbone afin de l'adapter le plus possible au moule. Le nombre de couche nécessaire diffère d'une zone à une autre : plus les pièces sont soumises à des contraintes importantes, plus elles auront de couches. Le nombre moyen est d'environ douze couches. Pour renforcer la rigidité, une couche en nid d'abeille d'aluminium est positionnée au milieu des couches de carbone. Une fois le nombre correct de couches appliquées, le moule est mis dans un four autoclave où il est chauffé et pressurisé. Le four autoclave a la particularité de pouvoir faire un vide partiel et de pouvoir changer l'atmosphère qui y règne en la remplaçant par d'autres gaz dont les atomes se fixent sur les pièces. Cela peut se produire juste sur la surface des pièces, ou bien pénétrer dans la pièce et ajouter de nouvelles caractéristiques aux matériaux. Les températures élevées libèrent la résine des fibres et la haute pression (plus de 100 psi) scotche les couches entre elles. Tout au long de ce processus, les fibres durcissent et se solidifient pour un résultat final atteint au bout de deux heures et demi. Quand tout est terminé, la surface est poncée pour la rendre présentable, et on peint les pièces à la couleur désirée par le client (les supercars sont tous des modèles uniques).
Les parties internes tels que les pédales et le tableau de bord sont collés directement dans le baquet grâce à de la résine d'époxy. Le réservoir est situé juste derrière le siège du pilote (pour avoir la meilleure répartition possible des masses), comme le moteur dans le cas d'une implantation en position centrale. Les durites reliant le réservoir au moteur sont facilement déconnectables de façon à ce que lorsque le moteur se sépare du châssis lors de graves accidents, le carburant soit arrêté automatiquement. Cette technique vient de la Formule 1, elle est utilisée pour la raison dans les GT : la sécurité lorsque le moteur est éjecté de la voiture. Chaque pièce en carbone doit être testée avant de l'utiliser afin de prévenir tout défaut, car si une pièce lâche à 350 Km/h (vitesse atteinte par les meilleures de ces voitures), cela peut devenir très dangereux pour le pilote.
Le châssis est ensuite complété par la fixation du moteur, de la boite de vitesse et du différentiel sur celui-ci. Il ne reste plus ensuite qu'à installer les suspensions, le dispositif de direction, les roues (avec éventuellement leur moteur interne et leur alternateur), … et tous les organes périphériques.

Bilan : le châssis sera donc sans doute semi-tubulaire, en carbone (fibres ou nanotubes), pour allier légèreté et solidité. Les nanotubes, dont on n'a pas parlé ici, sont plus résistants et plus légers que les fibres, mais ils ne sont pas encore employés dans les usages courants comme l'automobile (usage uniquement en recherche et ingénierie). On a cependant émis une hypothèse : ils remplaceront les fibres dans toutes ses applications actuelles d'ici trente ans.

Suspensions

FIGURE 12: UPPER & LOWER A-ARM SUSPENSION



Le "Réaction point" est le centre instantané de rotation de la suspension.
C'est-à-dire que si la roue monte ou descend un peu autour d'une position (lors du passage d'une bosse ou d'un nid de poule par exemple), on considère que le centre de rotation de la roue se déplace sur un cercle dont ce point est le centre.
Un centre instantané de rotation loin des roues signifie que l'on a peu de changement de carrossage, donc un effort latéral sur le pneu qui varie peu. On remarque que la position de ce point varie si la suspension est en compression ou en détente, car cette position est entièrement déterminée par la géométrie du train.

Le « Roll center » est quant à lui le centre de roulis de la suspension : c'est le point d'intersection entre la ligne reliant le point de contact du pneu et le centre instantané de rotation, et le plan médian de la voiture. Cela suppose que la suspension du véhicule soit symétrique même en virage (et c'est faux car un coté est en compression et l'autre en détente).
Néanmoins dans un cas statique, c'est autour de ce point que tourne la caisse par rapport aux suspensions. Le roulis de la caisse est lié à la distance entre le centre de gravité des masses suspendues et le centre de roulis de la suspension : plus la distance est grande et plus la caisse prend du roulis.

Un centre de roulis haut limite donc le roulis de la caisse mais implique beaucoup de forces latérales sur les pneus donc des effets sur la suspension. A l'inverse, un centre de roulis bas limite les forces latérales mais implique plus de roulis de la caisse. Si on a du roulis de caisse, on change aussi la géométrie de la suspension car la compression augmente sur la roue extérieure.

La tendance actuelle est d'avoir un centre de roulis assez bas. Cependant on peut augmenter la raideur des ressorts de suspension et/ou ajouter des barres antiroulis, afin d'avoir un centre de roulis bas et un roulis limité.

La position du centre de roulis avant joue sur le transfert de forces entre roue intérieure et roue extérieure du train arrière et inversement. Pour avoir un véhicule 'sous vireur' il faut avoir le centre de roulis de la suspension avant plus haut que la suspension arrière pour favoriser le transfert au niveau du train avant.

Donc en résumé, le choix de la position du centre de roulis (et donc l'arrangement des bras de la suspension) est un compromis entre une multitude de points.

On notera que ceci n'est qu'un cas statique (si on commence à prendre en compte la dissymétrie des suspensions en virage ça se complique grandement et là, il faut passer à des simulations de systèmes dynamiques ...), mais qu'il permet déjà de comprendre le fonctionnement du système et les enjeux de la barre anti-roulis et de la raideur des suspension. On voit aussi ici pourquoi les voitures à suspensions « classiques » ne peuvent avoir et peu de roulis, et peu d'efforts latéraux sur les suspensions. Il faut donc essayer de trouver un système pour maîtriser le roulis en ayant un centre instantané de rotation de suspension à l'infini.

Double-triangulation : Les suspensions à double triangulations ont été un premier progrès pour éloigner le « réaction point », car elle diminue l'arc parcouru par les roues lorsque les suspensions sont utilisées, en maintenant toujours les roues verticale.

Glissières : L'unique technologie permettant d'avoir un « réaction point » à l'infini est d'avoir des suspensions montées sur glissières. Cette solution est à priori difficile à mettre en œuvre car elle impose beaucoup de frottement lors des efforts latéraux, de plus les « ressorts » devraient encore être changés, rigidifier, pour pouvoir être implantés dans une structure de ce type.

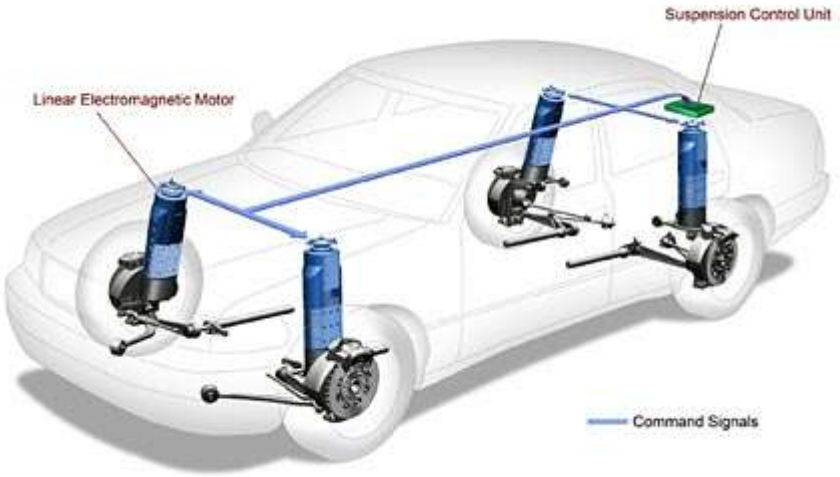
Suspensions magnétiques : Lexus vient de mettre au point des suspensions magnétiques. On a alors une glissière d'axe vertical et un amortissement régulé électroniquement par des électro-aimants. C'est vraisemblablement la solution idéale : la glissière implique un centre instantané de rotation à l'infini, et l'amortissement piloté par ordinateur permet de maîtriser la prise de roulis de la caisse. De plus le pilote peut être informé de la position des suspensions, pour éviter d'aller au-delà des limites du système (intensité des électro-aimants trop grande). Cela permet alors la suppression des butées pour avoir une distance d'amortissement en marge, au cas où la voiture passe par exemple sur une bosse alors que les suspensions magnétiques sont déjà soumises à leur charge maximum.

On remarquera une propriété intéressante des aimants : la force qu'ils sont capables de fournir est inversement proportionnelle à la distance les séparant, tandis que dans les ressorts couramment utilisés, la force fournie est proportionnelle à la distance d'écrasement (d'où l'utilité de la butée en cas de force trop importante, pour éviter un choc lorsque le ressort est compressé ou détendu à son maximum).

Fonctionnement des suspensions magnétiques :

Les suspensions magnétiques reposent sur un moteur linéaire mis au point par Bose, il s'agit d'un moteur électrique reposant sur le principe de l'électromagnétisme, qui produit une force et non un couple.

Celui-ci est monté à la place des habituels ressorts hélicoïdaux, sur la suspension.



La voiture est équipée ensuite de ces quatre suspensions, pilotée par un cerveau électronique de contrôle des suspensions.

On remarquera que les suspensions magnétiques ont été conçues pour un véhicule lourd. Notre idée a été d'imaginer un système pour améliorer ce que permettent déjà les systèmes d'amortissement pilotés et de barres anti-roulis sur les voitures de course, également développés pour les grosses berlines pour les premiers et pour les SUV pour les secondes.

Amortissement piloté : On peut citer l'amortissement piloté comme prédécesseur des suspensions actives : c'était un système permettant de réguler l'amortissement, comme les suspensions magnétiques, mais grâce à une vanne maîtrisant l'huile des ressorts hélicoïdaux.

Barre anti-roulis : Cette barre, généralement ronde et en forme de U, est fixée au châssis et relie les roues droite et gauche à ses extrémités.

C'est l'autre solution pour limiter le roulis et diminuer les contraintes sur le pneu, elle est aussi appelée barre stabilisatrice.

Elle ne se déforme que s'il y a une différence de hauteur d'une des roues. C'est le cas, par exemple, dans les virages. Son élasticité et sa raideur réduisent la tendance au roulis du châssis.

Par contre, une trop grande raideur de la barre va diminuer le confort et l'information de la limite d'adhérence au conducteur. De plus, une barre plus raide sur l'essieu avant ou arrière donne réciproquement au châssis une tendance au sous-virage ou au survirage.
Ces barres sont donc très dures pour des véhicules rapides.

Barre stabilisatrice avant de la Volvo XC-90

Pour avoir un véhicule sur ou sous vireur, il faut donc changer la barre anti-roulis : c'est beaucoup plus compliqué pour le propriétaire que de choisir électroniquement la configuration de son système. La barre anti-roulis est le système le plus performant qui existe pour améliorer le comportement de la voiture, avec les suspensions actives. Il a l'avantage d'être plus simple à mettre en place (une simple barre) et également beaucoup plus léger. Il allie comme elles un CIR haut et un roulis limité.

Suspensions à basculeurs : ces suspensions sont utilisées en F1, elles permettent de réduire l'encombrement. Peu d'informations ont été trouvées sur ce sujet, mis à part que la Porsche Carrera GT les a repris. Leurs avantages doivent être uniquement au niveau de la place et du positionnement dans la voiture. On ne s'y intéressera pas davantage dans cette étude.

Bilan

Les suspensions magnétiques semblent être les plus performantes pour réduire les efforts latéraux sur les pneumatiques et améliorer la tenue de route sans avoir un roulis trop important.

Bilan

Les liaisons au sol devraient beaucoup progresser : l'apparition des nanotubes de carbone sur le marché d'ici 25 ans va alléger la structure tout en la renforçant et en lui ajoutant des propriétés de déformation lors des chocs violents. Les moteurs linéaires Bose permettront d'avoir des suspensions actives très performantes, avec un roulis totalement maîtrisé et des efforts latéraux sur le pneu minorés. Le travail sur les gomme permettra lui aussi de dégager des avancées intéressantes : grâce au développement de la nanotechnologie, Fulda pourra allier les propriétés de ses meilleurs pneumatiques afin de les rendre encore plus polyvalentes. Les designers montrent également dans leurs dessins d'ensemble l'évolution

prochaine du dessin des jantes et le carénage des roues (qui jouent un rôle dans l'aérodynamique). L'électronique enfin, va permettre de simplifier la direction grâce à un joystick ou au moins de l'alléger grâce au moyeu fixe.

Cellule

La cellule est l'espace de vie du pilote et du ou des passagers éventuels. En cela il doit être confortable et agréable, pratique et faciliter le pilotage, bien aménagé, permettre une concentration optimale du pilote sur sa tâche, lui fournir les informations dont il a besoin et ce de manière à le perturber le moins possible. Il doit également être assez facile d'accès, **maintenir et protéger le ou les occupants en cas d'accident**, transmettre de manière simple à interpréter les réactions de la voiture, et surtout donner aux personnes à bords des sensations (puissance, vitesse, réactivité, tenue de route, …) qu'elles cherchent lorsqu'elles acquièrent le véhicule. L'aspect sécuritaire peut également (mais il faudrait que ce soit une décision officielle…) être un bridage électronique hors circuit.

Confort/Aides diverses

Les véhicules de course étant toujours des hauts de gamme, le confort fait partie intégrante des obligations de la machine.

Les matières :

Les matières couramment utilisées dans ce type de véhicule ne changent pratiquement pas : matières luxueuses cohabitent en effet toujours avec les matériaux high-tech ultra-light, on sait déjà ce qu'ils vont être ces prochaines années. Les matières luxueuses seront toujours l'alcantara et le cuir et les matériaux les plus légers seront sûrement encore le magnésium et l'aluminium, ainsi que le kevlar.

Les aides diverses :

Il existe de multiples aides au pilotage à ce jour. Peu devraient être apportées sur ce type de voiture à l'avenir. En effet, ces véhicules doivent favoriser le pilotage, donc apporter trop d'aide serait malvenu. Les aides récemment ajoutées concernent les manœuvres, ces machines étant très larges, longues, et offrant peu de visibilité sur l'arrière.
On peut recenser ces aides principalement :

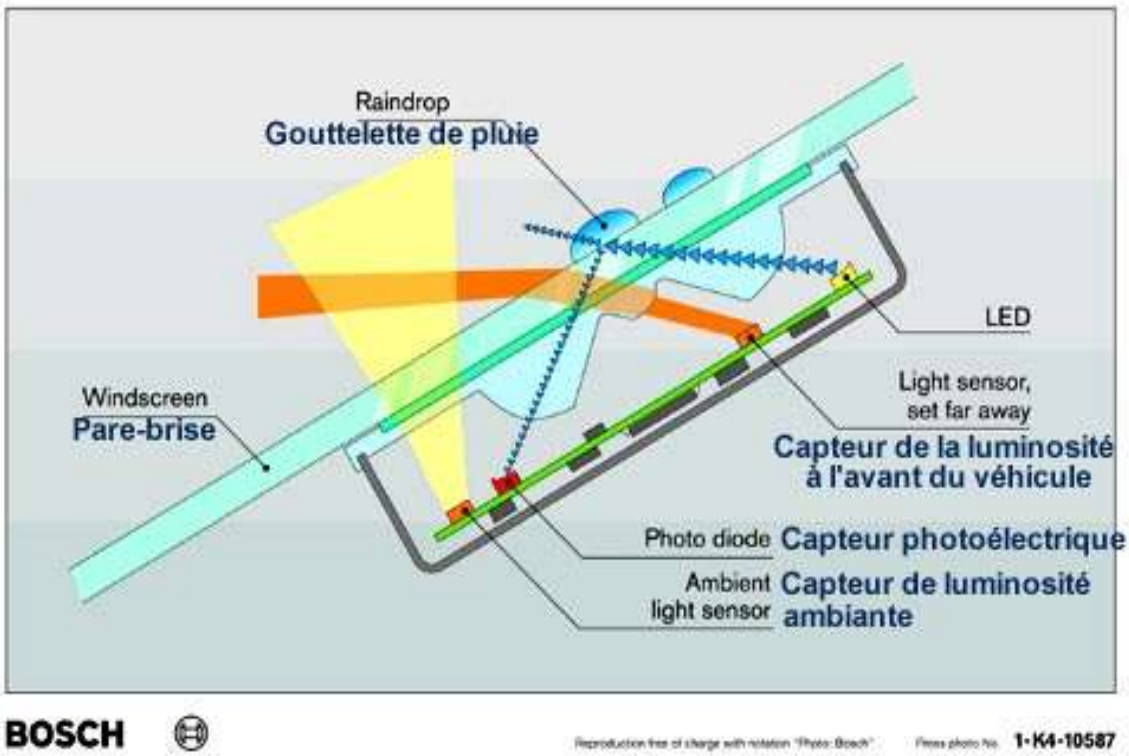
Conduite :

Anti-patinage et correcteur de trajectoire : ces fonctions régulent les efforts (accélération, freinage, virage) afin que la voiture suive la trajectoire désirée par le pilote, et ce même si la route est glissante par exemple.

Anti-blocage des roues : il permet, lors d'un freinage brutal, de ne pas perdre le contrôle du véhicule suite à un dérapage dû au blocage des roues. L'anti-blocage agit sur la pression exercée par les freins sur chaque roue : lorsque le seuil de décrochage du pneu est presque atteint, le frein relâche légèrement son action, pour reprendre dès que la limite s'éloigne.

Radar de recul (aide aux manœuvres) : il permet au conducteur de savoir où se trouve son véhicule par rapport aux obstacles qui peuvent se présenter lors de son mouvement (voitures, plots, bacs à fleurs, …). Sur la prochaine génération de véhicule, ce radar pourra commander l'auto en gérant l'espace et la vitesse, afin d'avoir une rapidité d'exécution plus importante.

Confort :



Les capteurs d'aide à la vision, permettant l'auto-allumage des feux, le réglage d'opacité du pare-brise, le déclenchement des essuie-glaces (provisoirement)

Le système Keyless (sans clé) : il permet une sécurité contre le vol. Le vol par imitation des clés ou pass et ici impossible car c'est l'empreinte digitale ou la voix du conducteur autorisé, modulée par une phrase convenue à l'avance ou par une position des doigts, qui permet le démarrage. Ce système a encore l'avantage de la simplicité : plus de clé à transporter, le conducteur se présente devant sa voiture et elle le « reconnaît ». Cette fonction renforce donc l'impression de fusion entre le pilote et sa machine.

L'essuie-glace automatique : il ne sera ici pas détaillé, car on peut miser sur son remplacement par l'utilisation de l'hydrophobie des verres, que les recherches en nanotechnologie vont permettre rapidement.

Le rétroviseur à adaptation de luminosité électronique : ce procédé baptisé électrochrome jour/nuit automatique a pour but de réguler la teinte des rétroviseurs en fonction de la quantité de lumière qui leur parvient et de la luminosité ambiante. Ce système permet de supprimer l'éblouissement du conducteur la nuit par les phares des voitures qui suivent la sienne, par exemple. Son fonctionnement repose sur l'utilisation de capteurs de luminosité. On détaillera plus loin la rétrovision totalement électronique, donc on ne s'attardera pas plus sur cette technologie car on parie sur le remplacement de cette rétrovision optique par la rétrovision complètement électronique. On ajoutera dans ce paragraphe une remarque sur un système d'aide au changement de file possible actuellement : le capteur volumétrique ou le capteur IR, vérifiant la présence de véhicule dans la voie que l'on veut emprunter.

Le siège à maintien actif : le rôle des sièges sera détaillé plus loin, dans leur paragraphe. Celui-ci permet de maintenir les occupants du véhicule en s'adaptant au mieux aux circonstances. On imagine encore une fois un remplacement, ici par les sièges baquets sur mesure. Il semble que ce soit l'avenir du siège des GT d'être sur mesure, afin d'être le plus adapté possible à la morphologie propre au conducteur. Les moyens de sécurité des sièges des voitures de course ne nécessitent pas l'emploi de technologies de maintien actif grâce à ce siège baquet. Le fonctionnement des sièges à maintien actif n'est pas expliqué en détail, on ne pourra donc aller plus loin dans cette voie.

Commandes :

La commande vocale a pour rôle est de supprimer quelques commandes manuelles, telles que le démarrage à clé (elle fait partie d'un système Keyless), les commandes de régulateur de vitesse, les fonctions secondaires comme le GPS, … Ce mode de contrôle du véhicule contribue encore au renforcement de la symbiose homme-machine, car ils peuvent désormais se communiquer par la voix ! On obtient également par cette technique un allégement de la charge de commande du pilote, qui peut ainsi être moins préoccupé par les éléments externes à la conduite pure et profiter mieux des sensations, d'où une conduite plus intuitive. En effet, étant plus réceptif aux informations données par les sensations, et étant informé par la voix de la voiture qui peut lui transmettre des infos de position, de problèmes mécaniques, du niveau du carburant, … il peut conduire plus intuitivement, la mécanique étant non plus asservie à lui, mais alliée pour le pilotage. La machine est alors capable de jouer elle-même le copilote. Le pilote n'a alors plus l'embarras du choix de la direction non plus, car la machine lui indique les directions à prendre par une flèche projetée devant lui (la direction par voix, comme sur les GPS actuels, semble vouée à disparaître, car elle empêche de communiquer d'autres informations plus importantes au pilote, elle est en outre moins efficace qu'un symbole projeté dans le champ visuel du pilote). C'est ici un point important de cette étude : la simplification du pilotage par interface interactive homme-machine. La tendance permanente de l'homme est de se simplifier la vie en inventant des machines toujours plus poussées. L'erreur humaine étant responsable de 95% des accidents de la route, beaucoup de spécialistes de sécurité routière pensent que l'avenir sur les voitures classiques

est l'automatisation totale. Qu'en serait-il dans les GT, si le pilote n'était plus que le passager de sa machine ? C'est impossible ! Les GT conserveront donc un pilote, au moins sur circuit. Que garderont-ils comme fonction ? Ils seront pilote, et pilote uniquement. Ce seront les cerveaux dirigeants la machine dans l'espace, en agissant sur la vitesse et la trajectoire. Il est donc logique, dans cet esprit, d'imaginer l'exaltation maximum des réflexes du pilote, au profit de sa réactivité et de son intelligence du pilotage, dans les voitures du futur. Le pilote ne sera alors plus qu'un cerveau dont la voiture sera un second corps. Toutes les sensations qu'il recevra seront traitées pour lui être le plus parlant possible, pour lui faire oublier la machine : il pourra ainsi sentir les virages, les chocs, la puissance utilisée, l'état du dispositif de freinage, l'état de la progression de la vitesse moteur, la température, …, mais de manière à ce qu'il ai l'impression que c'est uniquement lui qui se déplace. La voiture devra donc réagir aussi rapidement que des membres, et l'effort fournit pour diriger devra être très faible. Le volant semble trop complexe pour automatiser sa manipulation, on peut donc prédire son remplacement par une sorte de joystick, fixé sur le côté de latéralité naturelle du pilote (droitier, gaucher). La main du pilote y sera totalement solidarisée, ce sera comme un gant monté sur un axe mobile de gauche à droite. Il devra également être hypersensible, afin que le pilote puisse l'assimiler à un organe qui lui soit propre. Pour informer le pilote de l'orientation à donner aux roues pour aller à l'endroit choisi, il sera équipé d'un système de retour de force qui renverra au pilote la correction à apporter pour parvenir à suivre la bonne trajectoire malgré un dérapage, un manque d'adhérence, … (L'ordinateur interne peut en effet calculer les conséquences d'une perte d'adhérence ou d'autres mouvement de ce type grâce à des capteurs spatiaux et à d'autres situés dans la roue). Ce système informera également le pilote de l'effort que subissent les pneumatiques, par rapport à leurs capacités. Le pilote composera avec cette technologie pour adapter l'orientation des roues à ce qu'il souhaite. Les suspensions de la voiture, par exemple, seront aussi soumises à des modifications : elles pourront avoir un amortissement parfaitement régulé par électronique (grâce au système électromagnétique), mais l'état de compression des suspensions sera transmis au pilote (par un changement de position de la cellule par exemple), afin qu'il puisse connaître la vitesse maximale à laquelle il peut rouler sans risque matériel. La puissance et le freinage pourront être régulés grâce à deux pédales et, éventuellement à une boite de vitesse séquentielle placée dans la main opposée à celle commandant la trajectoire. Les pédales quant à elles, grâce à un effet sur la dureté et à des vibrations, pourront traduire le bon fonctionnement, ou la limite atteinte par le système. On pourra ainsi avoir des vibrations donnant une impression de flux au conducteur pour lui transmettre le bon fonctionnement et l'utilisation intensive (comparable à un flux sanguin qui augmente lors de l'effort). D'autres vibrations pourraient alors indiquer la limite presque atteinte du système (comme un muscle qui a fourni une force importante mais qui commence à fatiguer). Un dernier effet devrait enfin être utilisé : la dureté, qui informe catégoriquement le pilote de la limite atteinte par la machine. Il peut alors continuer à exercer une pression sur la pédale, mais celle-ci devient de plus en plus dure avec l'augmentation de la charge sur le mécanisme. S'il continue encore, la pression va le forcer à lever le pied pour revenir à une charge efficace, en appliquant une force supérieure à la sienne pour protéger le système de la destruction, sans pour autant supprimer la charge. Cette régulation permet alors au pilote de doser en permanence l'effort qu'il applique, pour ne pas briser sa machine en dépassant trop longtemps ses limites. La dernière information qui peut lui parvenir par retour de force dans ses commandes est celle-ci : une information de tours moteur dans la commande de boite. Celle-ci peut en effet l'informer du moment de passer la vitesse, en condition d'accélération normale ou de freinage, grâce à une alerte lorsque les tours deviennent trop rapides ou trop lents. Une information peut revenir par la combinaison enfin : celle de la température des pneus, du

moteur, … Grâce à des techniques de refroidissement ou de chauffage, on peut en effet appliquer sur le corps du pilote des changements de température, l'informant ainsi de ce qu'il peut faire. Exemple : on pourrait faire varier la température des pieds pour informer le conducteur de l'état des pneumatiques (froid = froid, tiède = bonnes conditions, chaud = dégradation avancée), dans ce cas le conducteur peu prendre des mesures appropriées, grâce à son expérience corporelles, qu'avec n'importe quel affichage « passif ». Froid : il doit faire chauffer ses pneumatiques, tiède : il peut rouler au maximum de ses capacités, chaud : il faut ralentir pour ne pas perdre la trajectoire, car les pneus ont perdu l'essentiel de leurs performances d'accroche.

Autre exemple d'utilisation de la commande vocale : la communication avec les voitures de l'entourage. Ainsi le pilote, comme avec un talkie-walkie, pourrait échanger des infos, particulièrement de destination, afin de s'arranger avec les autres conducteurs pour se reposer un peu en activant un dispositif de poursuite automatique, basée sur la communication des paramètres de vitesse et de trajectoire, permettant le maintient de distance de sécurité (les voitures roulent à la même vitesse), et le respect de la trajectoire (la voiture suiveuse applique la même orientation des roues lorsqu'elle arrive au même endroit, grâce à un calculateur qui localise la distance en fonction de la vitesse et du temps). Lorsque les routes des deux personnes doivent se séparer, ils peuvent le savoir grâce à leur communication initiale sur la destination finale. Ce système aurait pour première vocation un usage sur les routes trop petites pour être balisées par une technologie de guidage automatique.

Sécurité :

Ces bolides pouvant se mouvoir à plus de 350 ou 400 kilomètres à l'heure, la sécurité des occupants doit être une des priorités lors de la conception du véhicule. On retrouve la même cellule que dans les voitures de course pures car ces GT ont des performances à peu près similaires, et elles sont atteintes sur circuits. Voici les éléments essentiels de sécurité cellule :

Arceaux de sécurité : arc métallique situé derrière les sièges dans un cabriolet destiné à assurer la sécurité des passagers en cas de tonneau.

Casques : il a la lourde fonction de protéger le cerveau lors d'un impact violent, en effet le pare-brise ou les arceaux de sécurité peuvent alors être défoncés, la seule protection qui reste aux passagers est alors ce casque. De plus, le conducteur, malgré de bons airbags et une ceinture bien bouclée risque toujours d'avoir sa tête qui rentre en contact avec le pare-brise lors du choc. La protection qui protège est alors le casque, une fois de plus.
On peut intégrer un dispositif particulier pour éviter la paralysie, conséquence la plus courante des accidents corporels non mortels : c'est un maintien de la nuque. Ce dispositif est couramment employé en formule 1. C'est un système qui, fixé au casque, à la colonne vertébrale et à la voiture permet un maintien efficace de la colonne vertébrale et prévient ainsi la rupture de la colonne. De plus ce système permet un maintient du casque et empêche donc le conducteur de rencontrer le pare-brise, même en cas de choc violent.

Airbags : dispositif très courant pour absorber l'énergie du choc. Tout le monde connaît maintenant son fonctionnement. Des mems (micro-capteurs) répartis dans la voiture

captent les accélérations, et en cas de détection de forte accélération, le système commande le gonflage d'airbags du côté critique en quelques fractions de seconde.

Le dernier moyen très efficace de sécurité, maintenant obligatoire en France sur toutes les automobiles, est la ceinture. Sur les véhicules de course, cette ceinture est doublée pour former un harnais de maintien au niveau de l'abdomen. Ce système de double ceinture a un avantage majeur sur celui à simple ceinture : il permet d'absorber plus d'énergie en causant moins de dommages. En effet, l'effort est mieux réparti sur la surface du corps, et le défaut des ceintures habituelles (défoncement de la cage thoracique) peut ainsi être évité à vitesse égale. Cependant, en course, les pilotes complètent cette protection par une épaisse combinaison, qui améliore le maintien, et dont le rembourrage contribue à encore mieux répartir l'effort sur le corps. De plus la combinaison, lors de l'accident, peut être retenue par des attaches spéciales, permettant ainsi un maintien de tous les viscères (pour contenir les risques d'éclatement de la rate, du foie…), du bassin et des jambes, d'où un risque minoré d'hémorragies internes et de jambes broyées…

Vision :

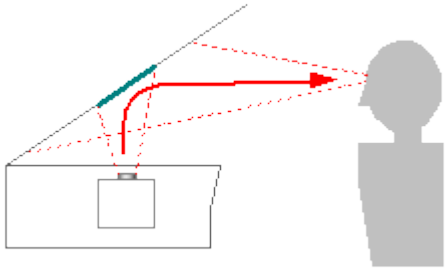
Il existe quatre principaux dispositifs pour améliorer l'organisation du champ visuel du pilote : l'HUD et la vision nocturne, complémentés par des caméras pour surveiller l'espace autour du véhicule sans détourner son attention du pare-brise et sans changer la distance de focalisation des yeux, enfin le pare-brise hydrophobe permet d'avoir toujours au conducteur une vue nette, non masquée par les taches ou les gouttelettes d'eau.

Affichage tête haute : les nouveaux prototypes confirment la volonté des constructeurs de mettre au point l'affichage tête haute sur la prochaine génération de voiture de course. De plus, on sait maintenant qu'un accord de recherche a été passé entre l'industrie aéronautique (seule à posséder la technologie de l'affichage tête haute jusqu'à ces accords) et l'industrie automobile dans le but de développer cette technologie pour un usage de série dans les prochaines générations de véhicules, et dans un avenir plus proche, de le proposer dans tous les véhicules haut de gamme (plus particulièrement ceux de course, nécessitant une grande concentration sur la conduite).

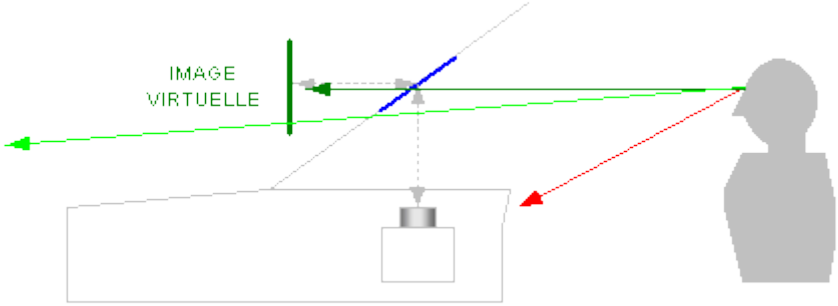
Vision nocturne : après la mise au point des HUD, les constructeurs ont pensé à un moyen de faciliter le travail du conducteur la nuit.

Affichage tête haute (HUD) :

L'affichage HUD (Head Up Display) permet de réduire le temps de lecture de l'information sur le tableau de bord par le conducteur. En effet, les informations sont inscrites "sur la route" et il n'y a pas à baisser les yeux pour lire les informations importantes comme la vitesse, le régime moteur ou une alarme.
Pour cela, on colle sur une zone du pare-brise un film semi réfléchissant. Il faut également un écran ou un projecteur dans le tableau de bord. Enfin, un microprocesseur pour analyser les données du véhicule et les transformer en éléments graphiques…



Un avantage pour le conducteur est l'adaptation plus facile entre la route et l'information :



L'effet miroir permet de créer l'illusion que les informations sont affichées dehors (flèche verte), au niveau du capot. Le conducteur garde donc un regard lointain au lieu de devoir adapter sa vision au tableau de bord (flèche rouge).
D'après Renault, les gains sont importants :

	Sans HUD	Avec HUD
Temps de détournement du regard	0,20 s	0,05 s
Temps d'adaptation de la vue	0,60 s	0,40 s
Temps de détournement du regard	0,20 s	0,05 s
TOTAL	**1,00 s**	**0,50 s**

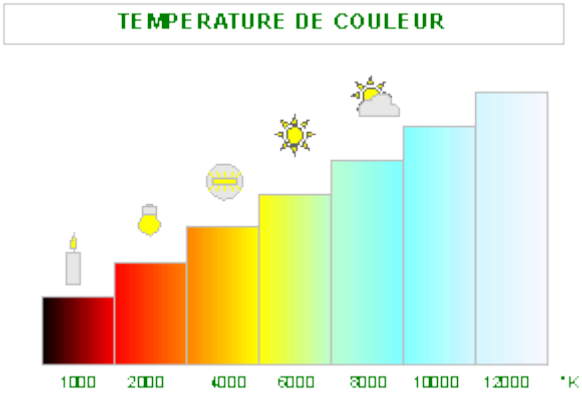
Le résultat est sans appel : cela pourrait éviter les pertes d'attention pour la surveillance de la vitesse et de nombreux accidents (à 60 Km/h, la distance parcourue en 0.5 seconde est de 10 mètres). Cette technologie a encore un coût très élevé et la généralisation de ce système (comme aux Etats-Unis sur les Corvette CHEVROLET) ne devrait plus tarder en Europe sur les véhicules haut de gamme.

Exemple d'affichage avec un HUD :

Vision de nuit :

IR : Une caméra infrarouge placée à l'avant du véhicule, reliée à un ordinateur filme la route. Son principe de vision est basé sur la température de couleur :

Tout corps chauffé émet de la lumière. Faiblement chauffé, la lumière est plutôt rouge tandis que chauffé au maximum la température de couleur est blanche ou même bleue. La caméra infrarouge capte donc les radiations thermiques émises par les objets sur la route.



La caméra peut donc filmer des objets dont la température est très inférieure à 1000°K (0°C = 273.15°K), comme des êtres vivants, hommes ou animaux...

Exemple de vision normale et avec une caméra IR (Mercedes).

Les caméras IR étant sans doute plus chère que les autres, on limite souvent leur nombre à un, ce qui ne permet que la projection sur la partie conducteur du pare-brise, dans un coin de celle-ci, ou dans un coin du tableau de bord, que le conducteur vient alors consulter s'il a un doute quand à la nature exacte d'un événement survenu devant lui.

La solution la plus utilisée est la première, car elle permet au conducteur d'avoir une vue plus directe de son environnement. De plus, comme on l'a vu avec le paragraphe sur les

HUD, cette technique permet de maintenir l'attention du chauffeur sur la route, contrairement à l'indicateur dans un coin du pare-brise…

Amplificateur de lumière : Une nouvelle piste de recherche vient d'apparaître pour la vision de nuit : l'amplification par informatique de lumière. Ainsi sur le nouveau concept-car de Chrysler, la ME 4-12, ce sont 6 caméras qui filment tout l'entourage de la cellule afin de pouvoir, après traitement par un logiciel développé exprès, projeter dans tout l'habitacle un supplément de lumière, donnant alors au pilote l'impression d'être en plein jour. Cette méthode est très coûteuse, beaucoup plus que la précédente, mais possible à installer sur des GT nouvelle génération comme vitrine technologique...

On pourra émettre une remarque : le conducteur voyant les autres de manière précise, comme en plein jour, peut se sentir apte à conduire à la même vitesse qu'en journée. Cependant, les autres usagés, qu'il côtoie, ne sont pas forcément munis du dispositif, et si lui voit les autres, rien ne dit que les autres le voient. Il doit donc être encore plus attentif pour ne pas surprendre les autres conducteurs moins rapides ou ayant plus de difficulté à conduire. Il ne fait aucun doute quant à l'utilisation de ce système (qui pourra même se déclencher tout seul lorsque la luminosité diminuera) dans ces prochaines décennies. Cette technologie devrait pouvoir encore progresser afin de mieux restituer l'impression de lumière naturelle, et s'accommoder plus qu'actuellement à d'autres sources de mauvaise visibilité telles que brouillard et pluie.

Rétroviseurs électroniques :

Ce système existe sans doute sur quelque berline très haut de gamme. Cependant il n'est pas connu et on peut miser sur son développement d'ici quelques années dans les véhicules de course. En effet, ceux-ci ayant une petite cellule et un arrière très imposant (surtout pour celles dotée d'un énorme aileron), les rétroviseurs doivent être placés à l'extérieur de la cellule, en hauteur, ce qui distrait le conducteur, lors d'un changement de file par exemple. La technologie actuelle permettra peut-être bientôt de palier cet inconvénient et de supprimer les angles morts, en filmant à l'aide de plusieurs petites caméras numériques

toute la largeur derrière la voiture. Ceci, avec une projection dans le bas du pare-brise, offrirait la possibilité au conducteur de savoir ce qui se passe derrière lui sans avoir à tourner la tête et sans détourner son regard de la route. Tous les conducteurs ont sans doute déjà remarqué la difficulté de regarder dans son rétroviseur intérieur ou extérieur droit lorsque la circulation change brusquement et qu'il faut se déporter pour passer : pour être sûr de ne pas percuter un autre véhicule lors de la manœuvre, il faut vérifier à gauche ou à droite, puis derrière, et enfin surveiller l'angle mort en se retournant ! Voila donc ici tout l'intérêt de cette technique.

Exemple d'usage de caméra, ici pour l'aide aux manoeuvre.

Pare-brise hydrophobe :

Dernier moyen permettant d'améliorer la vision du conducteur, ce pare-brise a pour but d'empêcher l'eau de se fixer sur le pare-brise, et donc de supprimer les essuie-glaces. Cette particularité autorise de nouvelle forme de pare-brise, puisque la forme régulière nécessaire pour l'emploi d'essuie-glaces ne l'est plus. Le pare-brise pouvant avoir une forme plus solide facilite la suppression des montants et arceaux, et permet donc une meilleure visibilité. On a donc deux composantes d'amélioration de la vue : la suppression des balais d'essuie-glaces et des gouttelettes d'eau qui s'aplatissaient sur le verre et perturbaient la vision en temps de pluie, la suppression des montants qui masquent une partie du champ de vision.

Conception générale :

On remarquera la progression du sur-mesure, comme dans tous les haut de gamme (comme la haute couture par exemple), qui permet un confort optimal, et des prestations maximales. Dans cette catégorie de véhicule à séries très limitées (100 exemplaires par an maximum en moyenne), la tendance devrait continuer à augmenter. Le montage à la main, assisté par ordinateur, permet de personnaliser sa voiture au niveau du design, des couleurs et matières, pourquoi cela ne serait pas également le cas des portières, de la hauteur du cockpit, de la longueur de la cellule, du débattement des pédales, du diamètre du volant, … ?

Les sièges :

Les sièges évoluent chaque jour afin d'offrir toujours plus de confort, plus de sensations. Ainsi les sièges ne permettaient qu'un maintien « de base » : une banquette un peu bombée pour ne pas glisser sur les bords. Puis on a étudié les formes afin de les faire des formes plus ergonomiques, plus adaptées ou adaptables à la morphologie du conducteur. C'est ainsi que le siège des prochaines GT sera a maintien actif, pour assurer au pilote une position toujours pratique et un maintien du dos irréprochable. Pour cette catégorie de véhicule, les sièges sont de plus en plus, comme le reste du cockpit, fait sur mesure, afin d'avoir la meilleure harmonie possible entre le pilote et la machine. Les sièges actuels (et sans doute aussi à venir) sont de type baquet. Le conducteur est enfoncé dans son siège afin d'en être le plus solidaire et de pouvoir profiter des accélérations latérales. La combinaison maintien renforce cette union. Le siège du futur, d'après ce qui précède, devrait donc être totalement enveloppant, afin de créer la symbiose la plus complète réalisable, et de permettre la conduite la plus instinctive au pilote. On peut prévoir une combinaison comprise dans le siège, qui se referme sur lui pour l'attacher et le maintenir.

Cinématique :

Les constructeurs font preuve sur chacun de leur concept-car de prouesse d'ingéniosité pour mettre au point les cinématiques des portes et verrières les plus grandioses.
Sur les derniers modèles sortis, on citera par exemple la Maserati Birdcage 75th, dont la verrière s'ouvre sur toute la longueur avant de la voiture pour permettre aux passagers de prendre place. On peut également citer la Koenigseggs CCR, dont toutes les parties (capots, coffres, portières, peuvent s'ouvrir dans des mouvements harmonieux. La « mode » est donc à l'automatisation des dispositifs d'ouverture béante, qui laissent accès au spectateur au cœur en apparence profond de la voiture, et qui créent l'impression d'un pilote au centre d'une immense machine et renforce l'image de puissance, très racée, des voitures de course. Cette automatisation quant elle, donne le symbole de la technologie enveloppant totalement le pilote, le secondant et le renforçant.

Les portières, après maintes solutions techniques différentes, vont donc être sans doute supprimées, et ce malgré les dernières propositions des ingénieurs comme l'ouverture élytre restylée dans les GT comme la Ferrari Enzo, l'ouverture papillon dans la Audi RSQ… pour être remplacées par des verrières gigantesques et automatisées par des vérins.

Formes et astuces diverses :

Forme de la cellule : Les cellules sont encore généralement simple : ovales à deux places côte à côte, recouvertes par une verrière. Mais cela devrait également changer. Ainsi Lamborghini a fait le choix de séparer la cellule en son milieu dans sa nouvelle Concept-S, en laissant juste assez d'espace pour pouvoir discuter et n'être pas coupé du partenaire. Cette idée permet, au niveau aérodynamique, d'avoir une moins grande surface frontale donc moins de frottement et de résistance à l'avancement. La visibilité est aussi améliorée, car les montants du pare-brise peuvent être totalement supprimés. De plus, le pilote peut être plus concentré car il ne voit que sa route et n'est plus autant distrait par son passager. Cette innovation ramène à MacLaren, qui a en son temps usé d'un procédé similaires sur sa F1 en plaçant l conducteur au milieu, devant deux passagers. Le conducteur avait par cette occasion de meilleures sensations de par sa position centrale, et une visibilité très nette, car aucun obstacle ne se présentait sur son côté pour remarquer ce qui arrivait depuis le côté passager. Les montants de pare-brise n'étaient pas tant gênants non plus, car à cette place, l'essentiel du champ visuel est dans le pare-brise. On imagine cependant un nouveau concept : dérivé du

double cellule et position centrale, on pourrait placer le passager derrière le pilote, en surplomb, comme dans les cellules d'avions de chasse. On sait par ce biais que la solution est très aérodynamique, qu'elle offre un point de vue parfait pour le pilote, et que ce type de verrière, avec (HUD !) est déjà au point depuis longtemps, donc les efforts de renforcement et d'allégement seraient minimes pour la marque qui se lancerait dans le procédé. Combien de places sont idéales dans une GT ? Classiquement c'est deux, en largeur, afin que les deux occupants aient une bonne visibilité sur les événements. Cependant avec cette méthode on pourrait en mettre plus et longueur. Bémol : la hauteur nécessaire caractériserait la voiture, car le dernier passager devrait nécessairement être plus haut que celui du milieu s'il désire voir quelque chose (il suffit de regarder le bobsleigh, où les passagers sont parfaitement aveugles, pour s'en persuader…). Le mieux donc, à part dans le cas déjà évoqué de la MacLaren F1, paraît être de placer deux personnes l'une derrière l'autre.

Inclinaison dans les virages : Autre solution que l'on peut apparenter au bobsleigh, présent sur un prototype d'une marque peu connue : l'inclinaison de la cellule dans les virages. Elle permet au pilote d'avoir des sensations plus proches de celles rencontrées dans l'aviation et de supprimer les ballottements d'un côté à l'autre dans les virages. Elle à malgré tout un inconvénient par rapport aux autres voitures, majeur en régime de course, à confirmer cependant : celui de transmettre moins correctement les accélérations latérales et de moins informer le conducteur sur les capacités de sa voiture à l'approche de ses limites. Ce qui se traduit par une mauvaise appréciation des possibilités restantes et peut conduire à un véhicule plus difficilement maîtrisable (ce qui va l'encontre de ce que l'on cherche à produire depuis le début) et à des risques de sortie de route plus fréquentes. Cependant, on reste persuadé qu'un conducteur formé à cette technologie, ou habitué, réussirait aussi bien qu'avec une cellule fixe. Il existe un autre avantage que l'on a pas réussi à trouver dans les fiches techniques mais dont nous faisons l'hypothèse : l'amélioration de la tenue de route. En effet, la masse de la cellule pouvant se mouvoir, l'effort sur les pneumatiques est peut-être un peu minoré, d'où un substantiel appui supplémentaire. Reste la question : vaut-t-il mieux se faire secouer dans tous les sens lors des virages ou s'habituer à une nouvelle technique ? Les vrais amateurs d'automobile répondront sans doute que les accélérations latérales témoignent de la tenue de route et qu'un véhicule avec ce « gadget » n'est fait que pour les mauvais pilotes, qui ne savent pas apprécier ce signe pour améliorer leur conduite. Je rétorquerai alors que cet outil permet de nouvelles sensations, et que pour des machines devant apporter des sensations, ça devrait être applaudis par tous les fans de voitures de course.

Sensations : ces machines à sensations doivent évoluer pour offrir l'impression de vitesse, de tenue de route, de réactivité, de puissance, la plus importante possible. Ainsi, les pédales peuvent vibrer légèrement pour faire le sentir le flux de puissance du moteur au pilote. Le volant devra également changer pour faciliter la prise en main et faire sentir les limites de la voiture au pilote. L'électronique devrait faciliter la tâche des concepteurs. La sensation de tenue de route peut être exploiter d'une nouvelle manière, comme expliqué dans le paragraphe qui précède. La sensation de vitesse est cependant majeure. C'est sur elle que les constructeurs doivent plancher pour exalter le plaisir des pilotes sans qu'ils soient obligés de pulvériser des records et de mettre en jeu leur vie ou celle des autres… Voici quelques-unes de nos idées : commandes plus intuitives qui accentuent l'impression d'immersion dans la voiture. Le pilote se sent alors plus confiant et il peut profiter des sensations de conduire sans rouler plus vite. Ça lui procure du plaisir en comparaison de ce qu'il a l'habitude de conduire car il conduit sans y penser. Il peut alors mieux voir la vitesse. Un capot plongeant et un pare-brise descendant assez bas permettent d'avoir un champ de vision élargi sur la route, et de voir passer le sol entre les roues, d'où une sensation de vitesse encore augmentée. On peut également rendre transparente à volonté quelques éléments intérieurs, comme le plancher de la voiture, ou le bas des portières. La conséquence est encore la même. La dernière proposition serait un petit tuyau passant à proximité de l'oreille du pilote, dont celui-ci

pourrait décider l'ouverture afin d'y laisser passer de l'air. Il entendrait alors le bruit du vent qui vient à son encontre et se rendrait alors peut-être compte de ce que cela représente.

Bilan

Les cellules seront hyper-développées au niveau de l'interface homme-machine pour permettre une meilleure fusion entre le pilote et le véhicule. Les formes et technologies permettront au conducteur d'être totalement solidaire de sa voiture, en sécurité maximale, et d'augmenter ses capacités (vision de nuit, HUD pour accélérer les réflexes, …)

Aérodynamique

Une voiture de course, pour pouvoir tenir la route, doit être maintenue les quatre roues en contact permanent avec le sol avec une solide liaison unissant ces deux éléments, et une force est nécessaire en plus du poids pour que cela soit. En effet, augmenter le poids signifierait majorer également la puissance pour obtenir les même performances (accélération, vitesse maximale) mais également la dimension des pneumatiques, qui devraient fournir davantage d'accroche pour parvenir à effectuer un virage à la même vitesse. On voit donc d'après ce raisonnement que, pour qu'une voiture aie les meilleures performances possibles, il faut réduire son poids au minimum. Sur quoi alors jouer pour créer l'appui dont on a absolument besoin ? Il y a un point que l'on va donc aborder dans cette partie : celui de l'aérodynamique. Une voiture, comme tout véhicule sur cette planète, doit lutter contre les frottements de l'air pour pouvoir avancer. Afin de les minorer, on va chercher à avoir les surfaces directement perpendiculaires au vent relatif les plus rares possible et en règle générale à profiler toutes les pièces en contact direct avec l'air, cela afin de faciliter l'écoulement laminaire de l'air autour du corps de la voiture. On peut encore ajouter des structures en nids d'abeille dans les entrées et sorties d'air afin de perfectionner cet écoulement. Mais on peut alors penser que, si l'on doit lutter contre l'air pour avancer, cet air pourrait servir à créer cette force d'appui si recherchée. On appellera cette force l'appui aérodynamique. On peut distinguer plusieurs composantes : l'effet de sol ; toutes les formes s'appuyant sur un phénomène d'aile telles que les ailerons.

L'effet de sol

L'effet de sol est un phénomène qui se produit lorsqu'un véhicule se déplace à faible altitude. Certains avions tels les Ekranoplanes russes ou les Pélicans américains les utilisent

pour déplacer de lourdes charges (chars d'assaut ou transport massif de troupes) à faible vitesse pour un avion, mais très rapidement pour un paquebot. Ces avions créent en fait un coussin d'air sous les ailes. L'effet de sol utilisé dans une voiture est inversé : au lieu de produire une surpression entre le véhicule et le sol, on crée une dépression qui le maintien au sol. On remarquera que l'effet de sol est inversement proportionnel à la distance séparant le véhicule du sol. On remarquera que, sur les avions, la dépression est responsable des 3 quarts de la portance. L'effet de sol à donc un rôle d'importance au moins égale aux ailerons.

Diffuseur :

Placé en position centrale arrière, il a pour fonction de détendre l'air qui est passé entre le sol et le plancher de la voiture et de supprimer les turbulences formées par cette brusque détente. C'est donc cette pièce qui permet à l'effet de sol d'être bénéfique car il supprime une majeure partie de la traînée induite sinon par les turbulences et tourbillons qui

se forment à l'arrière de la voiture. En outre, il participe grandement à l'effet de sol en détendant l'air : détendre l'air veut en effet dire créer une dépression, c'est-à-dire dans cette situation précise de l'effet de sol.

Le plancher plat :

Situé sous toute la voiture, il y permet un bon écoulement de l'air. En effet, sous les autres voitures, les différentes pièces qui y sont présentes perturbent cet écoulement et empêchent le phénomène d'effet de sol. Légèrement incliné vers l'avant, il participe à l'effet de sol et donc à la tenue de route. En effet, cette inclinaison crée une dépression : comme un goulot à l'envers, il détend l'air et plaque la voiture au sol. Sa surface importante lui confère également une grande influence dans l'effet de sol. Les nouvelles générations ont vu une innovations dans leur utilisation : pour augmenter l'effet de sol aux hautes vitesses, la hauteur de caisse peut diminuer (par action sur les suspensions par exemple).

Les surfaces d'appui

Le fonctionnement des surfaces d'appui repose sur le principe inverse de l'effet de sol. C'est en effet la surpression qui se produit sur le dessus de la voiture et sur les divers ailerons qui jouent dans ce cas. Le mécanisme est plus aisé à comprendre que celui de l'effet de sol : le vent relatif que crée la voiture en se déplaçant est utilisé pour l'appuyer contre le sol. Ce vent exerce une force sur la surface de la voiture en se heurtant contre celle-ci. La surface étant globalement inclinée vers l'avant, le vent appuie donc en plaquant la voiture sur le sol.

Les ailerons

Ce sont des surfaces d'appui rajoutées aux formes « normales » de la voiture. On les retrouve sur toutes (ou presque) les GT actuelles. Ils assurent 25% de l'appui à haute vitesse sur les voitures de compétition, mais ne commencent de toute façon à être efficaces qu'à partir

d'une centaine de kilomètres par heure au moins. Ils peuvent être placés à l'avant ou à l'arrière, mais généralement pas ailleurs pour ne pas surcharger les lignes de la voiture.

Les ailerons amovibles :

La plupart des voitures de course de nouvelle génération sont de nos jours équipées d'ailerons amovibles. Au-delà d'une certaine vitesse (généralement de 150 à 250 kilomètres par heure), ces ailerons se déploient pour assurer un appui aérodynamique supplémentaire. Leur avantage est de pouvoir être déployés uniquement lorsque leur usage est nécessaire, et donc de ne pas augmenter la traînée inutilement à faible vitesse. Ils sont logés dans des parties parfois invisibles de l'extérieur, et de nouveaux types d'ailerons amovibles sont disposés sous la voiture pour augmenter l'effet de sol selon le même principe.

Le cockpit :

La forme du cockpit est étudiée pour offrir le moins de résistance au vent possible, et profiter de cette importante surface frontale pour augmenter l'appui aérodynamique. C'est pour cette raison qu'il est très incliné et profilé. Les nouveaux cockpits ont des surfaces transparentes de plus en plus grandes, d'une part pour augmenter la luminosité (confort) mais l'explication en est surtout que, ces véhicules étant très bas, ces surfaces facilitent la vision du conducteur sur son environnement. C'est encore pour cette raison que les montants de toits disparaissent peu à peu de ces voitures.

Les autres surfaces… :

Il reste encore beaucoup de surfaces extérieures sur une voiture, qui participent à l'appui aérodynamique car en contact avec l'air. On peut citer le dessus des roues, les cotés du cockpit, la surface entre les deux roues arrières. Sur une voiture, ces surfaces peuvent être utilisées pour des raisons aérodynamiques (on évacue l'air passant sur le dessus des roues avant par des ouies), offrant du coup un appui supplémentaire. Les cotés du cockpit tendent à disparaître pour alléger la voiture car ils ne servent à rien (pas de pièces mécaniques, ni d'appui …) et cela permettrait de gagner du poids. Ce point sera abordé plus loin. La surface entre les deux roues arrières est quant à elle utilisée comme d'un aileron et une sortie moteur. On peut voir sur la plupart des GT des ouies à cette place, diffusant la chaleur de l'air passé dans l'échangeur d'air. Sur les autres, cette surface est souvent dans le prolongement de la cellule, elle est alors construite en verre. Sa position sur le dessus et l'arrière lui donne un rôle important : c'est le bord de fuite de l'aile constituée par la voiture. Elle a donc pour rôle de limiter les turbulences (plates) et de ne pas créer l'effet de portance, d'où son inclinaison horizontale ou même plongeante. Sur la Ferrari Enzo, dont l'aérodynamique est particulièrement soignée, c'est uniquement ces surfaces qui créent l'appui, et ce de manière si efficace qu'elle n'est pourvue d'aucun aileron supplémentaire.

Le nez :

Il a un rôle important dans le comportement de la voiture à haute vitesse et l'appui aérodynamique. C'est pour cela que les marques ayant une écurie en formule 1 ont vite reporté leur expérience sur leurs modèles commerciaux. En effet, le nez d'une formule 1, après une étude approfondie, s'avère très intéressant pour assurer un comportement sain à la voiture. Il

fend l'air et crée ainsi une force de maintien de la voiture sur sa trajectoire en ligne droite (stabilisation : la voiture garde son cap sans vibrer), de plus en canalisant l'air sur les côtés de la voiture il permet à cet air de limiter les turbulences dues au cockpit. Sur ce point, on peut encore ajouter qu'en le plaçant dans le prolongement du cockpit, il améliore grandement l'écoulement de l'air. Il permet par sa possibilité d'orientation du flux de limiter les vibrations. En virage il a également la fonction de limiter la création d'une force venant s'opposer à l'adhérence des pneus. Sans lui, l'ensemble de la carcasse se comporte davantage comme une aile verticale, dont la force générée serait environ dirigée vers l'extérieur du virage. En canalisant l'air sur les côtés, il uniformise un peu la pression et diminue cette force parasite.

Les conduits internes/externes :

Interne : Une voiture, ce n'est pas qu'un bloc fermé dans lequel l'air ne pénètre pas lorsqu'elle est en mouvement. Au contraire, mieux vaut essayer de guider l'air à travers, pour profiter de son appui au maximum, pour avoir moins de détours à faire pour alimenter le radiateur (pourquoi pas ?). Avoir des conduits de ce type permet également de diminuer la traînée, car l'air est ainsi quitte de s'engouffrer dans le moteur n'importe comment et de rencontrer des obstacles qui augmenteraient le CZ… Ces conduits, conçus de pair avec la structure du châssis, permettraient même un allégement. Les surfaces frontales peuvent également être adoucies : on achemine l'air à travers la voiture, et on l'évacue progressivement, pour rencontrer les surfaces les plus profilées possibles. On peut s'inspirer des voitures telles que la Maserati Birdcage 75th pour prévoir l'inclusion de conduits dans toute la voitures, le recentrage de la cellule et du moteur, et le positionnement d'espaces permettant d'améliorer la moindre des surfaces grâce à des sorties d'air bien placées : autour des pots d'échappement pour améliorer l'évacuation des gaz et de la chaleur, ainsi que pour faciliter le fonctionnement du turbocompresseur (si les gaz d'échappement sont entraînés par l'air circulant autour de la voiture, ils pourront sortir encore plus facilement, or faut-il rappeler que le compresseur repose sur la vitesse d'échappement des gaz ?). Dans les phares également, lieu très opposés à l'écoulement de l'air car positionnés verticalement. Les conduites, comme en témoigne la Audi RS-8, devraient peupler toute la voiture bientôt. En effet, cette voiture est constituée d'une cellule, d'un réservoir et d'un moteur centrale, entourés de conduits passant entre eux et les roues. L'utilisation d'une aérodynamique interne est donc apparemment la seule arme qui puisse encore améliorer significativement la traînée, en témoigne cette Audi qui, chaque année, remporte des victoires sur les courses. Ces conduites autorisent en plus à ne pas perdre les petits gains, grappillés un peu partout, avec une prise d'air de toit pour le refroidissement, qui se comporte un peu comme un aileron à l'envers.

Externe : On peut également, comme c'est le cas sur les dernières générations, user de « conduits externes » : la Porsche Carrera GT, la Ferrari Enzo, la Bugatti Veyron, …, ont adopté ce système. En regardant de près une voiture du Mans, comme la Audi RS-8, on s'aperçoit qu'elle possède de larges ouvertures sur le côté, entre les roues. L'ouverture avant est importante, elle laisse entrer tout l'air passant en dessous des ailerons avant, cet air est ensuite en partie acheminé vers le moteur, en partie vers ces ouvertures béantes, en partie évacué sur le dessus de la voiture. Il ne sert à rien d'avoir des conduits entre les roues, dans la mesure où l'air ne peut circuler entre les deux dans le sens de marche de la voiture : les roues sont des obstacles, et l'air les contourne en passant sur leur carénage. On peut donc prévoir

des « jupes » en bas (larges surfaces limitées par une pièce descendant au ras du sol) pour augmenter l'effet de sol, et supprimer tout ce qui surplombe cela. Mettre des sorties obliques juste derrière les roues avant, et d'autres devant les roues arrières s'avère judicieux. Afin d'avoir un flux le plus laminaire possible, on disposera des nids d'abeille au niveau de ces ouvertures. Les voitures actuelles ont déjà recours à cet technique, mais en prévoyant l'élargissement permanent des GT, on peut imaginer que le facteur limitant la suppression totale de cet endroit va disparaître : ces véhicules sont, encore de nos jours, trop étroits, et ont un cockpit encore trop large pour permettre de placer le cockpit totalement en dehors de cette zone. Les travaux sur les verrières automatiques, expliqués plus haut, amènent à une remarque : les portières partielles qui comportent des conduits et sorties d'air (comme apparemment la MacLaren F1) vont disparaître au profil d'une masse minorée. Les verrières, ne nécessitant plus de portières, autorisent en effet dès maintenant la réduction de la largeur totale du cockpit, comprenant jusqu'alors les portières. On peut donc déjà remplacer tout le

volume occupé précédemment par les portières par des sorties d'air et… du vide ! D'où un gain non négligeable de masse.

Bilan

L'aérodynamique régira toutes les formes de la voiture, elle permettra d'accroître les performances des GT du futur en améliorant par exemple l'écoulement de l'air sans diminuer la charge verticale lors des grandes vitesses grâce aux ailerons amovibles. Les formes seront toutes profilées au mieux, mais il est peu probable que le comportement atteigne celui des voitures de course pures, car l'appui devra rester inférieur au leur aux vitesses normales pour limiter la consommation, ou augmenter l'autonomie dans le cas de véhicules hybrides ou électriques. L'électronique pourrait cependant permettre au pilote de choisir également dans ce domaine là le type de conduite qu'il souhaite pratiquer.

Conclusions

Suite aux différentes sous conclusion, on peut dégager ceci :

Energie : l'essence n'a plus d'avenir au long terme, mais elle est la plus performante actuellement, on va donc prévoir l'hybride dans trente ans, avec PAC, et batteries et/ou supercondensateurs.

Motorisation : Hybride donc, à moteurs électriques dans les roues et moteur électrique en position central, fonctionnant à son régime de rendement maximum (sauf si nécessaire, il peut alors transmettre sa puissance directement aux roues à partir d'une certaine vitesse en plus de celle des moteurs électriques). La régénération devrait venir en renfort de la motorisation électrique.

Cellule : hypertechnologique sur mesure, permettant d'offrir le plus de pilotage et le meilleur possible au pilote, et ce en toute condition (nuit, soleil, brouillard, pluie, neige, …).

Aérodynamique : contrairement à une F1, ou à un proto du Mans, on ne peut tout utiliser pour l'appui (pour ne pas faire exploser la consommation, afin de garder de bonnes performances malgré une autonomie raisonnable). On ne peut pas utiliser la succion non plus, à l'instar des nouvelles réglementations du Mans, car les voitures peuvent se casser violemment sous les forces extrêmes qui agissent alors. Hyper profilage, avec une limitation des surfaces frontales au niveau les roues et le cockpit, et un profil soigné comme sur la Birdcage.

Transmission : DSG semble être le meilleur système de transmission pouvant être proposé, avec aucune rupture de couple et aucune perte de puissance pendant les changements de rapport. L'embrayage céramique de Porsche pourrait se généraliser pour diminuer l'usure, et le pont autobloquant des BMW M-3, 4, 5, et 6 pourrait permettre les meilleurs démarrage et les meilleures reprises imaginables à ce jour.

Roues : autoréparante, avec une gomme dont la dureté et les sculpture sont les plus polyvalents existants (comme les nouveaux pneus testés par Maybach sur sa Exelero, portant le nom des meilleurs pneumatiques à ce jour). Capteur de pression intégré pour un meilleur contrôle de tous les paramètres, et une tenue de route optimale tous terrains confondus. Jantes en alliage aluminium-magnésium pour plus de solidité et de légèreté, pourquoi pas pleines et profilées, masquées par un carénage total de roue comme le montrent certains grands designers. Diamètres : 19 ou 20 pouces à l'avant comme à l'arrière.

Suspensions : à électro-aimants régulés électroniquement, pour obtenir le meilleur compromis possible entre roulis et tenue de route, et avoir un véhicule pouvant être sous-vireur comme sur-vireur, selon un simple ordre du pilote.

Direction : par transmission électronique, à joystick pour plus de facilité de pilotage. Des servos positionnés directement à proximité des roues agiront facilement grâce à la suppression de l'axe de rotation vertical des roues directrices. Des capteurs informeront également le pilote des efforts et des différents paramètres à prendre en compte sur ce point, mais encore pour redresser les roues automatiquement quand le pilote réaccélère, s'il le souhaite.

Les supercars sont vraiment utiles pour l'automobile, car ils permettent d'améliorer nos voitures. C'est d'ailleurs pour cette raison que les constructeurs en font leur vitrine technologique. Il semble prouvé par Maserati et Koenigsegg que les limites sont encore loin d'être atteintes et que beaucoup peut encore être fait pour améliorer le comportement des véhicules et les performances en matière de tenue de route, de directivité et de suspension, de puissance et d'écologie, ainsi que l'aménagement cellule et l'environnement du pilote.

SYNTHESE ECRITE DU T.P.E.

Thème : MODELE ET MODELISATION

<u>Sujet :</u> ETUDE du FONCTIONNEMENT d'une VOITURE de COURSE.

SOMMAIRE

1) Les raisons du choix du sujet.

2) Le carnet de bord.

3) Notre bilan sur le travail réalisé.

4) Bibliographie

Choix du sujet :

Parmi les différents thèmes proposés, Maxime et moi sommes tout de suite tombés d'accord sur celui de la modélisation. En effet, je suis intéressé par la prospective depuis tout petit et la modélisation est l'un des moyens utilisés à cette fin. Quant à Maxime, il pratique la compétition de voitures thermiques 1/5eme depuis 3 ans maintenant, donc son intérêt pour la chose n'est plus à prouver. Le sujet des voitures de course est venu également sans qu'on en parle. Mon frère Ludovic est entré dans une école spécialisée en automobile, et en en parlant avec lui, j'avais envie d'en savoir plus sur la chose. De plus, étant en conduite accompagnée depuis septembre 2004, je me posais des questions quant à la tenue de route, à la puissance, à la sécurité, … Maxime, lui, est passionné d'automobile depuis très petit (sa chambre n'est qu'une exposition à la gloire de la F1 et du rallye… En première S-SI, le sujet peut être traité convenablement dans son ensemble, car l'adhérence, le fonctionnement d'un moteur, la conversion d'énergie, le transfert de masses, ou l'aérodynamique (forces de frottement et appui aérodynamique) deviennent des principes compréhensibles. On notera que l'étude n'est cependant pas exhaustive car l'automobile est un domaine en perpétuelle évolution où rien n'est jamais fixé définitivement. C'est d'ailleurs l'un des intérêts majeurs du sujet : des milliers d'ingénieurs planchent dans ce domaine, donc même un élève de première S, pour peu qu'il soit bien au fait des innovations, peut proposer des solutions innovantes et les développer afin de montrer ses possibilités, … Il me semble que c'est là un des buts du TPE.

Toutes les raisons réunies ici montrent pourquoi nous avons choisi ce sujet pour ce TPE de première, qui sera notre premier (et comptera peut-être malgré cela pour le bac !) et dernier …

Carnet de bord :

On n'a répertorié ici que les dates majeures.

16/12/04 au CDI (2 heures) : recherche de schéma, délimitation de la problématique, idées de solutions pour diriger une voiture automatiquement, recensement des contraintes.

17/12/04 (1 heure) : listing des différents systèmes qui posent problèmes sur une voiture (usure des freins, frottements de l'air qui la ralentissent, …

25/12/04 : détail de parties mécaniques (moteur, tenue de route)

Vacances de Noël (5 heures) : précision de problématique et d'objectif. Idée d'une réalisation pour économiser l'énergie (régénération par commutation des pôles sur un moteur-dynamo). Prise de conscience de la difficulté du projet, puis abandon suite à la découverte du manque d'intérêt réel du système vis-à-vis des systèmes déjà existants.

03/01/05 (1 heure) : détail de la partie aérodynamique

05/01/05 (2 heure) : détail des parties freinage, accélération, adhérence

14/01/05 – 21/01/05 (3 heures) : recherches Internet (sites pour trouver des informations, des schémas, des explications, des images, …)

25/01/05 (½ heure) : schéma du projet d'Antoine

28/01/05 (1 heure) : recherche de sites Internet pour le freinage et le châssis

30/01/05 (1 heure ½): étude d'une voiture radiocommandée 1/5eme thermique

07/02/05 (1 heure) : vérification de tous les plans du projet, organisation du montage.

Vacances de février (2 heures) : fixation des moteurs sur les roues arrières

28/02/05 – 04/03/05 – 07/03/05 (3 heures) : consultation des sites trouvés auparavant pour obtenir plus d'informations.

11/03/05 (1 heure) : MAJ du carnet de bord, mise en place du sommaire

18/03/05 (1 heure) : rédaction de la présentation et listing des principaux points à aborder

Vacances de Pâques (50 heures) : Rédaction du dossier - rapport

Week-end entre les vacances et début juin (20 heures) : rédaction du rapport

21/05/05 (1 heure) : réalisation de la direction

29/05/05 (2 heures) : montage des suspensions arrières, des roues avant sur la maquette, de la partie électronique, du contrôle de moteur et du servocommande de direction.

NOTRE BILAN :

Le but de notre TPE, d'analyse des voitures de course, des croquis de designers, des solutions innovantes et des concept-car à des fins de prospective sur le fonctionnement des supercars de demain à, nous croyons, été atteint. La maquette réalisée vient compléter celle de Maxime pour présenter les solutions majeures retenues. Cependant, nous estimons qu'une réalisation bien meilleure aurait pu être faite car l'étude aurait pu produire une véritable voiture miniature avec de réelles performances. Elle n'a pas été réalisée car le budget aurait été massif alors qu'aucune aide n'a été apportée par l'Etat. En effet, un servo de direction (il en faudrait deux) vaut plus de 40 euros pour avoir de bonnes performances. Un moteur thermique coûte au moins 100 euros, de bons moteurs électriques avec réducteur coûtent au minimum 70 euros chacun (il en faudrait 4…), la réception et les batteries coûtent également cher. Les suspensions magnétiques coûtent plusieurs centaines d'euros chacune… les pièces en fibres de carbone ou en aluminium seraient des modèles uniques, donc à plusieurs centaines d'euros chacune, la représentation des aides au pilotage nécessiteraient des capteurs IR, un traitement de l'image, … également très cher… On ne va pas continuer l'énumération car elle pourrait être aussi longue que le nombre de points évoqués dans le dossier : les pièces de GT, qu'elles soient miniatures ou à grandeur réelle doivent posséder des propriétés remarquables, donc sont généralement hors de prix. Le but a malgré tout été atteint, car l'étude réalisée (que le dossier illustre) est complète, et la maquette construite permet de visualiser les principales solutions (réalistes).

Nous tenons à remercier Mrs Thirion (professeur de génie mécanique), Thomas (professeur de génie électrique), Champreux (professeur de physique-chimie), les frères d'Antoine, le compétiteur modéliste Olivier Sampietro, ainsi que tous les rédacteurs de sites personnels ayant pu être utiles pour réaliser cette étude.

Bibliographie

http://www.shell.com/home/Framework?siteId=fr-fr
http://www.moteurnature.com/data/principe.htm
http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/130a135martinet.pdf
http://perso.wanadoo.fr/didier.marquet/eresol.htm
http://www.mdi.lu/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=36
http://www.auto-innovations.com
http://www.automobile-sportive.com/technique/distribution.php
http://www.jautomatise.com/White/WProbotiqueSite/WPStau.htm
http://golfy.free.fr/
http://www.forum-auto.com/sqlforum/section12/sujet152592.htm
http://eric.cabrol.free.fr/DynamiqueVehicule/potentAdherence.html
http://pboursin.club.fr/pdgve4a.htm
http://f1.manager.free.fr/dossiers.html
http://tech-m4.com/fra/tm4transport/electronique
http://www.automobile-sportive.com
http://www.porsche.fr
http://www.ferrariworld.com
http://www.koenigsegg.com
http://www.caradisiac.com
http://autodrome-cannes.com
http://formula.student.free.fr/indexfr.htm
http://www.tract-old-engines.com/2tps.html
http://perso.wanadoo.fr/michel.hubin/capteurs/autos/chap_a6.htm
http://www.cardesignnews.com/news/2002/020417ferrari-f60/