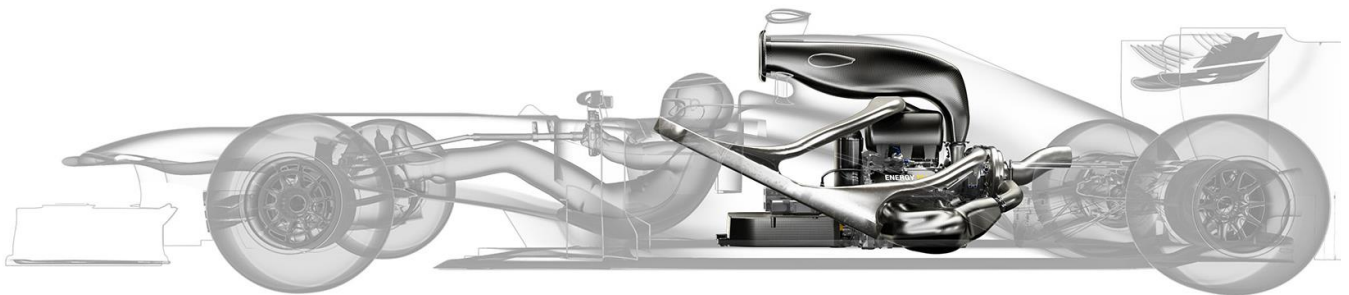
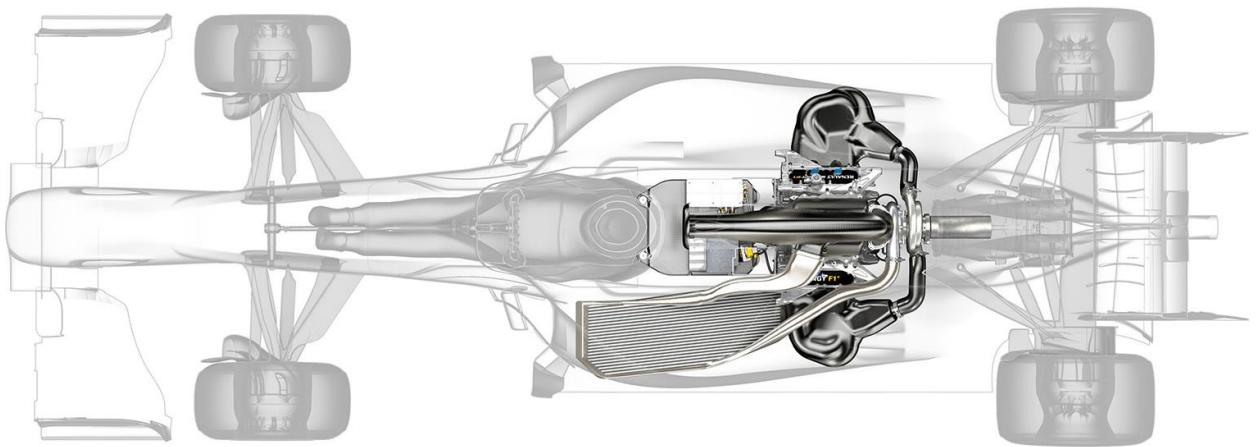




Prévoyez la course

LES DOSSIERS TECHNIQUES
DE F1-FORECAST.COM

LES MOTEURS HYBRIDES DE
FORMULE 1 2014-2015



Saison F1 2015 | Dominique Madier

www.f1-forecast.com

Dans la même catégorie, vous pouvez télécharger les dossiers techniques F1-Forecast suivants dans la section "Technologie F1" de <http://www.f1-forecast.com>:

Les Dossiers Techniques de F1-Forecast

Saison de F1 2015 Volume I – F1 2015 : Présentation & Essais Privés

par Dominique Madier

361 pages

Saison de F1 2014 Volume II – Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques – Saison Complète

par Dominique Madier

1072 pages

Saison de F1 2014 Volume I – F1 2014 : Présentation & Essais Privés

par Dominique Madier

450 pages

Saison de F1 2013 Volume III - Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques (du Canada au Brésil)

par Dominique Madier

871 pages

Saison de F1 2013 Volume II - Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques (de l'Australie à Monaco)

par Dominique Madier

750 pages

Saison de F1 2013 Volume I – F1 2013 : Présentation & Essais Privés

par Dominique Madier

749 pages

Saison de F1 2011 - Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques – Saison Complète

par Dominique Madier

700 pages

Saison de F1 2010 - Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques – Saison Complète

par Dominique Madier

632 pages

Saison de F1 2009 - Évolutions Aérodynamiques & Mécaniques – Saison Complète

par Dominique Madier

453 pages

TABLE DES MATIERES

1.	<u>INTRODUCTION</u>	4
2.	<u>LE FONCTIONNEMENT D'UNE UNITE DE PUISSANCE HYBRIDE DE FORMULE 1</u>	5
3.	<u>LA RECUPERATION D'ÉNERGIE ILLUSTRÉE</u>	10
4.	<u>L'INTEGRATION DES MOTEURS 2014</u>	20
	4.1 L'INTEGRATION DU MOTEUR RENAULT 2014	20
	4.2 L'INTEGRATION DU MOTEUR MERCEDES 2014	28
	4.3 L'INTEGRATION DU MOTEUR FERRARI 2014	36
5.	<u>QUELLE EST L'IMPORTANCE DE L'ARCHITECTURE MOTEUR HYBRIDE 2014 ?</u>	43
6.	<u>LES MOTEURS DE F1 2015.</u>	47
	6.1 LE MOTEUR FERRARI 2015	47
	6.1.1 LE 059/4	47
	6.1.2 LA BOITE MAGIQUE DE FERRARI	61
	6.2 LE MOTEUR HONDA 2015	67
	6.2.1 LE RA615H	67
	6.2.2 HONDA HORS DES SENTIERS BATTUS	87
	6.2.3 LES TROIS CAUSES DU RETARD DE MCLAREN-HONDA	95
	6.3 LE MOTEUR MERCEDES 2015	100
	6.3.1 LE PU106A	100
	6.3.2 L'ASTUCE DU MOTEUR MERCEDES	107
	6.4 LE MOTEUR RENAULT 2015	110
	6.4.1 LE RS15	110
7.	<u>SOUS LE CAPOT DE TOUTES LES F1 2015</u>	122
8.	<u>LE REFROIDISSEMENT DES MOTEURS HYBRIDES DE FORMULE 1</u>	137
9.	<u>ÉVOLUTION DES MOTEURS DE F1 EN 2015 : MODE D'EMPLOI</u>	141

1. Introduction

La saison 2015 aura été la deuxième année d'utilisation des unités de puissances hybrides de Formule 1. Depuis 2014, beaucoup d'évolutions ont été introduites par les motoristes. En 2015, Honda a rejoint Mercedes, Ferrari et Renault dans la course au développement de ces nouvelles unités de puissances ultra sophistiquées. Après une saison 2014 largement dominée par Mercedes au chapitre de la puissance pure et de la récupération d'énergie, Ferrari semble avoir rattrapée sont retard sur la marque étoilée à l'issue des développements de la saison 2015.

Il se murmure même dans le paddock de la F1 que l'unité de puissance des hommes de Maranello serait quasiment au niveau de celle de Mercedes. Mais les ingénieurs de Ferrari savent qu'ils doivent poursuivre le développement de leur moteur cet hiver car la marque étoilée ne va pas s'arrêter dans cette course à l'armement si bien engagée. Mercedes a tout de même gardé un léger avantage sur Ferrari tout au long de la saison 2015 grâce à un moteur 2014 très bien né qui possède encore un potentiel de développement assez grand. Mais qu'en sera t-il en 2016 ?

Renault, de son côté, semble encore chercher les solutions qui permettront à son unité de puissance de révéler toute ses qualités. Le retour de la maison mère Renault F1 en tant que constructeur à part entière en 2016, devrait permettre aux hommes de Viry-Châtillon de retrouver le chemin de la victoire (si ce n'est pas en 2016, ce sera fort probablement en 2017).

Honda enfin, fait face aux problèmes de jeunesse d'une unité de puissance vieille de seulement une seule saison alors que les autres motoristes sont déjà dans leur deuxième année de développement. Gageons que les ingénieurs de chez Honda sauront retrouver la voie qui amènera la marque Japonaise aux avant postes.

Ce document a pour but de vous présenter, dans un premier temps, le concept des unités de puissance hybrides de Formule 1. Comme vous le verrez, ces unités de puissance sont extrêmement complexes.

Nous aborderons ensuite le chapitre de l'intégration et de l'architecture des moteurs en nous basant sur les concepts de 2014. Les évolutions de la saison 2015 seront alors abordées au travers d'un chapitre qui passe en revue les nouveaux concepts introduits par les quatre motoristes.

Les informations présentées dans ce document proviennent des deux sources suivantes :

- ✓ Ewen L.J. de <http://www.designmoteur.com>
- ✓ Nicolas Carpentiers de <http://www.f1i.com>

Dominique Madier
Webmaster [F1-Forecast.com](http://www.f1-forecast.com)
Montréal – Canada – Décembre 2015

2. Le Fonctionnement d'une Unité de Puissance Hybride de Formule 1

[Source : <http://www.designmoteur.com> – Ewen L.J.]



LE MOTEUR V6 À COMBUSTION INTERNE

L'abréviation V6 désigne un moteur à combustion interne dont les deux bancs de 3 cylindres forment un « V » et sont reliés à un même vilebrequin. Les V6 thermiques de F1 ont une cylindrée de 1,6 litre et délivrent entre 600 et 650 chevaux.

Avec le turbocompresseur, la pression à l'intérieur de la chambre de combustion est deux fois plus élevée que sur le V8. Le vilebrequin et les pistons sont alors soumis à des contraintes extrêmes et la pression dans la chambre de combustion peut atteindre 200 bar, soit 200 fois la pression ambiante.

Le turbocompresseur augmente la pression de l'air d'admission, ce qui favorise l'apparition dans la chambre de combustion d'un phénomène destructeur appelé « cliquetis », très difficile à prévoir et à contrôler. Lorsque le cliquetis intervient, le moteur peut être très rapidement détruit.

LE TURBOCOMPRESSEUR

Comme sur les voitures de série, le turbocompresseur permet à un petit moteur de délivrer une puissance bien supérieure à ce que sa cylindrée lui permettrait normalement. Ici, cette turbine convertit l'énergie thermique récupérée dans les gaz d'échappement en énergie mécanique. La

puissance obtenue permet alors d'entraîner le compresseur ainsi que le MGU-H, dont l'énergie récupérée est ensuite stockée.

À plein régime le turbocompresseur tourne à 100 000 tours par minute, soit plus de 1500 tours par seconde. Les contraintes et les températures générées au niveau de la turbine sont énormes. Une partie de l'énergie récupérée peut être utilisée pour empêcher le turbo de trop ralentir lors d'une phase de freinage.

La vitesse du turbo doit impérativement varier en fonction des besoins du moteur. Par conséquent, un retard peut survenir dans l'établissement du couple, appelé « temps de réponse du turbo », lorsqu'un pilote appuie sur l'accélérateur après une période de freinage continu. L'un des grands défis du nouveau propulseur consiste à éliminer totalement ce temps de latence pour égaler la réponse instantanée du couple qu'offrait le V8 atmosphérique.

L'INJECTION DIRECTE D'ESSENCE

Le carburant est directement pulvérisé dans la chambre de combustion sans passer par le conduit d'admission situé en amont des soupapes d'admission. Le mélange air-carburant se forme alors dans le cylindre.

Une grande précision est donc requise dans la commande et l'orientation des jets de carburant sortant du nez d'injecteur. Il s'agit d'un sous-système clé pour garantir le rendement énergétique et la puissance du propulseur.

Il est toujours possible de couper l'injection sur un ou plusieurs cylindres pour améliorer le rendement et la réactivité du moteur dans les virages.

LA SOUPE DE DÉCHARGE (WASTEGATE)

Sur les moteurs turbo conventionnels, une soupape de décharge est accouplée au turbocompresseur afin de contrôler les vitesses de rotations élevées du système. Ce dispositif permet à l'excès de gaz d'échappement de contourner la turbine afin que la puissance délivrée par cette dernière corresponde à celle requise par le compresseur pour fournir la pression de suralimentation nécessaire au circuit d'admission d'air.

La vitesse de rotation du turbo est essentiellement contrôlée par le MGU-H. Une soupape de décharge est toutefois requise pour garder le contrôle en toute circonstance. La soupape de décharge est reliée au turbocompresseur mais dans un environnement très encombré, ce qui rend l'intégration de cet accessoire compliquée. Il faut donc que la soupape de décharge soit suffisamment robuste pour résister à des pressions importantes, et suffisamment compacte pour se glisser dans un espace réduit.

Dans un avion, certaines pièces sont classées comme critiques en cas de panne. Par analogie, la soupape de décharge bénéficie du même statut : en cas de problème, les conséquences peuvent être graves.

LE MGU-K

Le MGU-K est relié au vilebrequin du moteur à combustion interne. Lors du freinage, le MGU-K fonctionne en mode « générateur » et récupère une partie de l'énergie cinétique de la voiture. Il la convertit alors en énergie électrique qui sera stockée dans la batterie en attendant d'être restituée (dans la limite de 120 kW ou 160 ch). En phase d'accélération, le MGU-K bascule en mode « moteur », alimenté par la batterie et/ou le MGU-H, pour fournir un surcroît d'accélération à la monoplace. Le MGU-K est relié au vilebrequin du moteur à combustion interne.

Lors du freinage, le MGU-K fonctionne en mode générateur en récupérant une partie de l'énergie cinétique de la voiture. Il la convertit alors en énergie électrique qui sera stockée dans la batterie en attendant d'être restituée (dans la limite de 120 kW ou 160 cv).

En phase d'accélération, le MGU-K passe en mode moteur, alimenté par la batterie et/ou le MGU-H, pour fournir un surcroît d'accélération à la monoplace.

En 2013 une panne de KERS entraînait une perte de 3/10e de seconde par tour sur à peu près la moitié des circuits du calendrier. En 2014, une panne du MGU-K se révélera beaucoup plus pénalisante, la monoplace n'étant alors propulsée que par le moteur à combustion interne, ce qui la mettrait, dans les faits, hors course.

Le comportement thermique du MGU-K sera (a été/restera) un sujet « brûlant » cette saison : le système dégage en effet trois fois plus de chaleur que le KERS du V8 !

LE MGU-H

Le MGU-H est relié au turbocompresseur. En mode « générateur », il convertit en courant électrique une partie de la puissance d'origine thermique fournie par la turbine. L'énergie électrique peut ensuite être soit dirigée vers le MGU-K, soit stockée dans la batterie et utilisée ultérieurement. Le MGU-H sert également à contrôler la vitesse du turbo et à faire en sorte qu'il réponde aux besoins en air du moteur (soit en freinant le turbo pour absorber l'excédent d'énergie qui serait, dans un système traditionnel, perdu dans la soupape de décharge, soit en l'accélérant afin d'éliminer son temps de réponse).

Le MGU-H produit un courant alternatif alors que la batterie fonctionne en courant continu. Un transformateur très sophistiqué est donc requis pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble.

Les vitesses de rotation très élevées sont un casse-tête puisque le MGU-H est directement accouplé au turbocompresseur qui atteint jusqu'à 100 000 tr/min.

LA BATTERIE (OU RÉSERVE D'ÉNERGIE)

L'énergie récupérée, qu'elle soit thermique ou cinétique, peut être utilisée immédiatement si nécessaire. Elle peut également être stockée dans la batterie et ensuite redéployée pour

propulser la monoplace via le MGU-K, ou bien pour accélérer le turbocompresseur grâce au MGU-H. Comparé au KERS des V8 2013, le système de récupération d'énergie (ERS) des nouveaux moteurs hybrides disposent du double de puissance (120kW contre 60kW) et l'énergie contribuant à la performance est multipliée par dix.

L'ÉCHANGEUR (INTERCOOLER)

Il sert à refroidir l'air qui entre dans le moteur après avoir été comprimé par le turbo.

La présence de cet échangeur (absent sur le V8 atmosphérique de la génération précédente de moteur de F1), couplé à l'augmentation de la puissance des systèmes de récupération d'énergie, complique l'intégration dans la voiture du système de refroidissement dont la surface totale des radiateurs augmente significativement par rapport aux V8 de 2013.

Intégrer l'échangeur et d'autres radiateurs représente une étape importante. Le vrai défi consiste cependant à obtenir un refroidissement optimal permettant de préserver la fiabilité du propulseur tout en limitant au maximum la taille des radiateurs.

GESTION DE L'ÉNERGIE

Il y a deux sources d'énergie; le carburant du réservoir et l'énergie électrique stockée dans une batterie. L'utilisation des deux sources nécessite une gestion très fine car le carburant est limité à 100 kilogrammes au départ de la course et la batterie a besoin d'être rechargée.

Le débit massique de carburant est limité par le règlement à 100 kilogrammes par heure et la quantité de carburant pour une course est fixée à 100 kilogrammes. Si la voiture utilise son essence au maximum au taux de 100 kg/h, elle ne pourra donc le faire que pendant une heure, alors qu'une course de Formule 1 dure entre 1h30 et 2h00 en fonction des circuits.

Bien sûr, les circuits et les caractéristiques des monoplaces ne permettent pas aux pilotes d'utiliser toute la puissance disponible sur un tour. Sur chaque circuit, la limitation de la puissance du carburant nécessaire pour une course sera proche des 100 kilogrammes. Dans certains cas, ce sera un peu en-dessous, dans d'autres juste au-dessus. Si ça dépasse, il sera nécessaire de décider comment et quand déployer l'énergie disponible.

Les monoplaces de F1 pourraient dorénavant être classée en tant que **véhicule hybride électrique** (HEV), donc un moteur thermique traditionnel avec un propulseur électrique.

Comme d'autres HEV, la batterie de l'unité de puissance est relativement petite, donc si la batterie déployait l'énergie maximum tout au long d'un tour, elle serait à plat au bout de deux tours. Pour pouvoir maintenir la batterie en état de charge, **la gestion de l'énergie électrique est aussi importante que la gestion du carburant**. Les systèmes de gestion de l'énergie décident du moment et de la quantité de carburant qui va être extraite du réservoir, et du moment et de la quantité d'énergie qui va être prélevée ou stockée dans les batteries.

L'objectif est de minimiser le temps au tour pour une quantité de carburant donnée. Ceci peut paraître décalé avec ce qui se passe sur les voitures de « Monsieur tout le monde », mais en fait les voitures de série doivent faire face au même problème : comment minimiser la consommation d'essence pour pouvoir atteindre un objectif de temps et de distance (le cycle d'homologation européen*). C'est la même problématique, posée à l'envers.

La question est ensuite de savoir à **quel moment du tour il faut restituer cette énergie.** Les saisons passées, le KERS pouvait être utilisé quelques fois pendant le tour. Mais, à partir de 2014, l'énergie (du carburant ou de la batterie) est si primordiale qu'il faut imaginer à quels endroits il est le plus opportun de consommer cette énergie (c'est ce que les ingénieurs appellent le "Power Scheduling").

Choisir les meilleurs secteurs où utiliser l'énergie du moteur thermique et celle du moteur électrique revient à déterminer où chacune est la plus efficace. Mais encore, la gestion de l'état de charge de la batterie présente un enjeu pour l'utilisation efficace de la propulsion électrique. Et ces données varient considérablement d'un circuit à l'autre, selon le pourcentage de pleine charge du circuit, la vitesse en passage de courbes, l'usure des pneus et la configuration aérodynamique de la monoplace.

Il y a plusieurs composantes de l'unité de puissance qui sont directement ou indirectement **contrôlées par le système de récupération de l'énergie** à tout moment : le moteur à combustion interne, le turbo, l'ERS-K, l'ERS-H, la batterie et le système de freinage. Ils ont chacun leurs propres besoins, comme une température d'exploitation spécifique. Il peut y avoir les échanges d'énergies d'un composant à l'autre. L'algorithme de contrôle est donc particulièrement complexe à définir et à gérer.

Ce qui est certain, c'est qu'à tout moment, autant d'énergie que possible est récupérée et restituée à la voiture. Ce n'est pas une exagération que de dire que les monoplaces que l'on voit en F1 aujourd'hui sont les véhicules terrestres les plus efficaces au niveau de la gestion de l'énergie et du carburant.

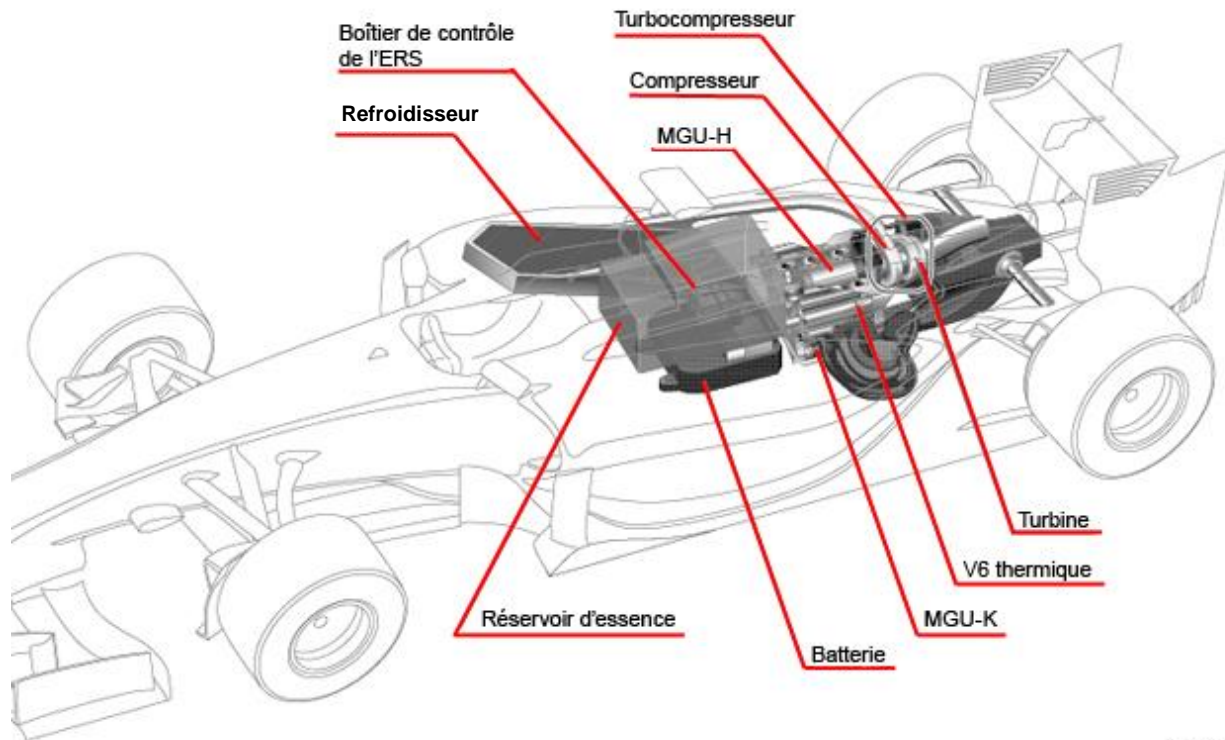
La vidéo YouTube située au lien ci-dessous résume très bien ce que nous avons présenté dans ce chapitre :

<https://www.youtube.com/watch?v=amNYKpfHCgY>

** cycle d'homologation européen : le NEDC (pour New European Driving Cycle) est utilisé comme cycle de référence pour l'homologation des véhicules jusqu'à la norme Euro6 en Europe.*

3. La Récupération d'Énergie Illustrée

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]

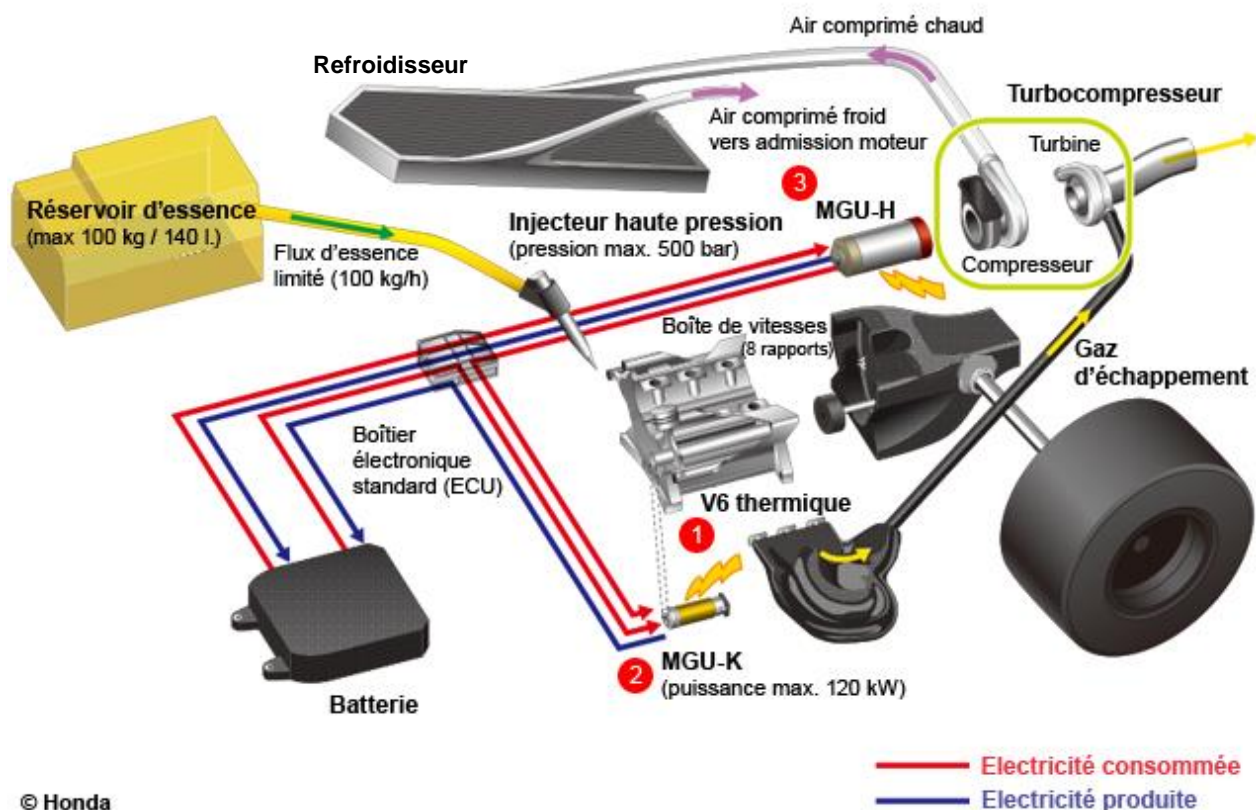


© Honda

La saison 2015 a été la deuxième année des motorisations hybrides. L'occasion de rappeler brièvement les principes et composants fondamentaux de la récupération d'énergie.

Plus qu'un simple moteur, les ingénieurs de Renault, Mercedes, Ferrari et Honda ont inventé un nouvel objet. Un propulseur composé d'un moteur thermique de faible cylindrée et de deux systèmes de récupération d'énergie, réutilisant à la fois l'énergie cinétique de la voiture et l'énergie thermique dégagée par les gaz d'échappement.

Premier élément : le V6 turbo de 1600 cm³ dont le régime maximal est limité à 15 000 tours/minute. Pour respecter le principe d'efficacité énergétique retenu par la FIA, sa consommation est doublement limitée, en quantité et en débit. Le volume de carburant maximal embarqué en course est fixé à 100 kg, alors que le débit instantané maximum autorisé s'élève à 100 kg par heure.



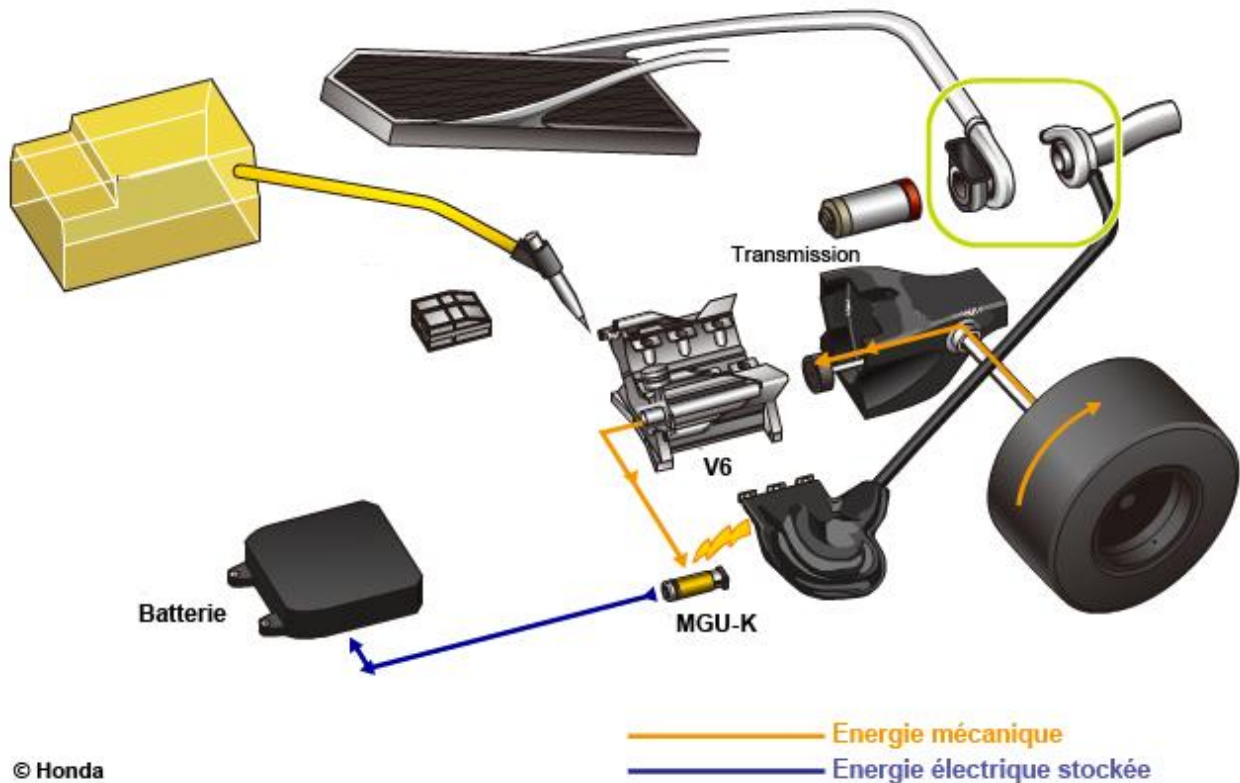
Deuxième élément : le MGU-K, qui fonctionne comme l'ancien KERS, mais avec une puissance doublée. On le sait, lors des phases de freinage, l'énergie cinétique d'une voiture est d'ordinaire dissipée en chaleur dans les freins. Le règlement permet de transformer une partie de cette énergie sous forme électrique, grâce à un générateur couplé au vilebrequin du moteur (un peu comme une dynamo de vélo, ce générateur ralentit le véhicule – à la place des freins, ou en combinaison avec eux – en imposant une résistance sur l'arbre de transmission). Ce générateur/alternateur restitue environ 160 chevaux durant 34 secondes par tour. Attention, la quantité d'énergie électrique pouvant être transformée en énergie propulsive est limitée. Sur un tour, le MGU-K peut récupérer 2 mégajoules et en restituer au maximum 120 kW, grâce à l'apport de l'autre dispositif de récupération.

Le règlement n'impose pas de restriction sur la quantité d'énergie que peut récupérer le MGU-H ni sur son utilisation

Troisième élément : le MGU-H, moins encadré par le règlement. Ce générateur/alternateur récupère l'énergie produite par la rotation de la turbine sous l'action des gaz d'échappement expulsés. À la grande joie des motoristes, la FIA n'impose pas de restriction sur la quantité d'énergie que l'on peut récupérer ni sur son utilisation. Ainsi, elle peut être emmagasinée dans la batterie en attendant le moment opportun ou être envoyée vers le MGU-K (afin de lui

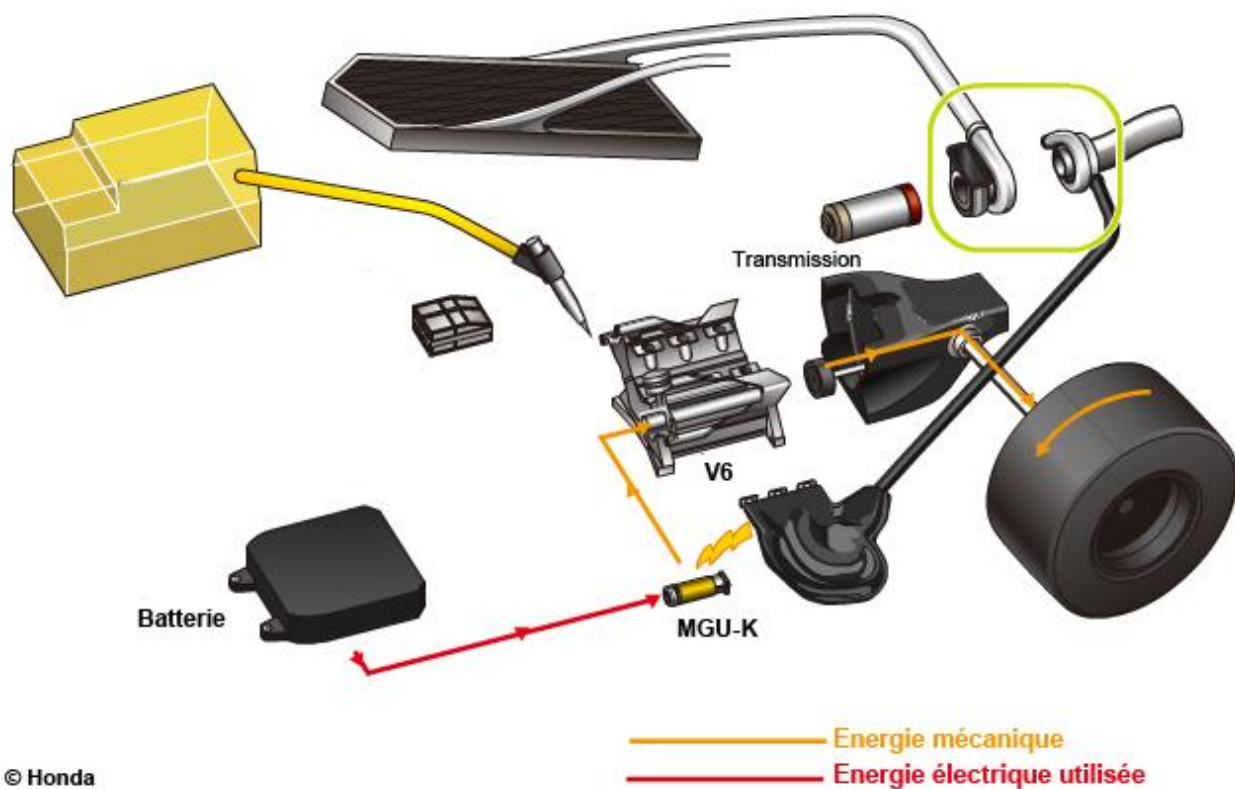
permettre de libérer ses 160 chevaux). Ou encore servir à entraîner le turbocompresseur après une phase de freinage, afin d'éviter un temps de réponse de plusieurs secondes avant que le couple du V6 ne soit délivré au pilote.

Les trois étapes essentielles sont illustrées dans les pages suivantes, ainsi que la suppression du "temps de réponse" du turbo.



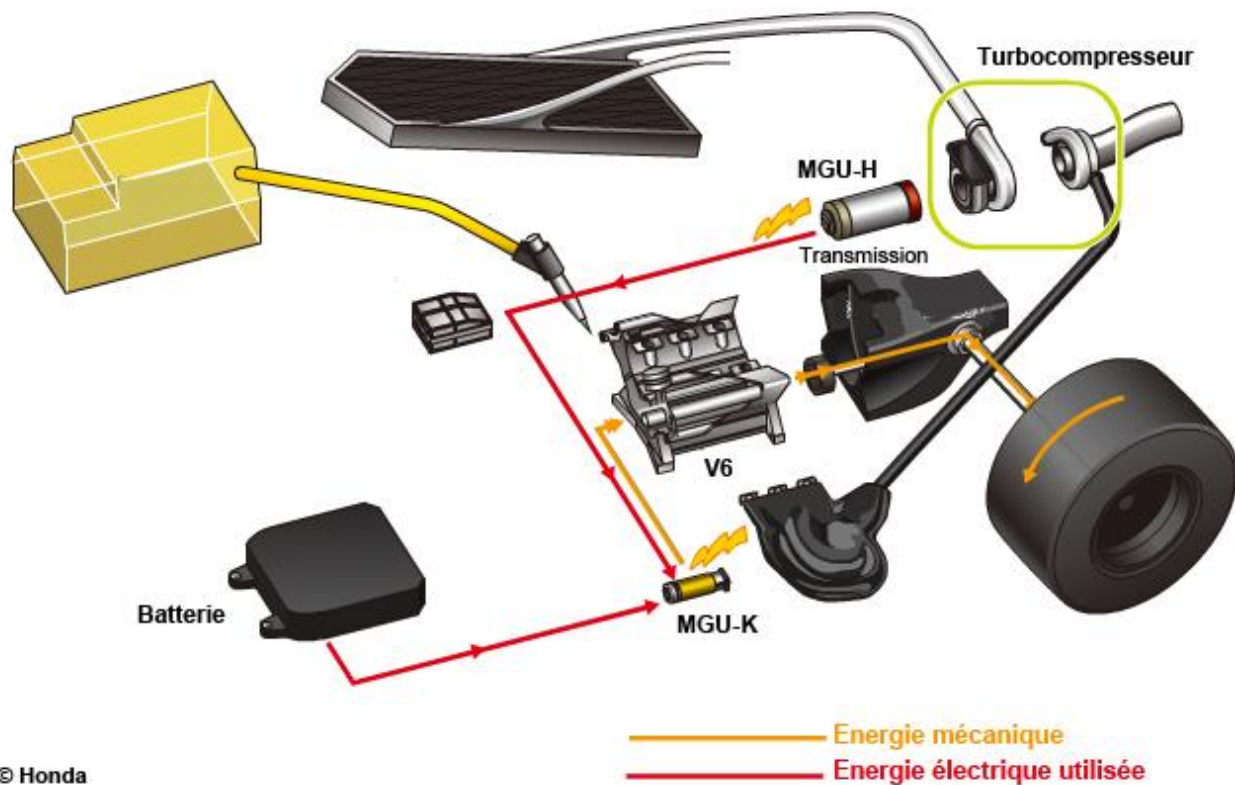
1. Freinage

Le MGU-K récupère une partie de l'énergie cinétique dégagée au freinage et stocke l'énergie dans la batterie. Le système peut emmagasiner un maximum de 2 mégajoules par tour : la monoplace doit donc freiner pendant environ 16,7 secondes pour recharger complètement la batterie.



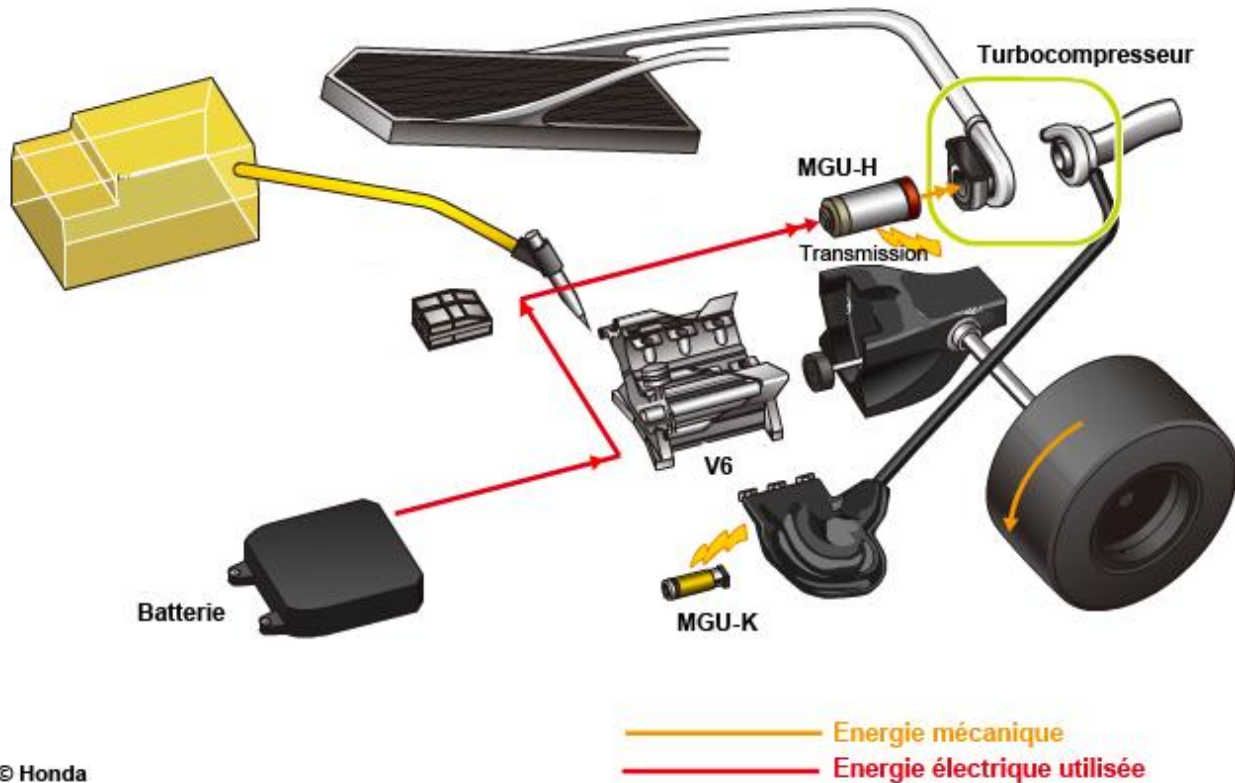
2. Apport à l'accélération

La monoplace peut accélérer davantage en ajoutant à la puissance du V6 turbo l'énergie électrique déployée par le MGU-K. Le système peut déployer 120 kW maximum.



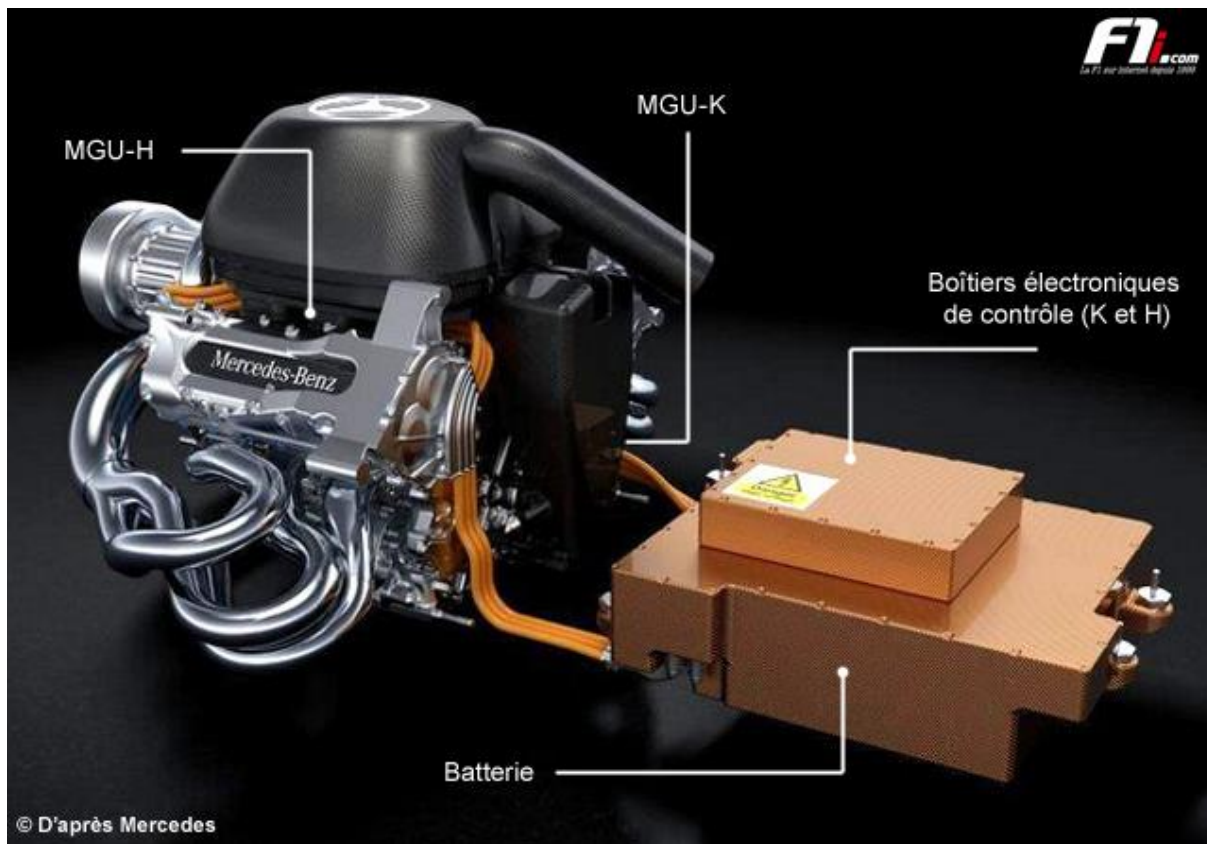
3. Accélération maximale

Lors d'une accélération à pleine charge, l'énergie envoyée à la turbine par les gaz d'échappement (et qui fait tourner celle-ci autour d'un axe commun avec le compresseur) peut dépasser l'énergie dont a besoin compresseur pour envoyer une certaine quantité d'air dans le moteur. Cet excès d'énergie est converti par le MGU-H en électricité, qui est envoyée au MGU-K (qui peut déployer un maximum de 120 kW) ou à la batterie. Le règlement ne fixe pas de limite à la quantité d'énergie que peut générer le MGU-H, qui est le domaine actuellement le moins maîtrisé par les motoristes et le plus riche en gains potentiels.



4. Suppression du “temps de réponse”

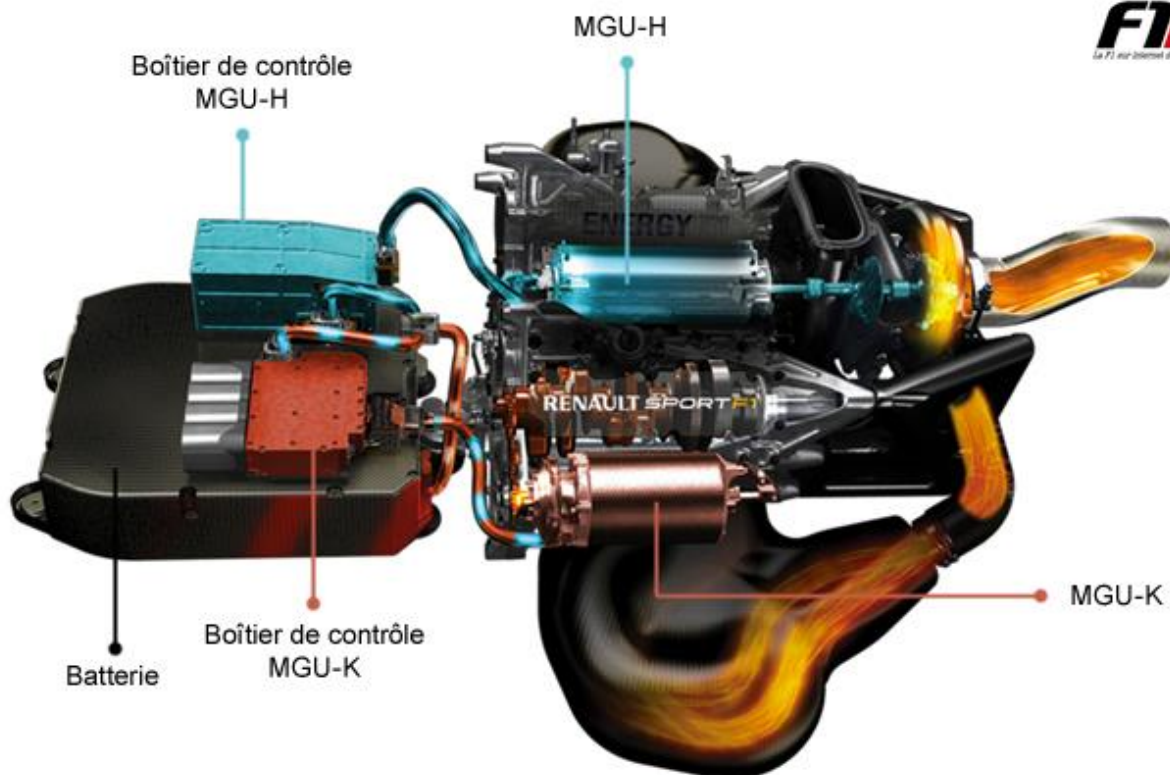
Quand la voiture décélère, le flux des gaz d'échappement décroît, ce qui retarde la remise en route de la turbine et donc l'accélération. Ce décalage entre le moment où l'on appuie sur l'accélérateur et le moment où la puissance arrive est appelé “le temps de réponse du turbo”. Le MGU-H supprime ce décalage en envoyant de l'électricité à un moteur qui continue à entraîner le compresseur, sans devoir attendre que la turbine reçoive à nouveau les gaz s'échappant du V6.



C'est le boîtier électronique qui transfère le courant de la batterie vers le générateur électrique du système cinétique, et vice-versa. Parce qu'il convertit des centaines de volts entre la batterie et le MGU-K, ce boîtier fonctionne avec des charges électriques élevées et à de très hautes températures.

Mais comment l'électronique gérant la récupération de l'énergie fonctionne-t-elle ? Et quelles sont les relations entre la batterie, le boîtier électronique et les générateurs électriques ?

Le système de récupération d'énergie (ERS pour "*Energy Recovery System*") rassemble quatre éléments : le MGU-H, le MGU-K, la batterie et deux boîtiers. Un MGU est un équipement électrique qui fonctionne soit comme générateur (il convertit alors l'énergie mécanique qui lui est fournie en électricité), soit à l'inverse comme moteur (il transforme l'énergie électrique qui lui est fournie en énergie mécanique). Les nouveaux moteurs hybrides de F1 utilisent deux MGU : un MGU-H (H pour "*heat*", l'énergie récupérée via la rotation de la turbine sous l'action des gaz d'échappement) et un MGU-K (K pour "*kinetic*", l'énergie cinétique de la voiture récupérée au freinage).



© D'après Renault F1

La batterie stocke l'énergie accumulée par les deux systèmes de récupération d'énergie, MGU-K et MGU-H. Le premier peut récupérer 2 MJ par tour, le second autant qu'il veut, alors que l'énergie qu'ils peuvent restituer ne peut excéder 4 MJ par tour. La batterie, dont la tension maximale est fixée à 1000 volts, est constituée de plusieurs cellules lithium-ion. Fabriquer une batterie ayant une telle capacité de stockage tout en restant compacte (pour être logée sous le réservoir d'essence) et légère (son poids doit être compris entre 20 et 25 kg) est un véritable défi pour les ingénieurs.

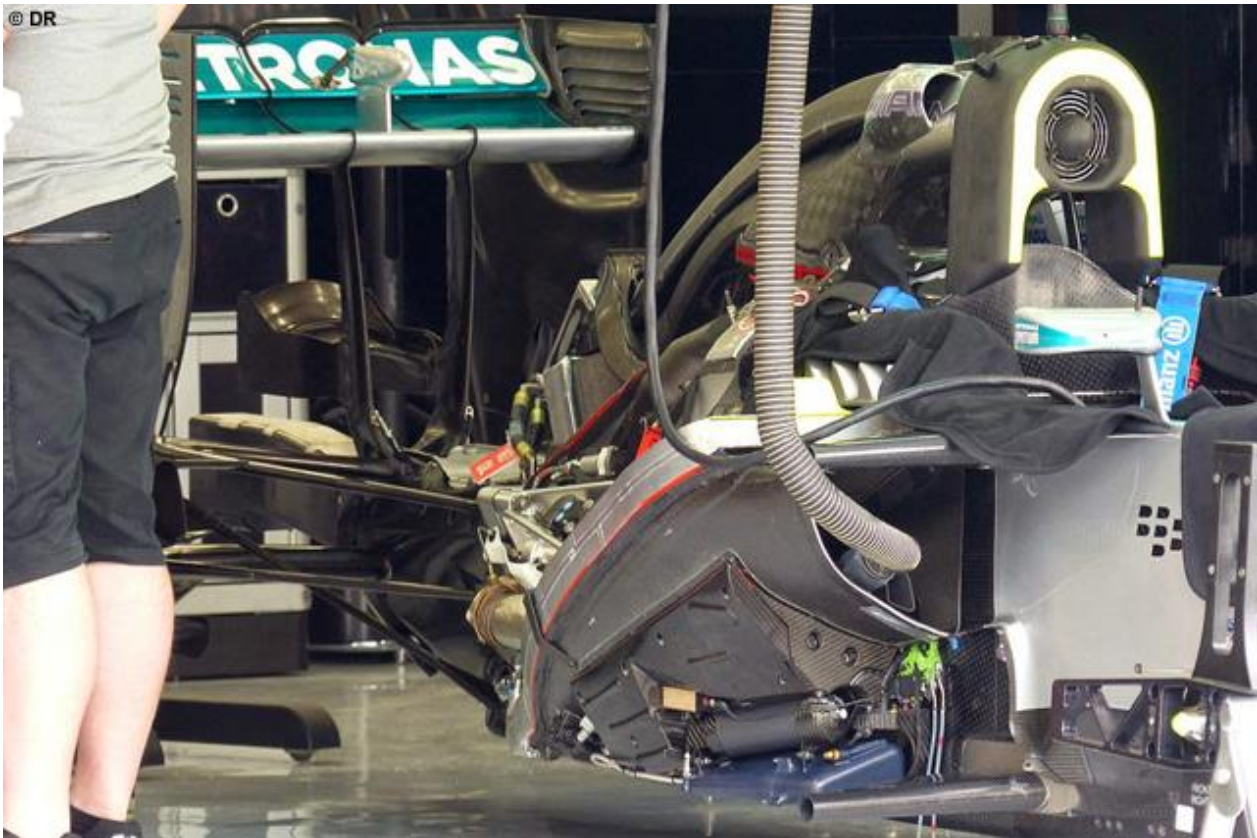
Boîtier électronique : convertisseur

Étant donné que la batterie stocke l'électricité en courant continu et que les deux générateurs (MGU-H et -K) utilisent un courant alternatif triphasé, une conversion électrique doit être opérée entre les deux systèmes : c'est le rôle du boîtier électronique de contrôle ("*control electronics*" – CE – selon la terminologie de la FIA). Ou, plus exactement, des boîtiers, puisqu'il y a un pour l'ERS-K et un autre pour l'ERS-H, tous deux fonctionnant selon les mêmes principes.

Quand il récupère de l'énergie, le générateur électrique envoie, via trois câbles haute tension, un courant alternatif vers le boîtier électronique. À l'intérieur de celui-ci, des convertisseurs de courant à haute intensité (pour les amateurs : via des transistors bipolaires à grille isolée) vont transformer le courant alternatif en courant continu. Ce dernier est ensuite envoyé à la batterie par deux câbles. Réciproquement, quand la batterie envoie du courant vers le générateur électrique (en tant que surcroît de puissance complémentaire au moteur thermique), c'est le chemin inverse qui est parcouru. Notons au passage que cet ensemble batterie-boîtier fournit à la voiture tout le courant dont elle a besoin pour ses systèmes électroniques, ainsi que pour l'allumage et l'injection du moteur (depuis 2014, les monoplaces n'ont donc plus d'alternateur ni de batterie spécifique).

Refroidissement indispensable

L'installation de ces deux boîtiers (un pour le MGU-K, l'autre pour le MGU-H) varie en fonction des motoristes et des écuries. Ils peuvent soit être placés ensemble près de la batterie, soit être positionnés séparément dans les pontons. Cette dernière configuration offre davantage de liberté, mais elle est plus lourde puisqu'il faut davantage de câbles ainsi que des conduites de refroidissement plus longues.



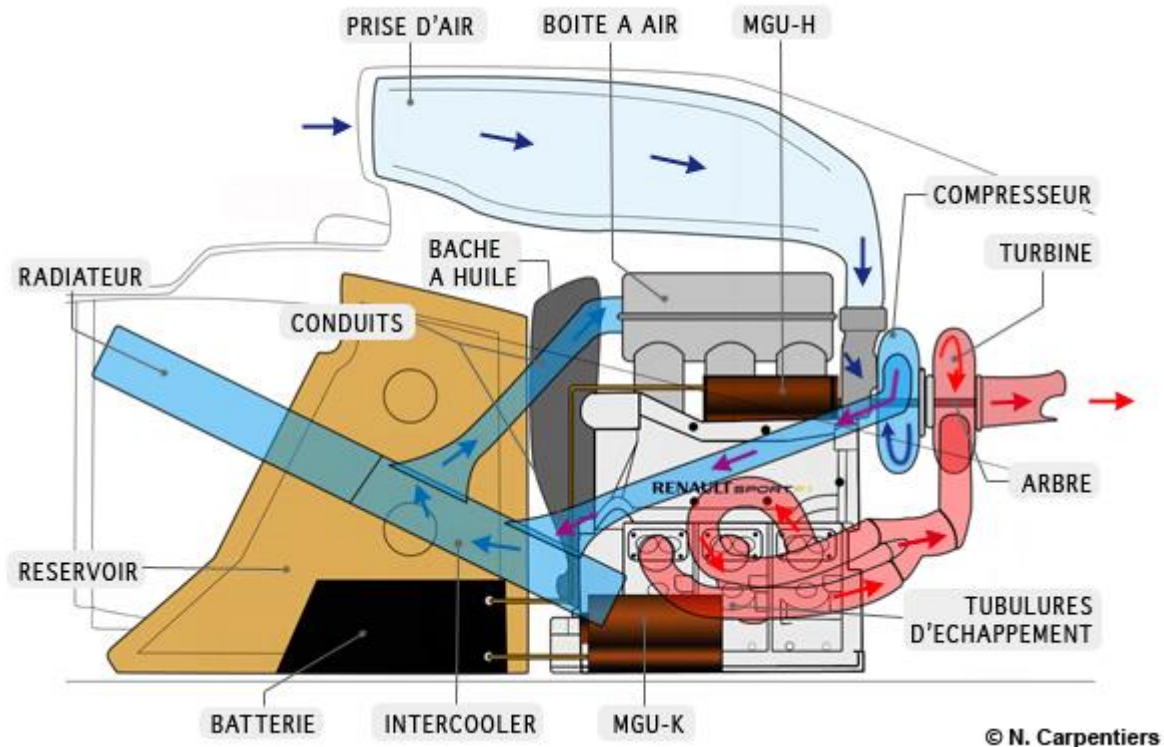
La conversion de courant alternatif en courant continu (et vice-versa) crée en effet des pertes qui se traduisent sous forme de chaleur dans le boîtier électronique. De même, le chargement et le déchargement des cellules de lithium dans la batterie font monter celle-ci en température. Batterie et boîtier doivent donc être impérativement refroidis, ce qui est généralement effectué par un circuit de refroidissement à eau spécifique (qui nécessite un radiateur assez grand, installé dans l'un des pontons). Mais, en même temps qu'elle doit être refroidie, la batterie fonctionne de manière optimale dans une certaine fenêtre de température (ce qui explique que l'eau du circuit de refroidissement est préchauffée – comme les moteurs sont préchauffés avant d'être allumés). Enfin, la batterie doit fonctionner à un certain niveau de charge, qu'il faut maintenir.

4. L'Intégration des Moteurs 2014

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]

Remarque : sur les schémas de ce chapitre le mot «Refroidisseur» est remplacé par son équivalent anglais, à savoir «Intercooler».

4.1 L'INTÉGRATION DU MOTEUR RENAULT 2014



Installation classique

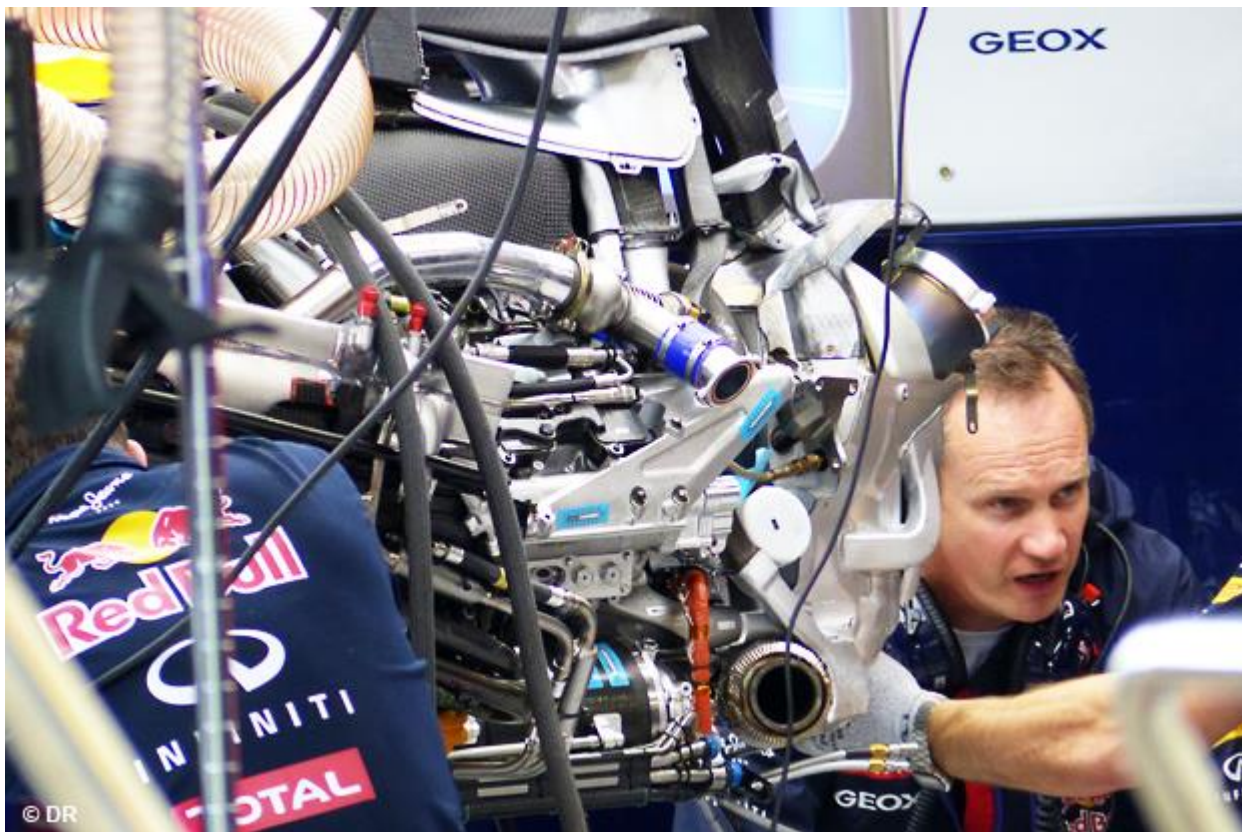
Sur son V6, Renault est resté fidèle à une architecture classique : le compresseur y est collé à la turbine. En schématisant, un turbo se compose de trois pièces : une turbine, un compresseur et un axe qui les relie. La turbine, placée dans le flux de gaz s'échappant du moteur, est entraînée à grande vitesse. Elle est reliée par un arbre à un compresseur situé en amont du conduit d'admission du bloc. Ce compresseur aspire et comprime l'air ambiant, qui doit être refroidi avant d'être envoyé dans les cylindres.

Comme on le voit sur le premier schéma, le turbocompresseur mis au point par le Losange forme un ensemble compact, situé à l'arrière du moteur. L'axe reliant le compresseur à la turbine y est très court.

Le MGU-H – qui récupère l'énergie déployée par la rotation de l'arbre – est installé à l'intérieur du "V" formé par les deux rangées de cylindres. L'intérêt d'une telle configuration ? Installer le V6 très près du réservoir d'essence, pour bénéficier d'une bonne répartition des masses (vu la position de son échangeur, le V6 Mercedes en serait un peu moins proche).

En revanche, par rapport à l'implantation qu'ont choisie les motoristes allemands, cette disposition entraîne des conduits plus longs.

Premièrement, parce que l'air entré par la boîte à l'air met un certain temps à atteindre le compresseur, puisque celui-ci est situé à l'arrière. Difficulté amplifiée par le fait que l'entrée d'air du compresseur ne se situe pas parfaitement dans l'axe, comme on l'observe quand on la compare avec celle qui équipe le bloc Mercedes.

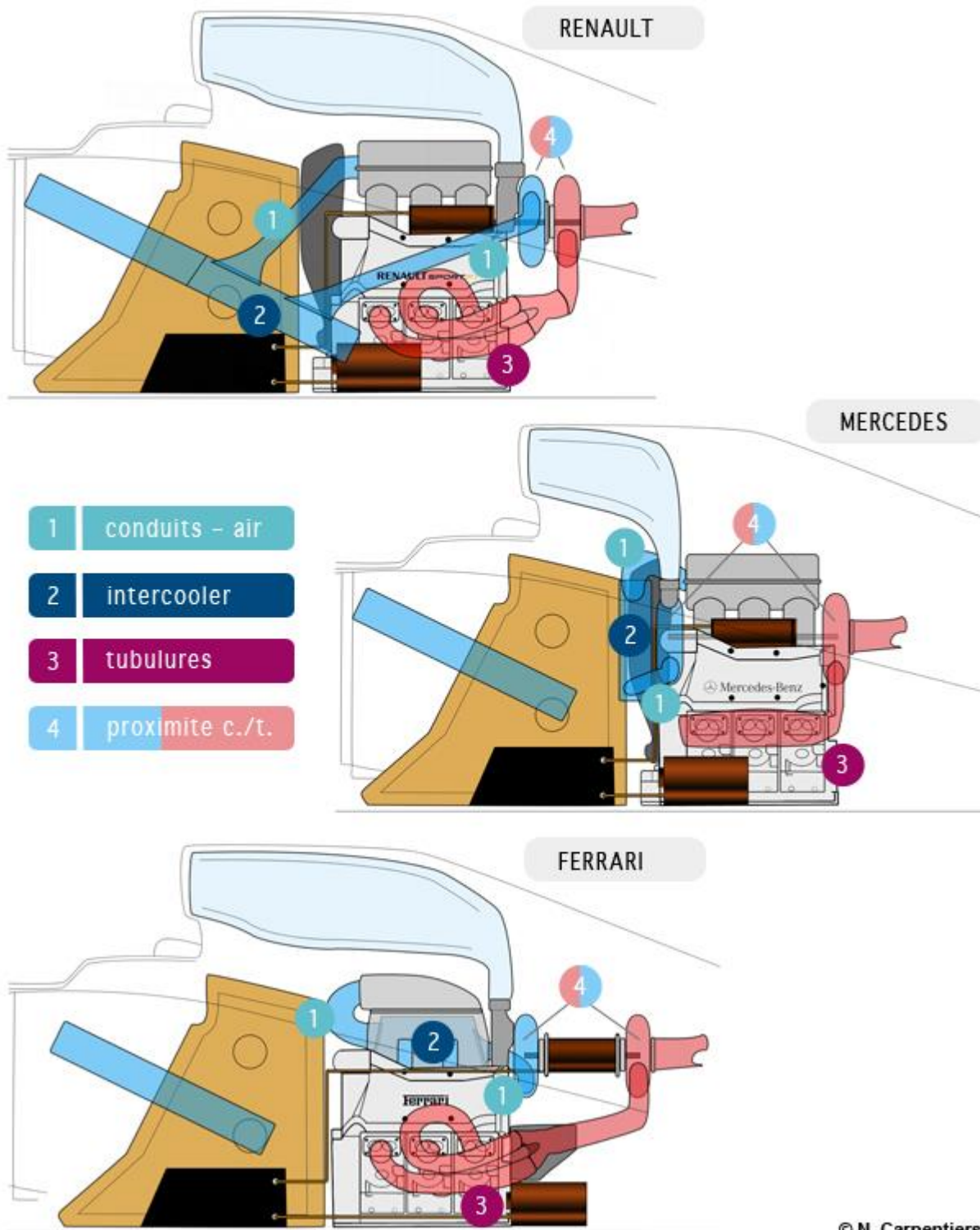


Longueurs des conduits et temps de réponse

Deuxièmement, parce que le chemin que doit parcourir l'air comprimé pour atteindre l'échangeur est plus long que sur le PU106A tel qu'il est installé dans la Mercedes W05, comme nous l'expliquerons dans notre analyse du V6 allemand. Par conséquent, sur le Renault, il faut davantage de puissance pour faire circuler l'air comprimé (cela dit, cette distance est tout aussi grande sur le moteur Ferrari) :

“La question des transitoires doit en effet être posée, acquiesce Taffin. Il s’agit de moteurs turbo, avec des temps de réponse. Les conduites ici [pointant le schéma du Renault] sont plus longues que là [Mercedes].”

L'échangeur, échangeur thermique qui rafraîchit l'air comprimé, ne doit pas être confondu avec les radiateurs conventionnels d'eau et d'huile. Sur toutes les monoplaces motorisées par le constructeur français, l'échangeur et les autres radiateurs sont placés côte à côte, à l'intérieur des pontons. Ce qui a un impact sur l'aérodynamique interne de la monoplace : accueillant deux types de radiateur, les flancs de la Red Bull et de la Lotus sont plus encombrés que ceux de la Mercedes W05 ou ceux de la Ferrari F14 T. Sur ces dernières, l'échangeur est éloigné des autres radiateurs, afin de dégager le plus possible les pontons et de réduire de la sorte le blocage du flux d'air.

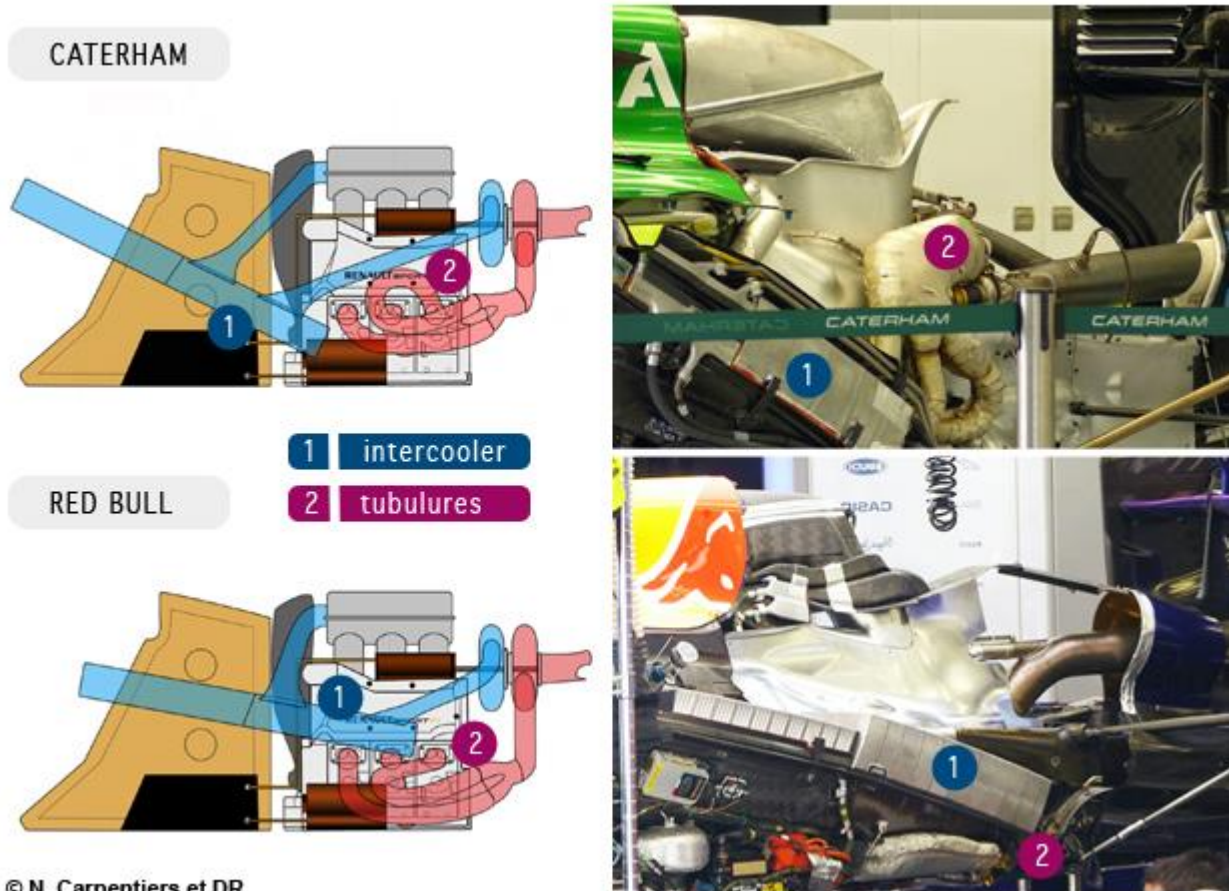


Conflit thermique

Par ailleurs, dans la configuration Renault, le compresseur, parce qu'il est accolé à la turbine, se trouve dans une zone extrêmement chaude : 1000 °C. Or un moteur tolère mal un air supérieur à 50 °C. Il faut dès lors refroidir davantage l'air que sur le moteur Mercedes (où compresseur et turbine sont très espacés), au moyen d'un imposant échangeur, qui pénalise l'aérodynamique.

Autre parti pris, partagé avec le V6 italien : Renault a conservé les classiques tubulures d'échappement qui débouchent du moteur et se dirigent vers la turbine. Là où Mercedes les a tronquées pour les intégrer dans un seul collecteur, très court (*"log manifold"* en anglais).

Autrement dit – et en forçant allègrement le trait –, au lieu de sacrifier un peu de la puissance du moteur à combustion comme l'ont fait les ingénieurs de Brixworth, les motoristes de Viry-Châtillon auraient privilégié l'optimisation des échappements du V6 thermique, au détriment de la compacité et de la quantité d'énergie envoyée à la turbine puis récupérée par le MGU-H.



Variations périphériques

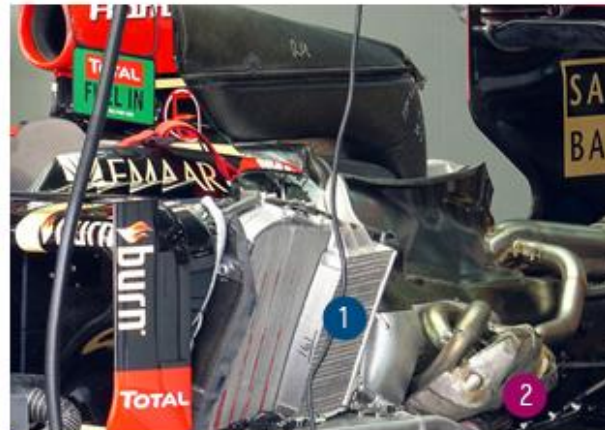
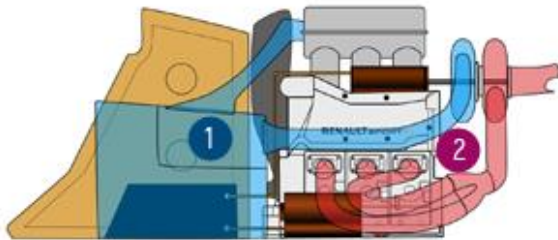
Propulsées par le même moteur en 2014, Red Bull, Lotus, Toro Rosso et Caterham n'intègrent toutefois pas le V6 français de la même façon.

Alors que Caterham (et sans doute Toro Rosso) a dirigé vers le haut les tubulures d'échappement qui recouvrent donc le bloc (comme sur les monoplaces motorisées par Ferrari) –, Red Bull a fait le choix inverse. Pour installer ses radiateurs le plus horizontalement possible (et limiter ainsi la résistance à l'air), Adrian Newey a logé les tubulures sous l'échangeur, en les plaquant contre le fond plat. Lors des essais hivernaux, l'écurie avait rencontré beaucoup de problèmes de surchauffe dans cette zone de la voiture.

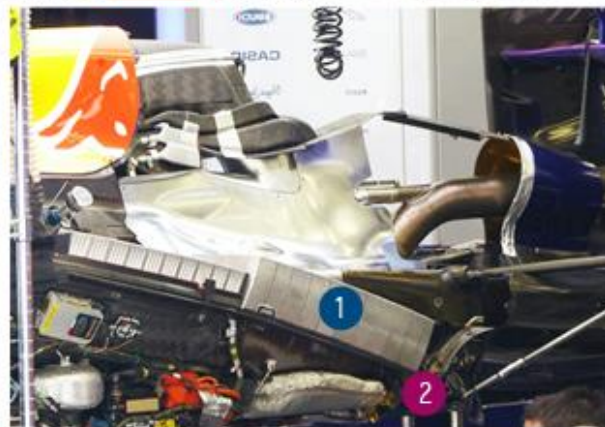
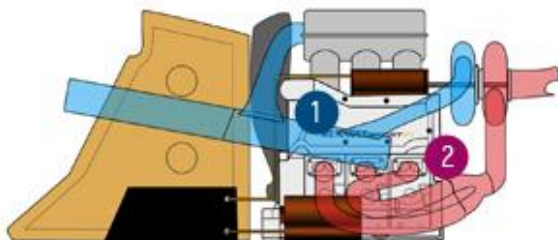
Sur les images, on notera la taille conséquente de l'échangeur, divisé en deux éléments, un dans chaque ponton : une bonne symétrie entre les pontons gauche et droit de la monoplace est primordiale. Un différentiel dans la traînée ou la performance aéro entre les deux flancs altérerait considérablement le comportement de la voiture. Cette disposition des échappements permet aussi à Red Bull de reculer au maximum l'échangeur en vue de diminuer la longueur du trajet de l'air comprimé vers l'échangeur (trajet particulièrement court sur le V6 Mercedes).

De son côté, Lotus (voir ci-dessous) a disposé ses radiateurs à la verticale, toujours pour réduire la longueur des conduits de refroidissement. En revanche, Enstone semble utiliser un échangeur air/eau, à l'instar de Mercedes, solution certes plus lourde mais plus compacte qu'un échangeur air/air tel qu'implanté sur la Red Bull. L'agencement des tubulures de la E23, positionnées assez bas, est à mi-chemin entre celui de la Caterham et celui, plus radical, de la Red Bull.

LOTUS



RED BULL



- 1 intercooler
- 2 tubulures

© N. Carpentiers et DR

De l'importance de la mise en œuvre

Comme expliqué [ici](#), une architecture ne détermine pas à elle seule la compétitivité d'un moteur. Souvenons-nous, de l'écart qu'il peut y avoir entre théorie et pratique : un dessin, aussi astucieux soit-il, doit être parfaitement mis en œuvre – y compris au niveau électronique – pour apporter les avantages escomptés. Ainsi les mêmes choix d'architecture peuvent-ils être des réussites ou des ratages : Mercedes et Ferrari ont décidé de placer l'échangeur au centre du châssis, afin de dégager les pontons et d'optimiser l'aérodynamique interne. Dans un cas, la solution marche, dans l'autre pas...

C'est surtout le retard pris pour lancer le programme du V6 hybride (chiffré à un an en interne) que le constructeur français paie aujourd'hui. Cela dit, en vue de préparer la spécification de la saison prochaine, Renault a admis examiner toutes les configurations possibles, y compris celle adoptée par Mercedes, que nous examinerons prochainement :

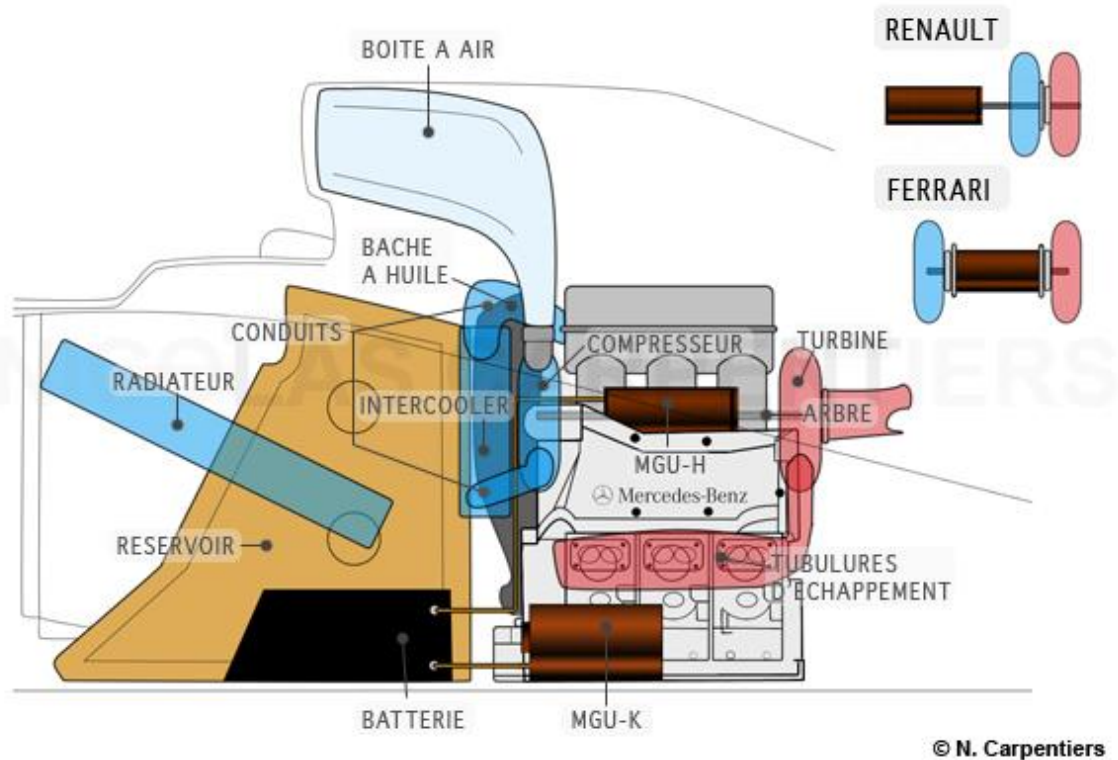
"On étudie les deux solutions en parallèle, pour l'instant on n'a pas encore choisi, conclut Taffin. C'est un changement assez important, les tests actuels sur le banc sont donc menés dans cette configuration-là [l'architecture actuelle] car nous avons beaucoup d'autres choses à essayer, ce n'est pas notre lay-out primaire. Mais il n'est pas impossible qu'une version comme celle-là [Mercedes] voie le jour l'année prochaine ou l'année d'après."

Le Losange conservera vraisemblablement son architecture, mais recevra le soutien de Red Bull dans certains domaines (par exemple, la récupération d'énergie). L'écurie a mis en place à Milton Keynes une équipe d'ingénieurs qu'elle a elle-même recrutés, qui est une "extension" de Renault Sport, selon les mots de Cyril Abitboul.



() Réalisés dans une perspective avant tout comparatiste, les schémas présentés ici simplifient la réalité complexe des groupes propulseurs (le réservoir est normalement creusé pour accueillir la bête à huile ; le dessin des échappements et de la prise d'air est trop schématique ; de nombreux périphériques sont manquants, etc.). Merci à Rémi Taffin de Renault Sport de s'être prêté à l'exercice délicat du commentaire, compte tenu de son devoir de réserve.*

4.2 L'INTÉGRATION DU MOTEUR MERCEDES 2014



© N. Carpentiers

Installation novatrice

Pour relever le défi de l'efficacité énergétique, les motoristes engagés cette saison en Grand Prix – Renault, Mercedes et Ferrari – ont chacun emprunté des voies différentes. Nous allons examiner de près les spécificités du moteur Mercedes, la référence cette saison en matière de groupe propulseur.

Par rapport au Losange, l'Étoile a choisi une implantation originale, qui "décompose" le turbo. En schématisant, un turbocompresseur s'articule autour de trois éléments : une turbine, un compresseur et un axe qui les relie. Chez Renault et Ferrari, le compresseur est "collé" à la turbine. Le bloc Mercedes, lui, sépare totalement le compresseur de la turbine, comme on le voit sur le schéma ci-dessus (*).

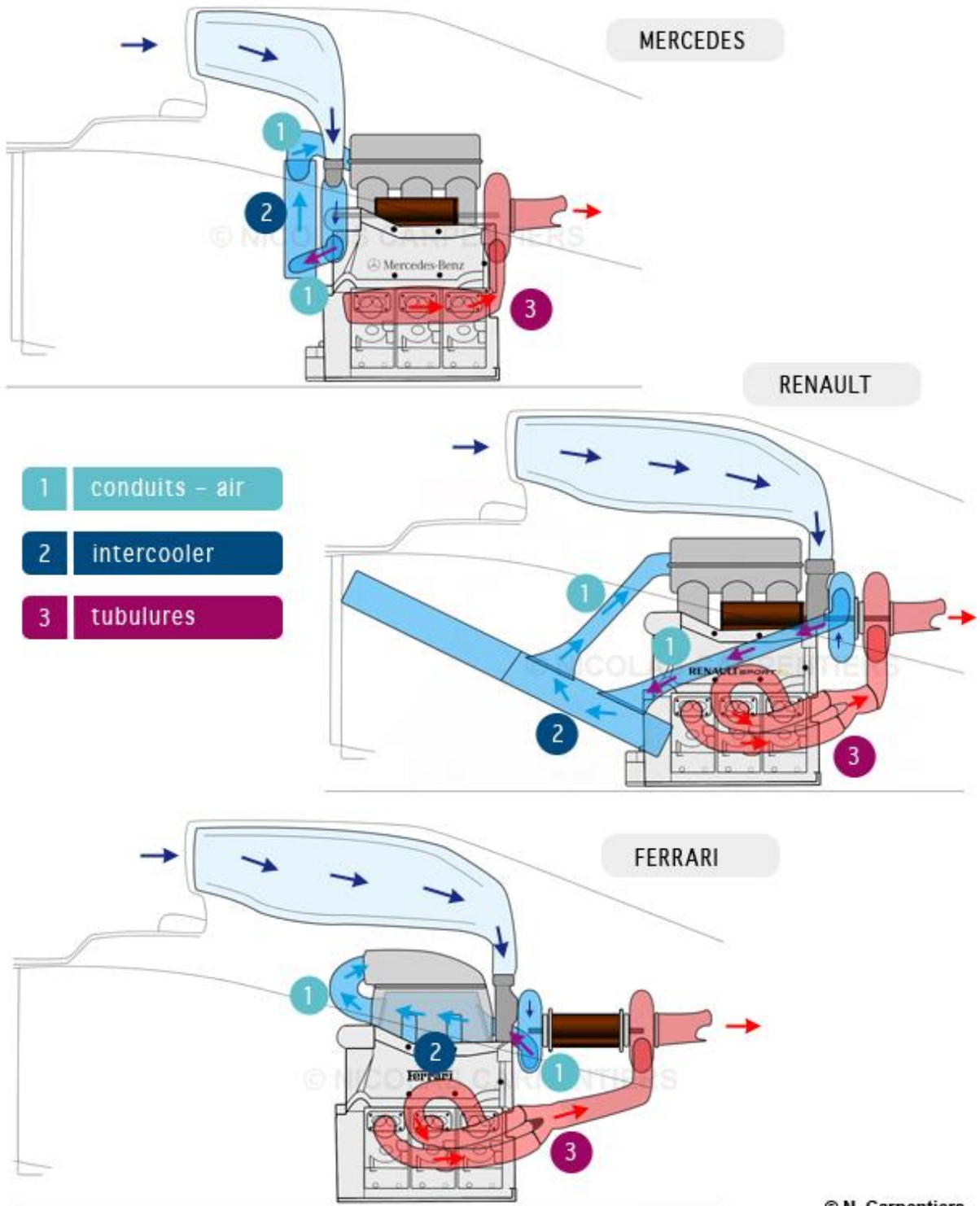
Autrement dit, la turbine est montée à l'arrière du moteur, alors que le compresseur, lui, est placé à l'avant, de l'autre côté du bloc (on peut le situer au niveau du cache rouge sur l'image ci-dessous, qui montre le moteur Mercedes dans le garage McLaren). Les deux éléments, éloignés l'un de l'autre davantage que dans une architecture conventionnelle, sont reliés par un axe – par conséquent beaucoup plus long – qui passe à l'intérieur du "V".



Triple atout

Cette architecture, inhabituelle, présente trois avantages. Le premier est une meilleure gestion du refroidissement, puisque le compresseur en aluminium et les conduits sont montés à l'avant du V6, loin des 900 °C de la turbine et des pots d'échappements brûlants. Situé dans une zone bien moins chaude que sur le Renault, le compresseur Mercedes peut se satisfaire d'un échangeur plus petit (puisque l'air comprimé a moins besoin d'être refroidi).

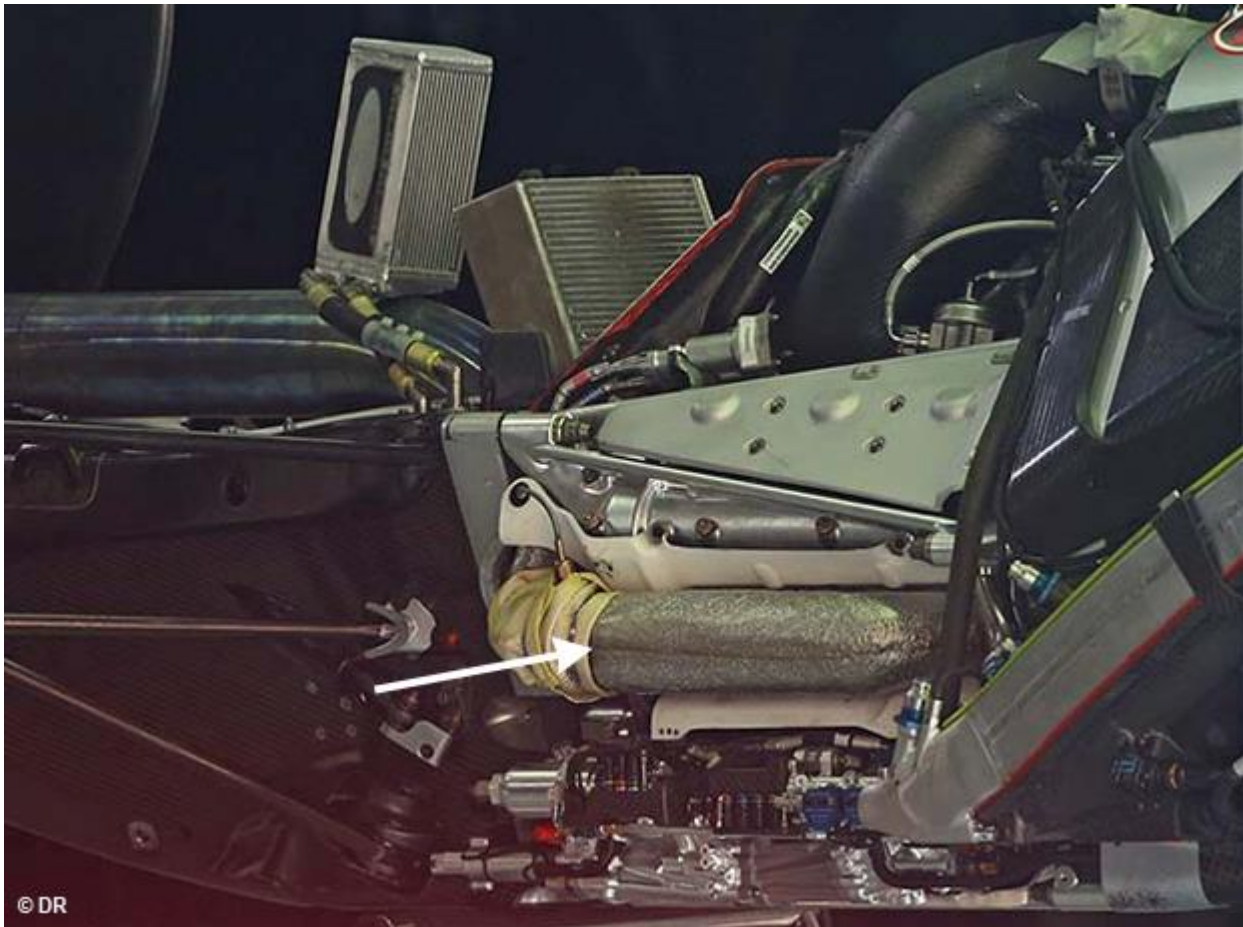
C'est là que réside le deuxième atout du moteur équipant les Flèches d'argent. Alors que Red Bull utilise deux imposants échangeurs installés de chaque côté du moteur dans les pontons, les ingénieurs châssis de Brackley ont travaillé main dans la main avec leurs collègues motoristes de Brixworth pour mettre au point un échangeur unique, logé dans la monocoque elle-même, grosso modo derrière la tête du pilote. Sur la Mercedes W05, l'échangeur est implanté dans le châssis, afin de dégager le plus possible l'intérieur des pontons et de réduire de la sorte le blocage du flux d'air (les pontons sont aussi dégagés sur la Ferrari F14 T car l'échangeur est implanté au centre du "V" formé par les deux rangées de cylindres). Pour rappel, l'échangeur rafraîchit l'air comprimé par air (Red Bull) ou par eau (Mercedes, Ferrari, Lotus), alors que les radiateurs conventionnels d'eau et d'huile, logés dans les pontons, refroidissent le V6, la transmission, etc.



Meilleure dépense de l'énergie

Le troisième avantage est notable. Comme on le voit ci-dessus, sur le PU106A, les conduits qui relient le compresseur à l'échangeur sont nettement plus courts que sur les moteurs conçus par Renault et Ferrari, ce qui permet de réduire le fameux "temps de réponse" du turbo. Or abaisser ce décalage permet de réduire la proportion d'énergie récupérée par l'ERS que le MGU-H doit consacrer à la relance de la turbine quand la pédale d'accélérateur n'est pas enfoncée. En d'autres termes, Mercedes "gaspillerait" moins d'énergie que ses concurrents pour maintenir la vitesse de rotation optimale de la turbine et serait dès lors capable d'en consacrer davantage au "boost" proprement dit – gain appréciable quand on se souvient que le règlement permet de dépenser 4 MJ par tour mais d'en récupérer seulement 2 par boucle. Capable de remplir ses batteries plus vite que le Renault et le Ferrari, le groupe propulseur Mercedes peut dépenser le maximum d'énergie électrique autorisée par le règlement à *chaque tour* (et consommer moins de carburant), ce qui ne semble pas être le cas des autres motoristes selon les déclarations un patron d'écurie à nos confrères d'*Auto Hebdo* : *"Avec le moteur Mercedes, c'est la certitude d'avoir droit à deux tours d'affilée à pleine charge. Avec les autres, c'est 75 % d'un seul tour."*

Outre la position de l'échangeur dans le châssis (qui est propre à la W05 : ce radiateur est placé conventionnellement dans la Williams, la Force India et la McLaren), la longue expertise des motoristes de Brixworth en matière de récupération d'énergie explique l'efficacité de l'ERS sur la Flèche d'argent, davantage que la taille du compresseur, comme certains observateurs l'ont avancé (**). Contrairement à la plupart des motoristes, qui, à l'époque du premier KERS, avaient laissé les écuries développer les systèmes de récupération d'énergie et/ou compté sur le savoir-faire de leurs fournisseurs (Magneti Marelli pour Ferrari et Renault), Mercedes, pour sa part, n'a jamais cessé de peaufiner son système maison. En 2010, alors que les teams se sont entendus pour ne pas utiliser le KERS cette année-là, il a malgré tout continué à travailler sur son système. Si la deuxième génération de KERS était beaucoup plus efficace que la précédente, sa restriction par le règlement (60 kW pendant 6,5 secondes contre 120 kW durant 33 secondes aujourd'hui) a masqué les progrès effectués dans un domaine aujourd'hui nettement plus déterminant dans la performance globale de la voiture.



Autres priorités

Là où Renault a conservé les classiques tubulures d'échappement qui débouchent du moteur et se dirigent vers la turbine, Mercedes les a tronquées pour les intégrer dans un seul collecteur, très court ("log manifold" en anglais, voir l'image ci-dessus), placé très bas. En simplifiant, les ingénieurs de Brixworth ont choisi de sacrifier un peu de la puissance du moteur à combustion, contrairement aux motoristes de Viry-Châtillon et de Maranello, qui auraient privilégié l'optimisation des échappements du V6 thermique, au détriment de la compacité et de la quantité d'énergie envoyée à la turbine puis récupérée par le MGU-H.

Globalement, le propulseur étoilé cumulerait les avantages du V6 Renault (compacité) et ceux du moteur Ferrari (échangeur hors des pontons), comme le résume Rémi Taffin, directeur des opérations de piste chez Renault Sport :

"Là [désignant le schéma du Mercedes], on pourrait dire qu'on a le bénéfice des deux, puisqu'on arrive à avoir le MGU-H dans le V tout en ayant un échangeur quelque part dans le châssis, qui ne prend donc pas de place dans les pontons. Par contre, cette architecture a d'autres contraintes : avec un compresseur éloigné de la turbine, l'arbre est très long, ce qui pose d'autres problèmes, de dynamique notamment... D'un autre côté, la question des transitoires

doit être posée : il s'agit de moteurs turbo, avec des temps de réponse. Les conduites ici [sur le Renault] sont plus longues que là [Mercedes].”

Le défaut théorique de cette implantation est en effet la longueur inhabituelle de l'axe, qui rend la pièce plus vulnérable: entraîné à 125.000 tours/minute (régime de rotation de la turbine, à ne pas confondre avec le régime du moteur), l'arbre doit posséder une fiabilité exemplaire, ce qui est bien le cas sur le bloc Mercedes, qui serait en outre particulièrement léger.

MERCEDES

FORCE INDIA

1 intercooler
2 tubulures

McLAREN

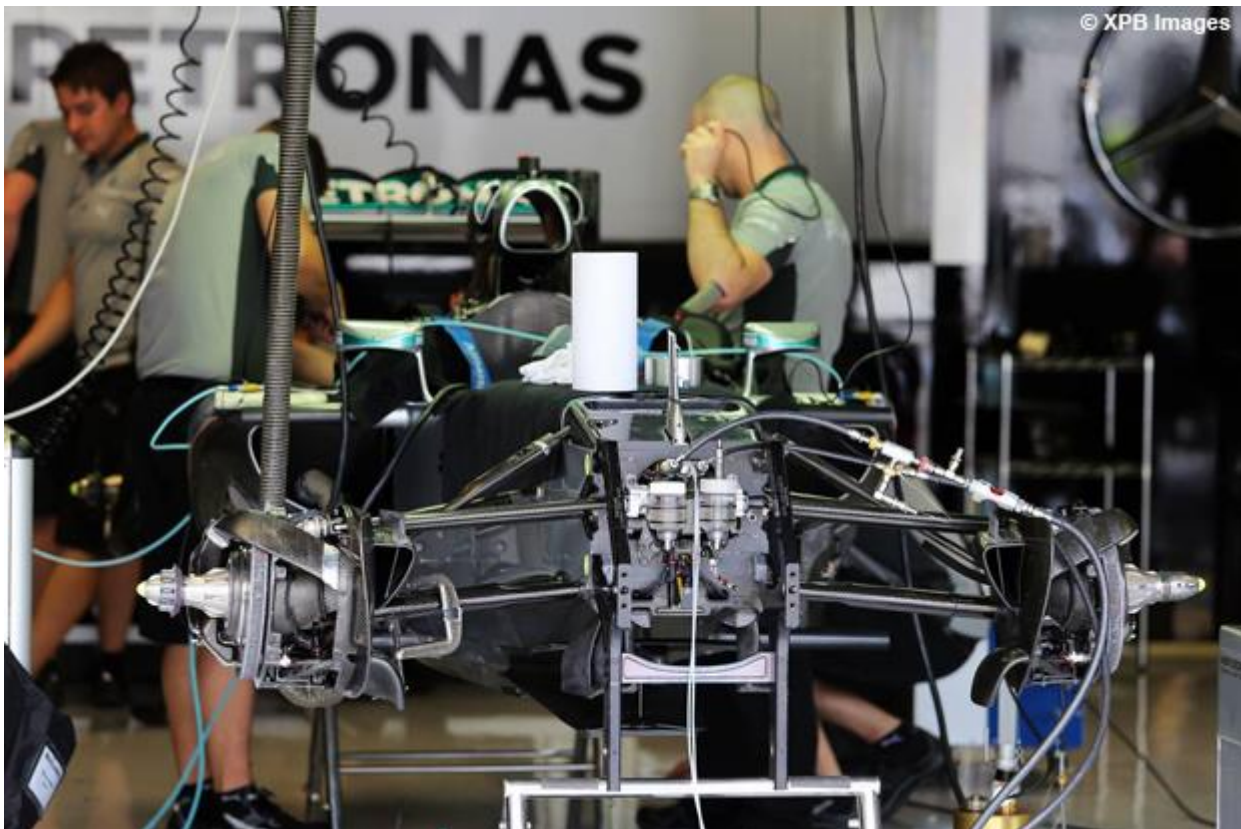
© N. Carpentiers et DR

Équipe d'usine par rapport aux écuries clientes

Par rapport à McLaren, Force India et Williams, l'équipe d'usine Mercedes a eu davantage de latitude et de temps pour optimiser l'installation du V6 et affiner l'aérodynamique interne de sa monoplace. La W05 est ainsi la seule voiture à loger son échangeur – air/eau – entre le moteur et le réservoir, solution qui réduit la longueur de la tuyauterie de compression tout en dégagant l'intérieur des pontons, qui peuvent dès lors être symétriques.

La VJM07 conçue par Andy Green et son équipe dispose, quant à elle, d'un échangeur air-air unique (et non dédoublé, comme sur la Red Bull, signe que le moteur allemand exige peut-être moins de refroidissement que le V6 français). Situé dans le ponton gauche, il est placé aussi en avant que possible du bloc thermique, afin d'être éloigné des calories dégagées par celui-ci et les échappements, alors que les radiateurs à eau et huile destinés à refroidir le moteur et la transmission occupent le ponton droit.

Le V6 Mercedes est intégré quasiment de la même manière dans la McLaren. La MP4-29 accueille aussi un échangeur air-air dans son ponton gauche, mais en le plaçant en oblique, ce qui est assez peu conventionnel. Les écuries clientes ont reçu leur propulseur plus tard que l'équipe d'usine et ont donc eu moins de temps pour étudier les détails de son intégration dans le châssis... Mieux que Renault (mais aussi Ferrari, pourtant constructeur), Mercedes a réussi le défi de l'intégration, en faisant collaborer étroitement et très en amont les cerveaux de Brackley avec ceux de Brixworth, installés les uns des autres à une quarantaine de kilomètres.

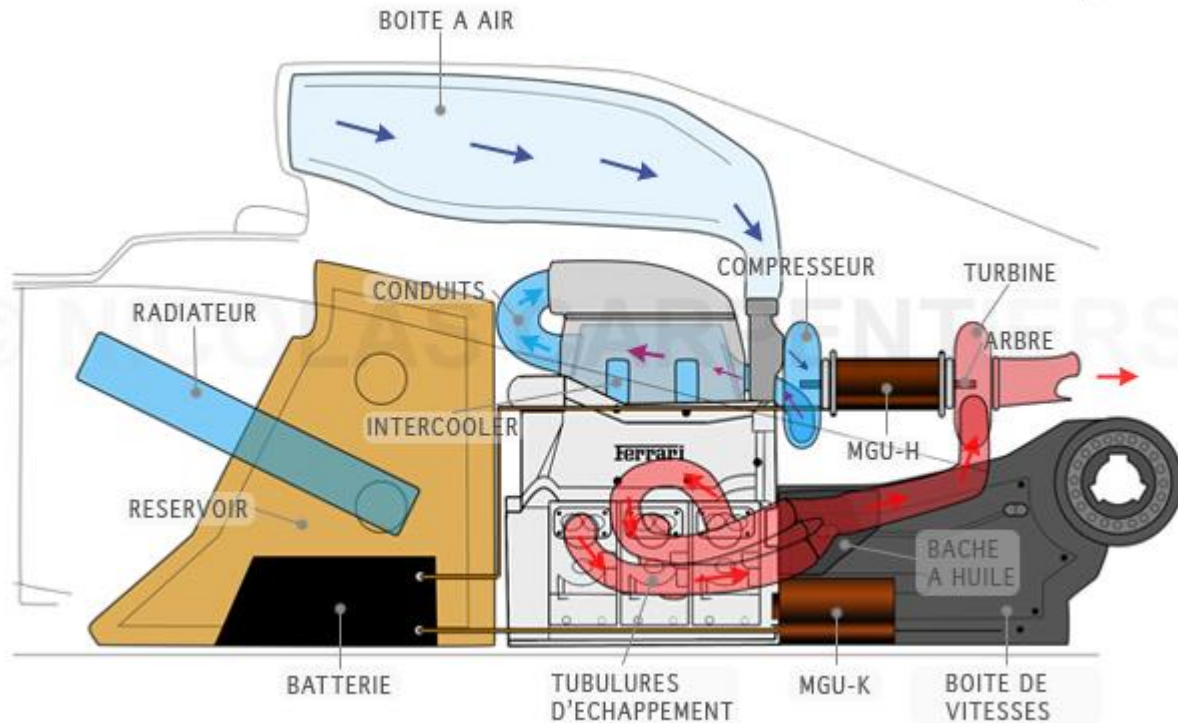


() Réalisés dans une perspective avant tout comparatiste, les schémas présentés ici simplifient la réalité complexe des groupes propulseurs (le réservoir est normalement creusé pour accueillir la bête à huile ; le dessin des échappements et de la prise d'air est trop schématique ; de nombreux périphériques sont manquants, etc.). Merci à Rémi Taffin de Renault Sport de s'être prêté à l'exercice délicat du commentaire, compte tenu de son devoir de réserve.*

*(**) "Il n'y a pas vraiment de lien proportionnel direct entre la taille du compresseur et la puissance du MGU-H, explique Rémi Taffin. Pour synthétiser à l'extrême : le niveau de suralimentation détermine la taille du compresseur, qui fixe un certain travail à fournir, qu'il va falloir récupérer sur la turbine, et c'est ce qui va définir la taille de celle-ci. Quant au moteur électrique [MGU-H], il sera dimensionné en fonction de la taille de la turbine. C'est dans ce sens qu'on dimensionne les différents composants, qui sont tous interdépendants. Tout est relié. La turbine est dimensionnée afin de récupérer un maximum d'énergie à l'échappement. Une partie de cette énergie entraîne le compresseur et une autre est récupérée par le MGU-H. La taille du compresseur, elle, dépend du niveau de suralimentation que l'on souhaite : si on a besoin de 4 bars, on va déterminer une certaine taille de roue du compresseur. Par ailleurs, plus cette roue est grande, plus il faut d'énergie pour la faire tourner en vue d'obtenir ces 4 bars. Or cette énergie est puisée dans l'échappement, ce qui signifie qu'il en reste moins... En simplifiant beaucoup, plus la roue du compresseur est grande, moins on a d'énergie disponible à l'échappement et, donc, moins on a de chances d'avoir un MGU-H puissant."*

4.3 L'INTÉGRATION DU MOTEUR FERRARI 2014

© N. Carpentiers



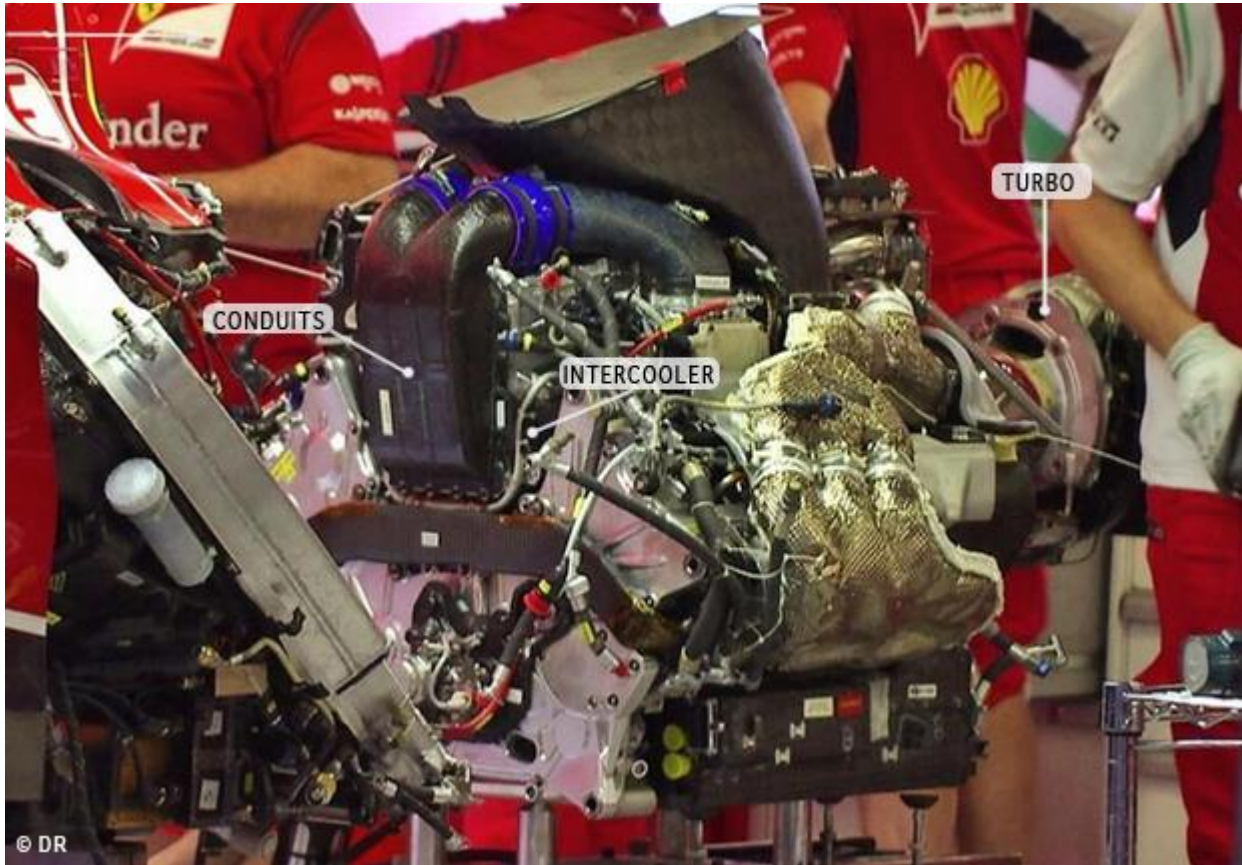
Installation novatrice

Pour satisfaire aux exigences de rendement énergétique imposées par le règlement 2014, les motoristes engagés cette saison en Grand Prix – Renault, Mercedes et Ferrari – ont chacun emprunté des chemins différents. Nous allons à présent examiner de près les spécificités du moteur Ferrari.

Sur le papier, l'audacieux pari technique tenté par le Cavallino sur son groupe propulseur n'était pas dénué de fondement : concevoir un moteur aussi compact que possible, situé très en avant, afin de dégager l'arrière du châssis et d'optimiser ainsi l'aérodynamique de la voiture. Après avoir été remercié par Ferrari en août dernier, le motoriste en chef Luca Marmorini a expliqué à son ami de longue date Leo Turrini la philosophie qui avait présidé à la conception du bloc 059/3 :

“Avec mes collaborateurs, j’ai conçu un ‘power unit’ avec des dimensions précises, plus petites que celles du Mercedes et du Renault, à la demande expresse du chef de projet, M. Tombazis. Ils nous ont dit : ‘Nous voulons un moteur très compact, avec de petits radiateurs, et nous compenserons cette perte de puissance par des solutions aérodynamiques qui nous donneront un avantage sur les voitures propulsées par Mercedes ou Renault. C’est exactement ce que nous avons fait. Sauf que quand nous avons été confrontés à nos concurrents sur la piste, les chevaux manquaient, bien évidemment, mais sans aucune compensation du côté aérodynamique !”

S'il convient de prendre ce genre de déclaration avec prudence, il faut bien constater que tout a été fait sur la mécanique italienne afin de lui donner les dimensions les plus compactes, manifestement au détriment de son efficacité intrinsèque.

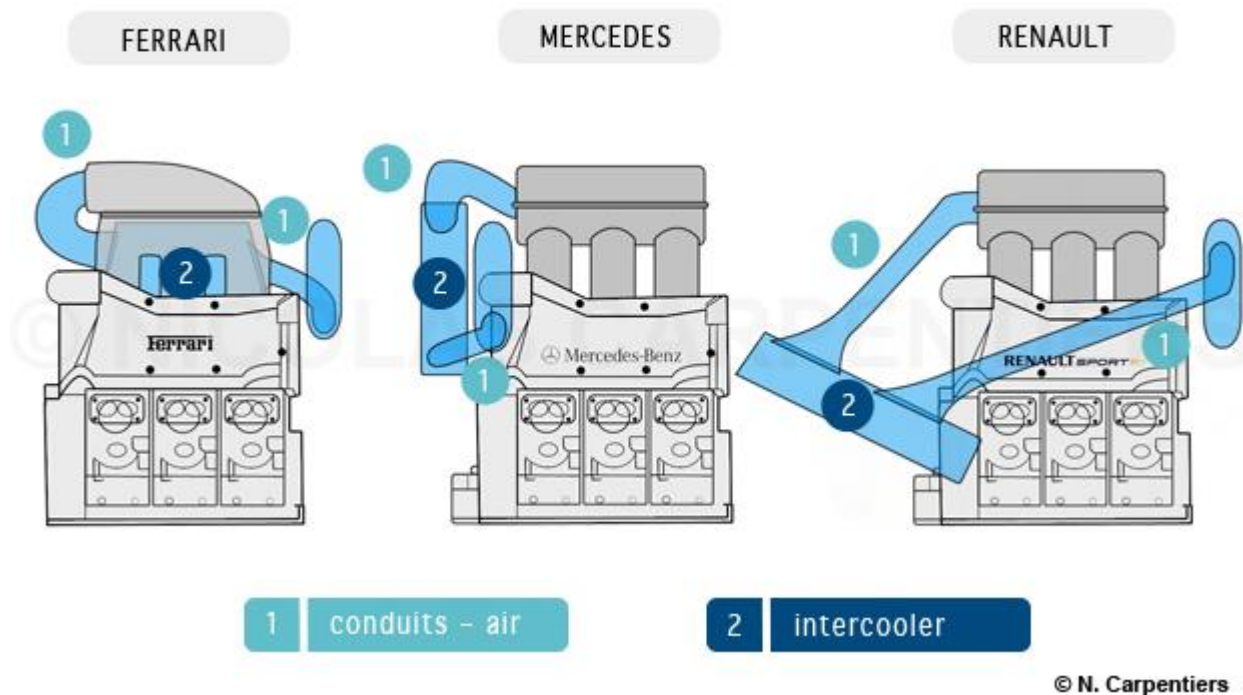


Encore plus original

Tout d'abord, les motoristes de Maranello ont logé l'échangeur à l'intérieur du 'V' formé par les deux rangées de cylindres. Sur la Mercedes, ce radiateur est placé dans la monocoque en position centrale, devant le moteur. Sur la Red Bull-Renault, deux imposants échangeurs sont installés de chaque côté du moteur, dans les pontons. Les ingénieurs italiens ont, quant à eux, façonné un échangeur unique, implanté au cœur du V6, pour dégager le plus possible l'intérieur des pontons et réduire de la sorte le blocage du flux d'air. Pour rappel, l'échangeur rafraîchit l'air comprimé par eau (Ferrari, Mercedes, Lotus) ou par air (Red Bull), alors que les radiateurs conventionnels d'eau et d'huile, logés dans les pontons, refroidissent le V6, la transmission, etc.

Très élégant en termes de packaging, ce dessin très compact permet d'utiliser des conduits très courts pour relier le compresseur à l'échangeur (davantage que sur le Renault en tout cas), ce qui devrait permettre, en principe, de réduire le fameux "temps de réponse" du turbo. En revanche, cette implantation n'est sans doute pas idéale du point de vue thermique, puisque que le système censé refroidir l'air comprimé est encastré entre les deux bancs de cylindres brûlants. De ce fait, la chemise d'eau du radiateur est relativement épaisse, ce qui accroît le

pois de l'ensemble (qui dépasserait d'une quinzaine de kilos le poids minimal fixé par le règlement). Combinée à une surchauffe des échappements (voir plus bas), cette particularité fait de la Rossa une voiture particulièrement exigeante en termes de refroidissement.



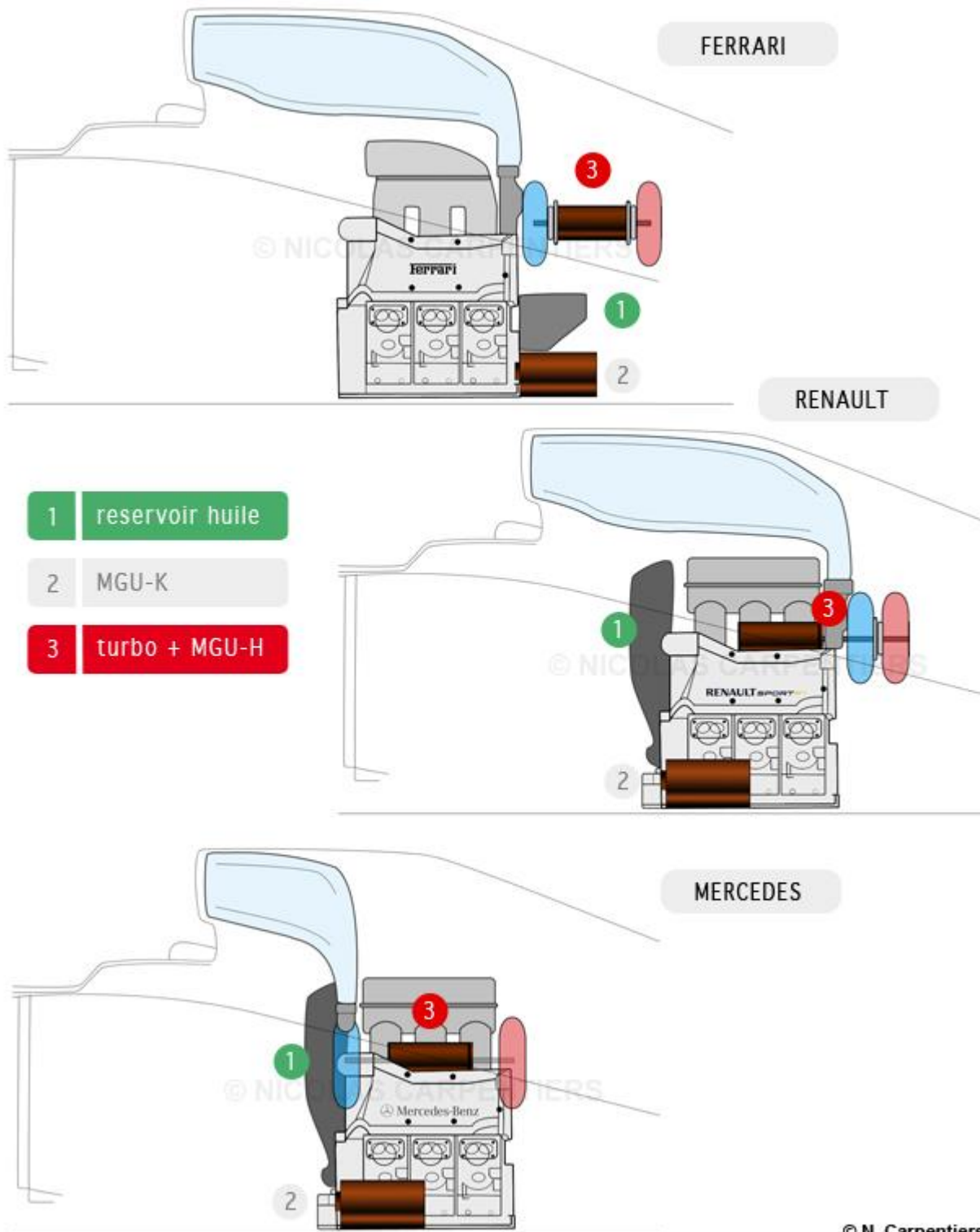
Double soupape de décharge

Deuxièmement, le V6 Ferrari serait équipé d'un compresseur et d'un turbo de dimensions réduites, dans le but d'obtenir un ensemble ramassé à l'arrière de la monoplace. Or, tout en limitant le temps de réponse du turbo, une petite turbine produit en général moins de puissance et davantage de contre-pression, ce qui pénalise la puissance du moteur à haut régime (le propulseur italien est d'ailleurs le seul à être équipé d'une double soupape de décharge, d'où une tuyauterie plus encombrante, etc.). Par ailleurs, compte tenu de la position de l'échangeur, la turbine et le compresseur sont disposés à l'arrière du bloc, comme le note Rémi Taffin, directeur des opérations de piste chez Renault Sport, qui a accepté d'examiner nos schémas (*) :

"Ferrari a logé l'échangeur dans le V du moteur, le MGU-H ne peut donc pas être installé à cet endroit [entre les rangées de cylindres, comme sur le Renault et le Mercedes, nldr]. Il faut donc le mettre ailleurs, mais cette implantation prend de la place dans le châssis. L'autre solution [celle adoptée par Renault] n'en prend pas dans cette zone, mais implique d'installer l'échangeur dans les pontons, ce qui a aussi des conséquences"

Comme sur le V6 Mercedes, le MGU-H est placé entre le compresseur et la turbine, mais il est situé juste entre les deux éléments, auxquels il est relié par un arbre beaucoup plus court que

sur le moteur allemand. Du coup, le rendement thermique du propulseur italien est moindre que celui de son homologue de Brixworth, sans parler des risques de surchauffe du générateur récupérant l'énergie cinétique dégagée par la rotation d'une turbine chauffée à blanc (environ 900 °C).



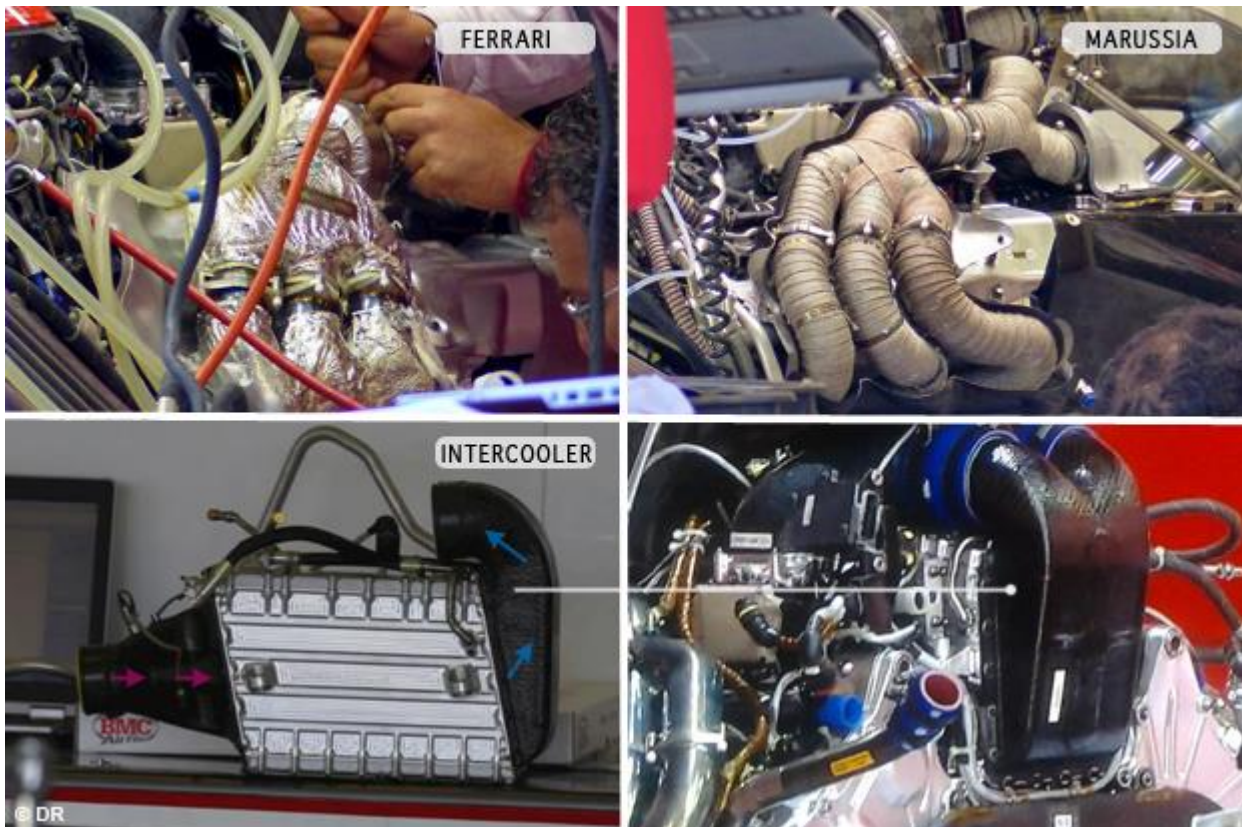
© N. Carpentiers

Retour à l'ancien...

Troisièmement, toujours pour dégager au maximum l'arrière du bolide écarlate, les motoristes transalpins ont adopté une solution radicale quant à la position du réservoir d'huile. Depuis 1998, celui-ci est toujours installé entre le châssis et le moteur (et non pas près de la transmission), car ce dessin – inauguré il y a seize ans par John Barnard sur l'Arrows A19 et Alan Jenkins sur la Stewart SF02 – offre notamment un meilleur centre de gravité et des canalisations plus courtes, donc plus légères. Rien de tel, cependant, sur la F14 T, où le réservoir d'huile est retourné en position arrière, dans le carénage de la boîte de vitesses, au-dessus du MGU-K, placé derrière le bloc. Sur les groupes propulseurs de Renault et de Mercedes, au contraire, le récupérateur/générateur est situé à l'avant du V6, sur la gauche (il semble aussi monté à l'arrière chez Honda, d'après les images disponibles). Ici aussi, la Scuderia a suivi une route pour le moins originale.

Enfin, les tubulures d'échappement – classiques (contrairement au "*log manifold*" de Mercedes) – ne posséderaient pas de doubles parois, contrairement à celles équipant les V6 Renault et Mercedes, et dégageraient du coup beaucoup de calories. Pour y remédier, une solution, d'abord testée par Marussia, est apparue au Grand Prix de Belgique : les échappements ont été recouverts d'une sorte de feuille métallique souple (alors qu'il s'agit d'une sorte de bandage sur la monoplace russe, à droite ci-dessous), pour contenir la chaleur dans les tubulures, ce qui augmenterait la rapidité d'échappement des gaz brûlés et, du coup, la vitesse de rotation de la turbine. Notons toutefois que la tubulure cylindrique du Mercedes est également recouverte d'une couverture isolante.

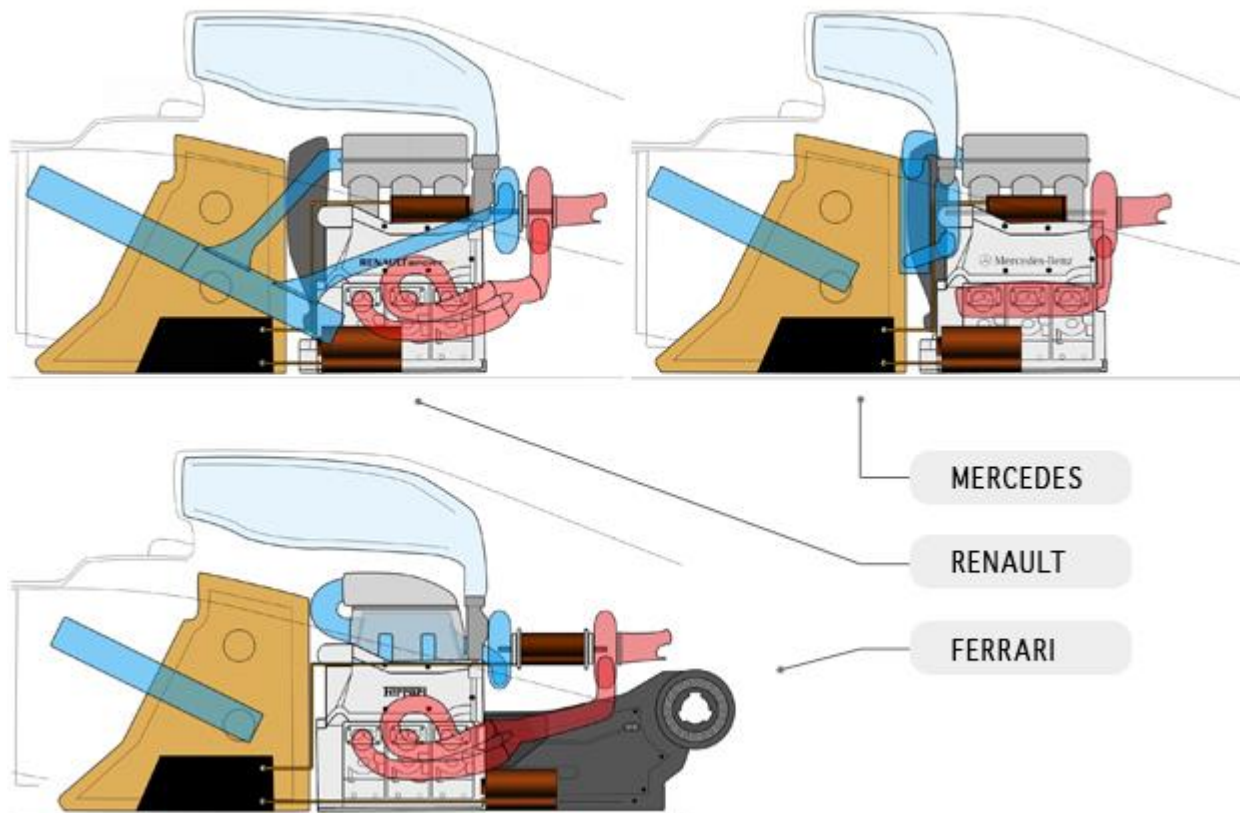
Radical, l'architecture du 059/3 – implanté à l'identique chez Sauber et Marussia – est le résultat de la prérogative accordée par Maranello à l'aérodynamique par rapport au rendement spécifique du moteur hybride. Mais ce n'est pas tout. Aussi astucieux soit-il, un dessin doit être parfaitement mis en œuvre – y compris au niveau électronique (l'ERS est un point faible du moteur italien) – pour apporter les avantages escomptés. Ainsi les mêmes choix d'architecture peuvent-ils être des réussites ou des ratages : Mercedes et Ferrari ont décidé de placer l'échangeur au centre du châssis, afin de dégager les pontons et d'optimiser l'aérodynamique interne.



(*) Réalisés dans une perspective avant tout comparatiste, les schémas présentés ici simplifient la réalité complexe des groupes propulseurs (le réservoir est normalement creusé pour accueillir la bache à huile ; le dessin des échappements et de la prise d'air est trop schématique ; de nombreux périphériques sont manquants, etc.). Merci à Rémi Taffin de Renault Sport de s'être prêté à l'exercice délicat du commentaire, compte tenu de son devoir de réserve.

5. Quelle est l'Importance de l'Architecture Moteur Hybride 2014 ?

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]



© N. Carpentiers

Pour relever le défi de l'efficacité énergétique, les motoristes engagés cette saison en Grand Prix – Renault Mercedes et Ferrari – ont chacun emprunté des voies différentes. Cet espace laissé à la créativité des ingénieurs, nous vous proposons de l'explorer dans une série de quatre articles détaillant les différentes architectures retenues.

Après avoir soupesé toutes les options possibles, les trois constructeurs ont choisi une direction propre, en pondérant chacun à leur façon l'indispensable compromis entre les exigences du groupe propulseur (où doivent être conciliés besoins thermiques et électriques) et les contraintes aérodynamiques.

Rémi Taffin, directeur des opérations de piste chez Renault Sport – qui a accepté d'examiner nos schémas (*) – balise le contexte général dans lequel les différents choix d'architecture ont été opérés :

“Le changement de réglementation a ouvert les possibilités quant à l'architecture du moteur, il y a de multiples combinaisons possibles. On l'a vu cette année, tous les motoristes ne sont pas arrivés au même optimum. Plus les années vont passer, plus une convergence va s'opérer, un

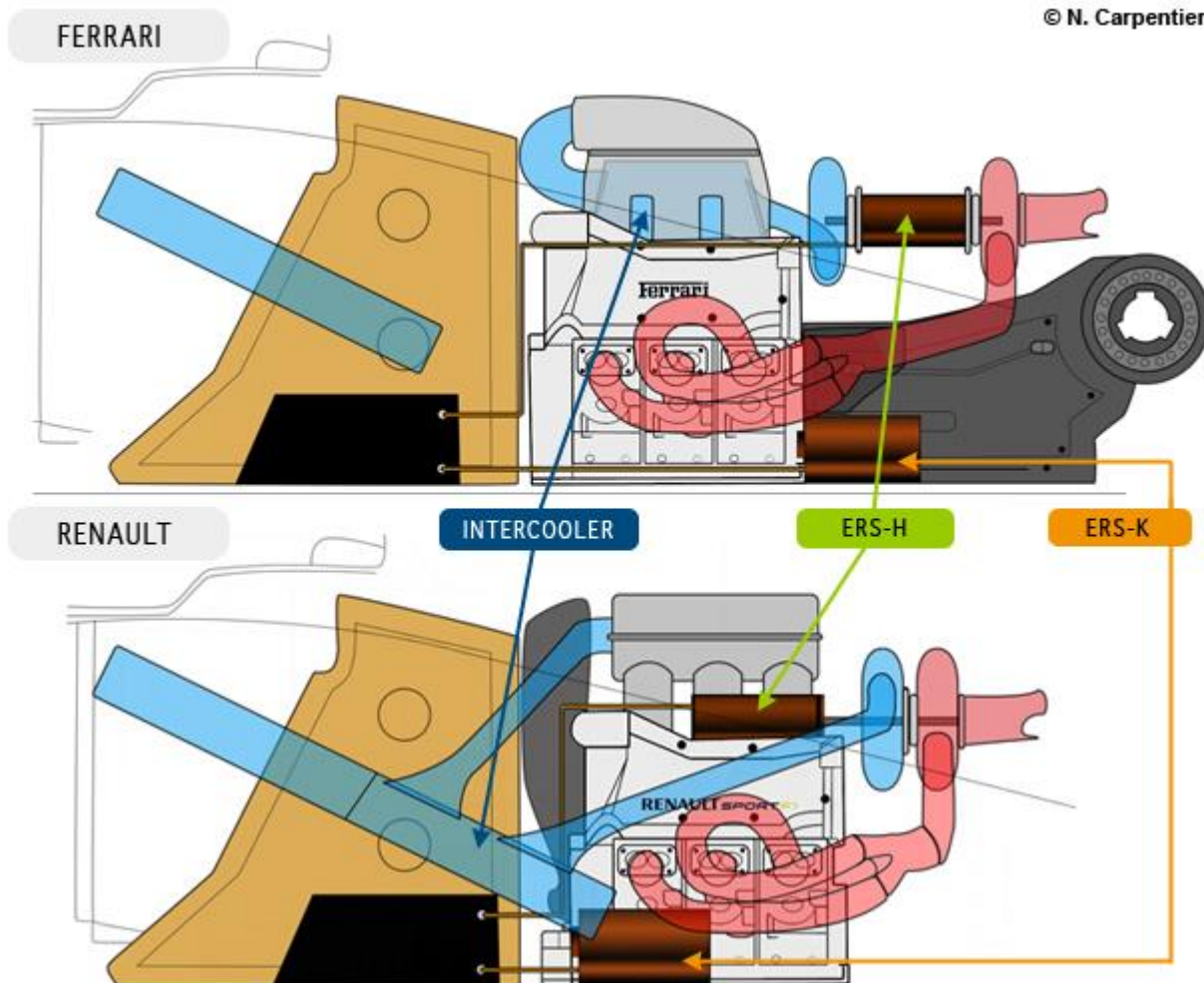
peu comme pour les V8 de l'an dernier. Si vous comparez les V8 de Renault, Ferrari ou Mercedes en fin de saison passée, ils étaient à peu près tous pareils et installés de la même façon dans la voiture : les radiateurs étaient implantés au même endroit, etc.”



Optimums locaux

“Pour le moment, les différentes architectures présentent des ‘optimums locaux’, comme dans une équation à plusieurs inconnues. Si on se trouve ici [pointant le schéma du Renault], on va trouver un certain optimum, si on se situe dans cette configuration-là [Mercedes], on va en trouver un autre. Le tout est de savoir quel est le meilleur, l’optimum global, pour reprendre l’analogie. À un moment, il faut bien fixer certaines contraintes. Selon les domaines dans lesquels on estime pouvoir faire le plus de gains, on fera certains choix.”

Entre les multiples éléments qui constituent un propulseur hybride (un V6 thermique suralimenté, deux générateurs électriques de récupération d’énergie, une batterie, un circuit de refroidissement, des échappements), l’interdépendance est telle que chaque choix opéré sur une pièce a de profondes répercussions sur les autres composants.



Des choix d'intégration différents

“Par rapport au V8, poursuit Taffin, le V6 turbo nécessite beaucoup plus d'intégration, de radiateurs, de récupération d'air, ce qui augmente encore le nombre de combinaisons possibles. Mais du point de vue de la performance stricto sensu, une architecture n'est pas meilleure, en soi, en elle-même, qu'une autre. Par contre, en termes d'intégration, certaines solutions ont des avantages.”

“Les motoristes de Ferrari ont logé l'échangeur dans le 'V' du moteur : ils ne peuvent donc pas installer le MGU-H à cet endroit [= entre les rangées de cylindres, comme sur le Renault et le Mercedes, voir le schéma ci-dessus]. Il faut donc l'implanter ailleurs, ce qui prend de la place dans le châssis... L'autre solution [celle adoptée par Renault] est plus compacte dans cette zone, mais elle implique de placer l'échangeur dans les pontons, ce qui a aussi des conséquences.”

C'est dans cette perspective qu'il faut appréhender les trois architectures adoptées par Renault, Mercedes et Ferrari : en gardant à l'esprit qu'elles sont le résultat de concessions faites dans un domaine au profit d'un autre dans le domaine de l'intégration (le rendement du moteur thermique au détriment du packaging, par exemple).

Ce week-end, nous examinerons à la loupe et en images l'architecture du propulseur français, ainsi que son intégration, qui varie selon le châssis (Red Bull, Lotus, Toro Rosso et Caterham) où il est monté.



() Réalisés dans une perspective avant tout comparatiste, les schémas présentés ici simplifient la réalité complexe des groupes propulseurs (le réservoir est normalement creusé pour accueillir la bache à huile ; le dessin des échappements et de la prise d'air est trop schématique ; de nombreux périphériques sont manquants, etc.). Merci à Rémi Taffin de Renault Sport de s'être prêté à l'exercice délicat du commentaire, compte tenu de son devoir de réserve.*

6. Les Moteurs de F1 2015.

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]

6.1 LE MOTEUR FERRARI 2015

6.1.1 Le 059/4

RETOUR AU CLASSIQUE...

La Formule 1 ne regarde jamais en arrière. Littéralement, cette discipline “va toujours de l’avant”, mobilisant l’intelligence la plus sophistiquée entre toutes... pour tourner en rond le plus vite possible. Comme si elle effectuait une boucle, justement, la F1 a renoué en 2014 avec son passé. Dans l’équation de la performance, le moteur a repris une importance que sept saisons de gel des V8 atmosphériques avaient fini par occulter. Jadis discipline à variable unique (la sacro-sainte aérodynamique), la F1 a évolué vers une formule en principe plus complexe, où la performance se construirait sur plusieurs paramètres (aérodynamique, moteur, intégration du V6 au châssis, etc.). Sauf que la motorisation est devenu un facteur prédominant.

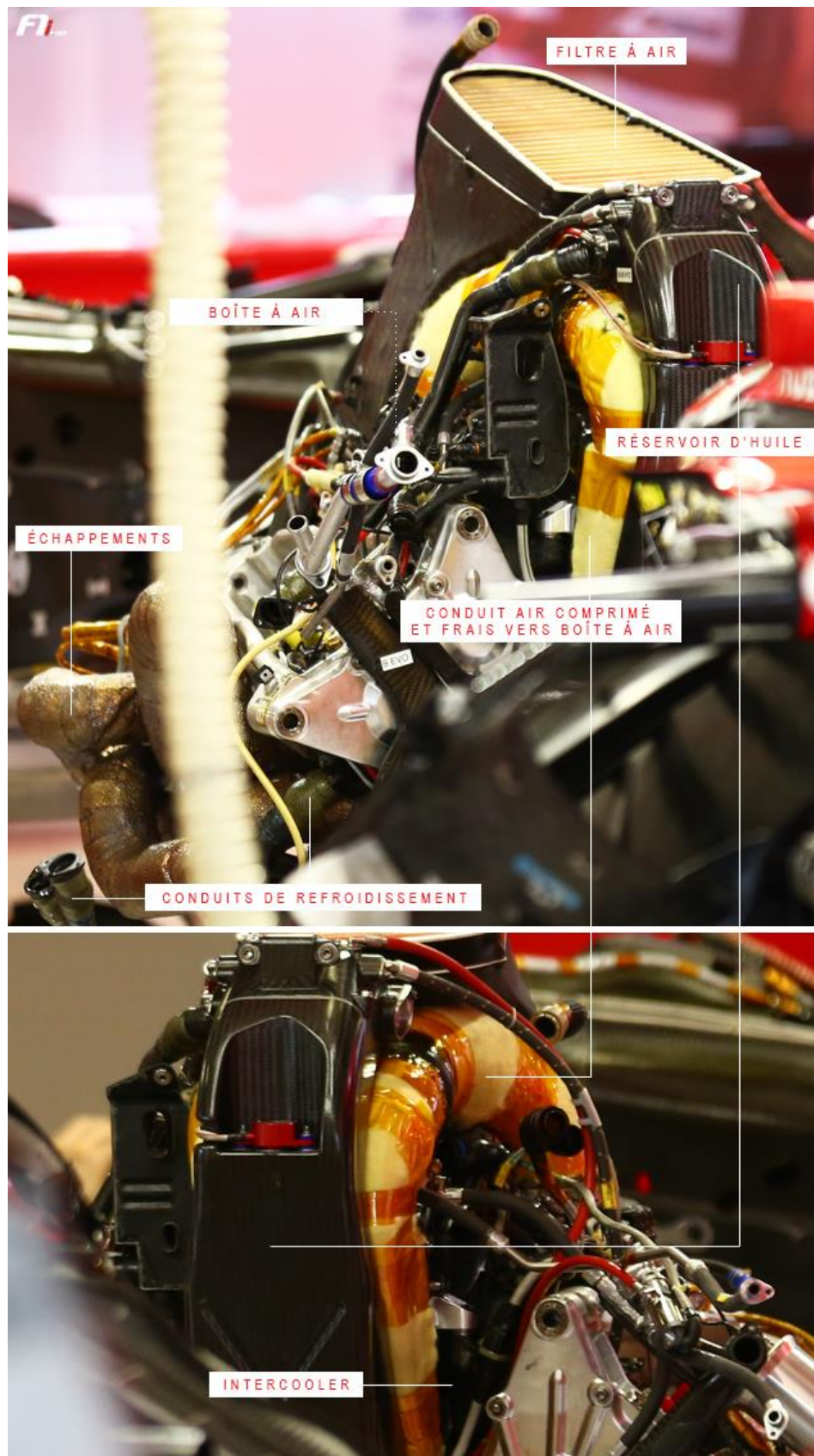
Si la réglementation a remis au premier plan le rôle des motoristes dans la performance des monoplaces, la jeunesse des technologies a creusé de profonds fossés entre les groupes propulseurs, que l’homologation obligatoire avant le début du championnat (sans possibilité de changements ultérieurs) avait rendu impossibles à combler en cours de saison. Les motoristes de Maranello ont mis à profit l’hiver 2014 pour se rapprocher de la référence Mercedes, en revoyant de fond en comble leur groupe propulseur :

Luigi Fraboni : “Nous avons travaillé sur la combustion, le turbo, la récupération d’énergie et la lubrification. (...) En fin de compte, nous avons abouti à un moteur complètement nouveau.”

“Nous avons beaucoup développé le moteur de l’année passée [le bloc 059/3] jusqu’à en faire un meilleur produit, explique Luigi Fraboni chef des opérations de piste pour le moteur chez Ferrari cité par le magazine Racecar Engineering. Mais vu la supériorité de certains nos concurrents, nous avons décidé de recommencer à zéro. Nous avons travaillé sur la combustion, le turbo, la récupération d’énergie et la lubrification. Beaucoup d’efforts ont été consacrés au contrôle du cliquetis et à une meilleure corrélation entre les simulations et le fonctionnement réel du V6. En fin de compte, nous avons abouti à un moteur complètement nouveau.”

Visuellement, cependant, les différences ne sont pas flagrantes, hormis le déplacement du réservoir d’huile. Sur la F14 T, celui-ci était installé à l’arrière du bloc thermique, dans le carénage de la boîte de vitesses, au-dessus du MGU-K. Une localisation courante... avant 1998. Sur le six cylindres 2015, le réservoir d’huile est revenu à une localisation plus normale de nos jours : entre le châssis et le moteur. Une telle implantation offre notamment un meilleur centre de gravité et permet d’utiliser des canalisations plus courtes, donc plus légères. Dans un moteur

à carter sec, le réservoir d'huile est séparé du bloc. Sur les monoplaces, cette réserve d'huile possède une forme oblongue, mieux adaptée pour parer les effets des forces centrifuges subies dans les virages.



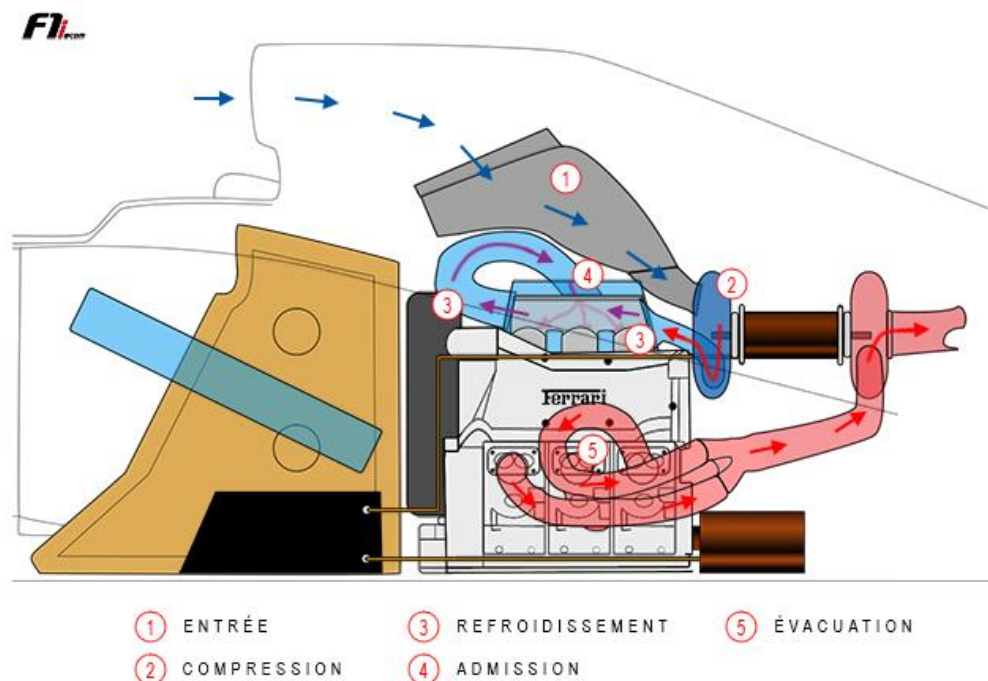


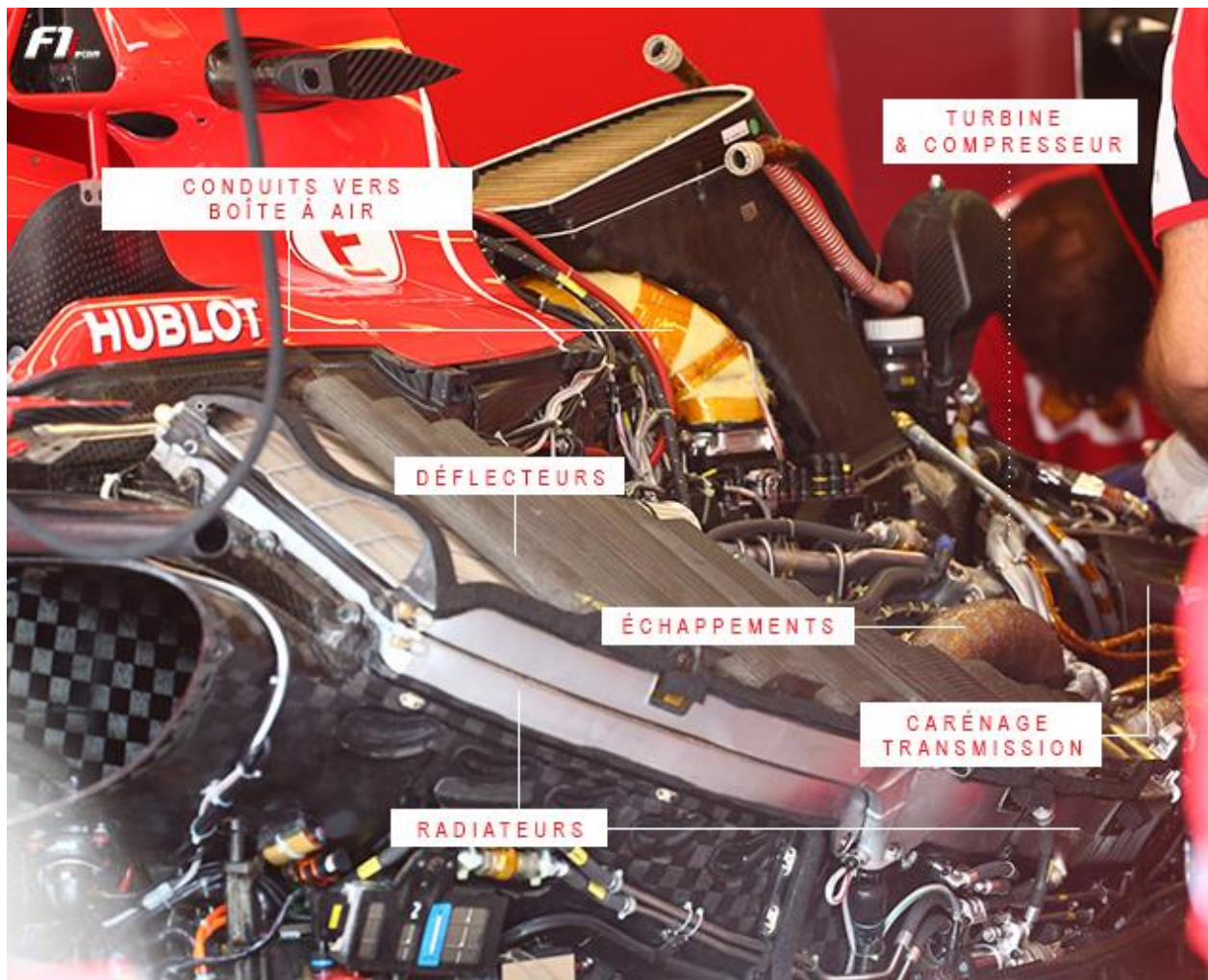
... MAIS PAS PARTOUT

Pour autant, l'architecture générale du V6 dessiné par Lorenzo Sassi sous la direction de Mattia Binotto n'a pas été totalement chamboulée. Ainsi, l'échangeur – dont la forme a été légèrement retouchée par rapport à la version 2014 (en haut ci-dessus) – reste logé à l'intérieur du "V" formé par les deux rangées de cylindres. Cette solution, schématisée ci-dessous, est tout à fait unique. Sur la Mercedes, ce radiateur est en effet incorporé à la monocoque en position centrale, devant le moteur. Sur la Red Bull-Renault, deux demi-échangeurs sont installés de chaque côté du V6, dans les pontons. Sur la McLaren Honda, enfin, un grand échangeur est placé dans le ponton droit. Les ingénieurs italiens, eux, ont implanté un échangeur air/eau au cœur du V6, afin de dégager le plus possible l'intérieur des pontons et de réduire ainsi le blocage du flux d'air.

Très élégant en termes de packaging, ce dessin compact permet d'utiliser des conduits très courts pour relier le compresseur à l'échangeur (davantage que sur le Renault et le Honda en tout cas), ce qui réduit, en théorie, le fameux "temps de réponse" du turbo. En revanche, cette implantation n'est sans doute pas idéale du point de vue thermique, puisque le système censé refroidir l'air comprimé est encastré entre les deux bancs de cylindres brûlants. Les ingénieurs italiens ont cependant réussi à juguler ces défauts potentiels, en améliorant le refroidissement de toute la monoplace.

Sur l'image ci-dessus, on remarque que les conduits de l'échangeur sont recouverts, assez grossièrement, d'un matériau isolant afin de conserver la fraîcheur de l'air refroidi avant son entrée dans la chambre d'admission. Le trajet de l'air dans le 059/4 est décrit ci-dessous et comparé aux autres groupes propulseurs.





TURBINE REDIMENSIONNÉE

L’an passé, le V6 transalpin était équipé d’un turbo de dimensions réduites, afin de créer un ensemble ramassé à l’arrière de la monoplace, dans le but – jamais atteint – de compenser la perte de puissance par une efficacité aérodynamique supérieure. Or, une petite turbine produit en général moins de puissance et davantage de contre-pression, ce qui pénalise la puissance du moteur à haut régime (les soupapes de décharge étant souvent ouvertes).

“Une sérieuse lacune de notre voiture 2014 était la suivante : la quantité d’énergie électrique qu’elle pouvait récupérer à partir du turbo n’était pas suffisante pour produire la puissance nécessaire en course, reconnaissait James Allison en début de saison. C’est l’une des raisons pour lesquelles nous étions plus performants le samedi que le dimanche. Nous avons donc modifié l’architecture de notre moteur afin de trouver un meilleur compromis entre qualification et course.”

En concevant le bloc 059/4, Maranello a donc rééquilibré l'importance respective du moteur et du châssis, et augmenté la taille de la turbine, désormais abritée dans le carénage de la transmission, qui renferme une partie des tubulures, le collecteur et le début du pot d'échappement (voir chapitre 6.1.2). En outre, la turbine entraîne plus puissamment l'axe de rotation sur lequel le MGU-H récupère l'énergie cinétique grâce à l'expansion des gaz d'échappement. D'où un déploiement d'électricité plus élevé. En une saison, la Scuderia est parvenue à résoudre les difficultés auxquelles Honda est confronté aujourd'hui, à force de pragmatisme (moins d'audace – ou d'orgueil – technologique), de recrutements et d'investissements conséquents.

SOIXANTE CHEVAUX GAGNÉS ?

Par ailleurs, la collaboration avec Shell s'est consolidée en vue d'optimiser le rendement énergétique et de prévenir le risque d'apparition du cliquetis (les explosions incontrôlées, qui perturbent la combustion) :

“La saison dernière, nous travaillions en parallèle avec Shell, mais cette année nous leur avons fixé des objectifs en termes de performance et en particulier de cliquetis, explique Fraboni. Ils savent où nous voulons aller et ce que nous souhaitons réaliser avec le moteur – à eux d'y arriver. Chaque fois que le groupe propulseur tourne au banc, les ingénieurs de Shell testent une série de mélanges candidats. Notre partenariat est maintenant très étroit.”

Cumulées, ces diverses améliorations auraient permis au groupe propulseur italien de gagner environ une soixantaine de chevaux par rapport à son prédécesseur (même si seuls les motoristes du Cheval cabré connaissent l'ampleur exacte des gains). Et de se rapprocher près de la référence Mercedes.

Bien visibles ci-dessus, les radiateurs sont installés de façon plus horizontale et disposent d'un astucieux système de persiennes qui guide l'air de manière optimale, à l'entrée et à la sortie des radiateurs.

On notera que les composants sont pour la plupart carénés (comme on le voit sur la photo page suivante), pour des motifs d'isolation et d'aérodynamique interne.

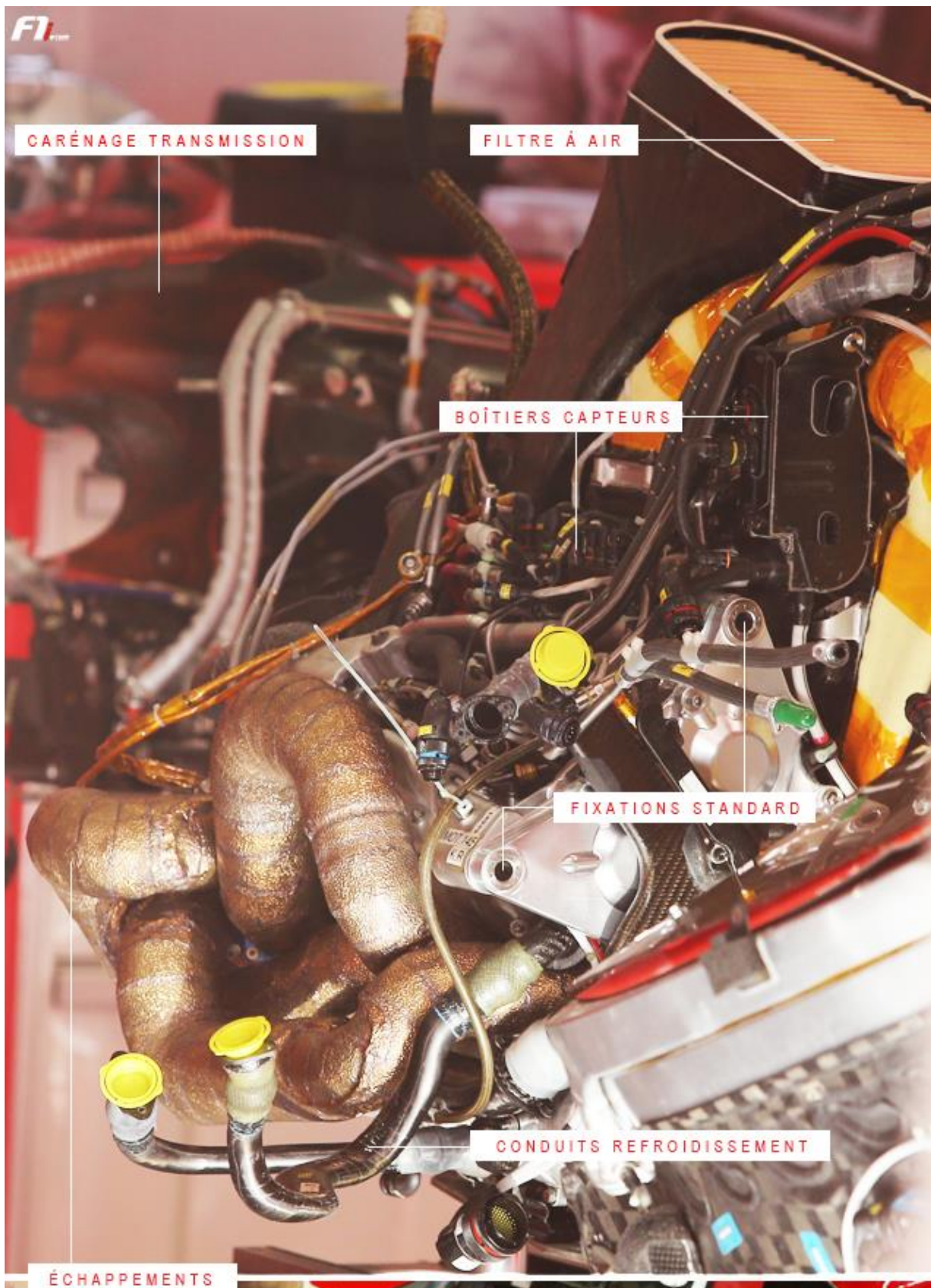


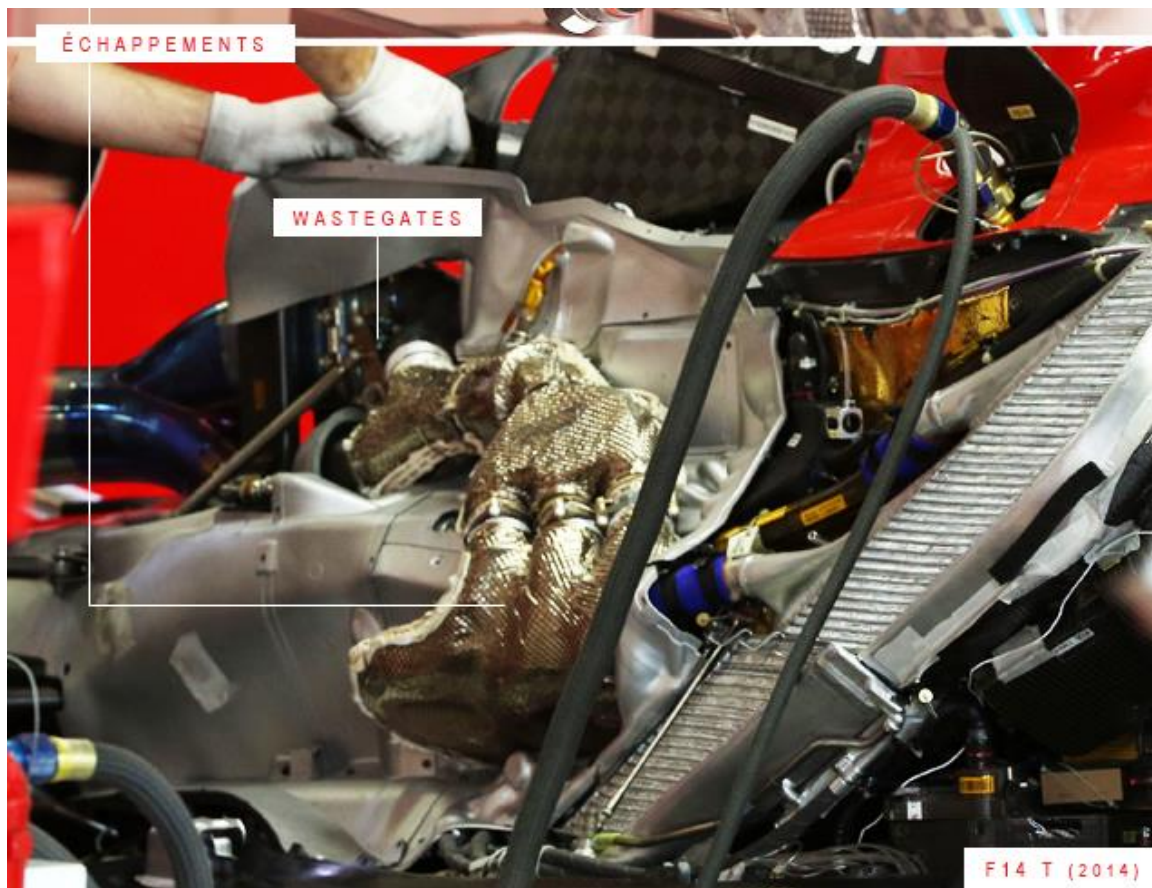
MOINS ALAMBIQUÉS

La F14 T possédait des tubulures d'échappement très longues, qui remontaient curieusement le long du bloc thermique en l'enveloppant.

Sur la SF15-T, les conduits sont plus courts et plus compacts. Moins tortueux, ils offrent un gain de puissance sur le moteur à combustion et alimentent plus efficacement la turbine, dont la rotation produit de l'énergie, en partie récupérée par le MGU-H. Les conduits sont plus proches du fond plat et atteignent la turbine par le bas. Celle-ci semble avoir été abaissée, alors que l'installation des soupapes de décharge diffère.

Notons enfin sur l'image ci-dessus les conduits destinés au refroidissement du moteur (ici couverts de capuchons jaunes). La circulation de l'eau via des canalisations à l'intérieur du bloc moteur a été l'une des premières applications de la CFD (la mécanique des fluides numérique), notamment parce que le degré de corrélation entre simulation et réalité y est élevé, le fluide circulant en circuit fermé (ce qui est loin d'être le cas dans les applications aérodynamiques).





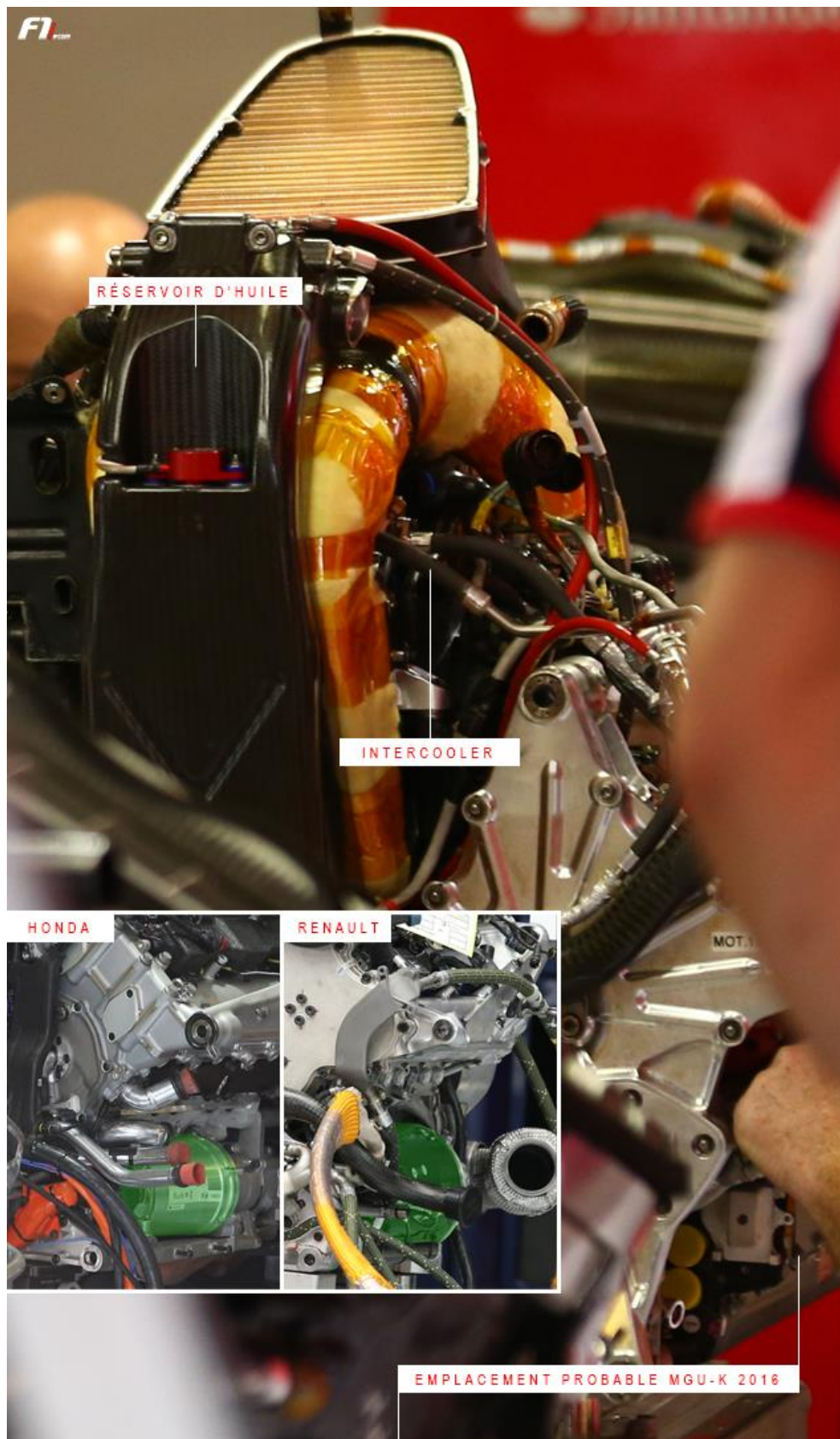
PRÉPARATION À 2016 ?

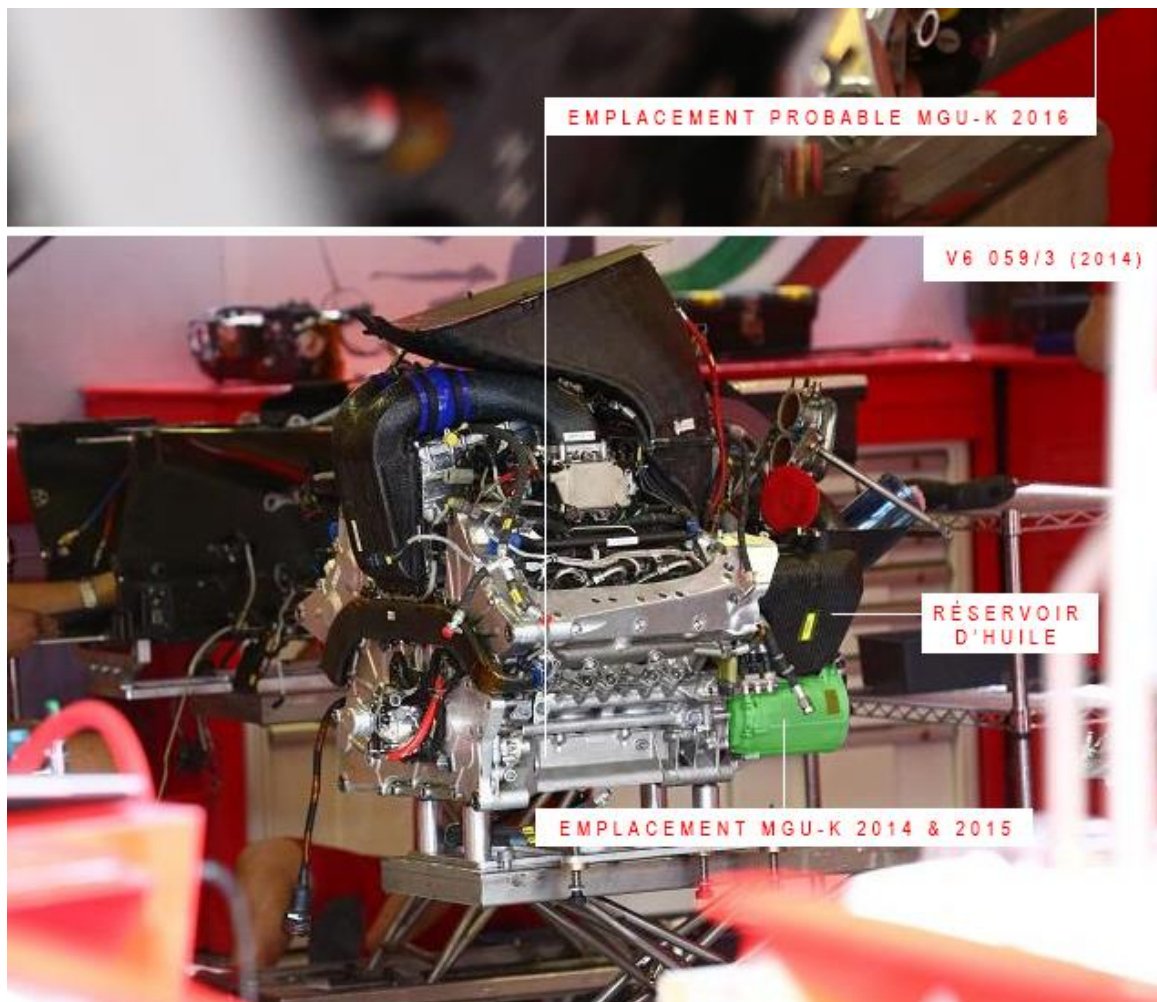
Comme l'an dernier, le MGU-K est installé derrière le bloc thermique. Sur les groupes propulseurs de Renault, Mercedes et Honda, le récupérateur/générateur est situé sur le côté gauche du V6, vers l'avant. Sur son moteur 2016, la Scuderia va vraisemblablement rentrer dans le rang et déplacer le MGU-K sur le flanc gauche du moteur thermique, afin d'amincir l'arrière de la voiture (sans toutefois tomber dans les excès de l'an dernier).

Après des évolutions introduites au Canada et en Italie, on pensait que les motoristes italiens auraient utilisé leurs quatre jetons restants aux États-Unis pour installer dans la SF15-T un V6 revu en profondeur, histoire d'anticiper la prochaine campagne. Or, si elle améliore la fiabilité globale du propulseur transalpin, la version apparue au Texas n'est pas le prototype que beaucoup attendaient. Sibyllin, Sassi s'était contenté de déclarer à Austin que ses collègues et lui avaient *"plein d'idées sur la manière de dépenser [le solde de quatre jetons], autant en vue d'augmenter la puissance que pour préparer 2016"*.

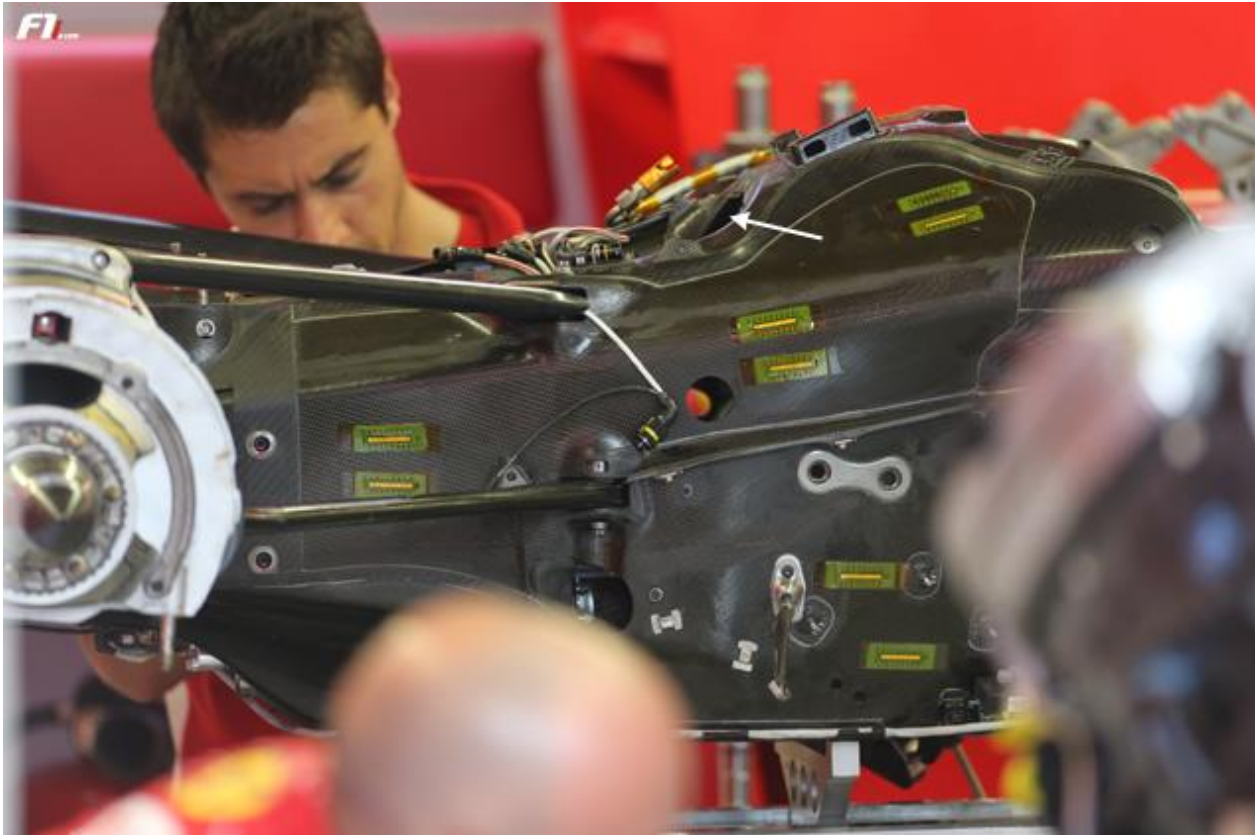
Il faut dire que le temps presse moins depuis que les motoristes se sont mis d'accord pour assouplir le règlement technique (la décision doit toutefois être formellement avalisée par le Conseil mondial de la FIA en décembre). À l'origine interdit, le développement en cours de saison sera à nouveau autorisé, alors que le nombre de jetons passera de 25 à 32 et que certains domaines – initialement figés (les fameuses "black boxes" de l'annexe 4 du règlement technique) – seront susceptibles de modifications : le carter inférieur et supérieur du vilebrequin, la commande des soupapes et son couvercle, le dispositif de rappel pneumatique des soupapes et l'entraînement des accessoires.

Avec une marge de manœuvre ainsi élargie et l'apport des recrutements opérés chez Mercedes à la fin de l'année dernière (le spécialiste de l'hybride Wolf Zimmermann et l'expert en combustion Cédric Cornebois), les motoristes de Maranello espèrent faire galoper à nouveau le Cheval cabré. *"Le moteur est seulement au début de son développement, nous avons de nouvelles idées chaque semaine. Il y a encore beaucoup de potentiel"*, prévient Fraboni.





6.1.2 La Boîte Magique de Ferrari



Sous la direction de James Allison, le bureau d'études Ferrari a retrouvé sa créativité technique.

Dotée d'un concept de refroidissement inédit, la SF15-T innove également dans la zone du train arrière. En schématisant, une boîte de vitesses se compose de l'embrayage, de la transmission proprement dite, et d'un carénage moulé généralement en carbone (ou coulé en titane). Ce caisson forme l'ossature arrière du châssis en incorporant des points d'attache pour l'arrière du moteur, la suspension et la structure déformable en cas d'impact. Il joue donc un rôle structurel, encore étoffé sur la monoplace de Sebastian Vettel et Kimi Räikkönen.

Depuis deux ans, la Scuderia cherche à réduire l'encombrement dans la zone de la boîte de vitesses. L'an passé, le carter d'huile de la F14 T était placé à l'intérieur du carénage de la transmission, de manière totalement originale (voir paragraphe 4.3 pour une explication en images).

C'EST DANS LA BOÎTE

Cette configuration a été abandonnée sur la SF15-T, dont le carter est revenu à son emplacement traditionnel : devant le bloc thermique. Ce dessin – inauguré il y a dix-sept ans par John Barnard sur l'Arrows A19 et Alan Jenkins sur la Stewart SF02 – offre, entre autres avantages, un meilleur centre de gravité et des canalisations plus courtes, donc plus légères. Sur la Ferrari 2015, l'espace libéré à l'intérieur du carénage par le déménagement du carter est occupé par les tubulures d'échappement.

Comme on le voit sur l'image ci-dessous, celles-ci pénètrent par les côtés du carénage de transmission à travers deux entrées ovales, fusionnent au niveau du collecteur à l'intérieur du caisson et en ressortent sur le dessus par un pot d'échappement unique, obligatoire depuis 2014.





C'est à travers une ouverture circulaire, aménagée sur le dessus du carénage en carbone, que ressort le pot d'échappement, comme on le voit ci-dessus sur l'image de la boîte de vitesses Ferrari également utilisée par Sauber. Maranello fournit en effet à l'écurie suisse le groupe propulseur (V6 thermique et ERS), la boîte de vitesses et les tubulures d'échappement.

Pareille solution a obligé les ingénieurs italiens à modifier le dessin des tubulures d'échappement, très différent de celui de l'an passé (voir explications paragraphe 7). Au lieu de remonter le long des flancs la boîte en l'enveloppant, les conduits 2015 sont plus courts, plus compacts, et atteignent la turbine par le bas. Celle-ci est également logée dans le carénage, dont la forme a été redessinée : la partie antérieure, qui vient se fixer au moteur, n'est plus évasée mais fermée, ce qui en augmente la rigidité.

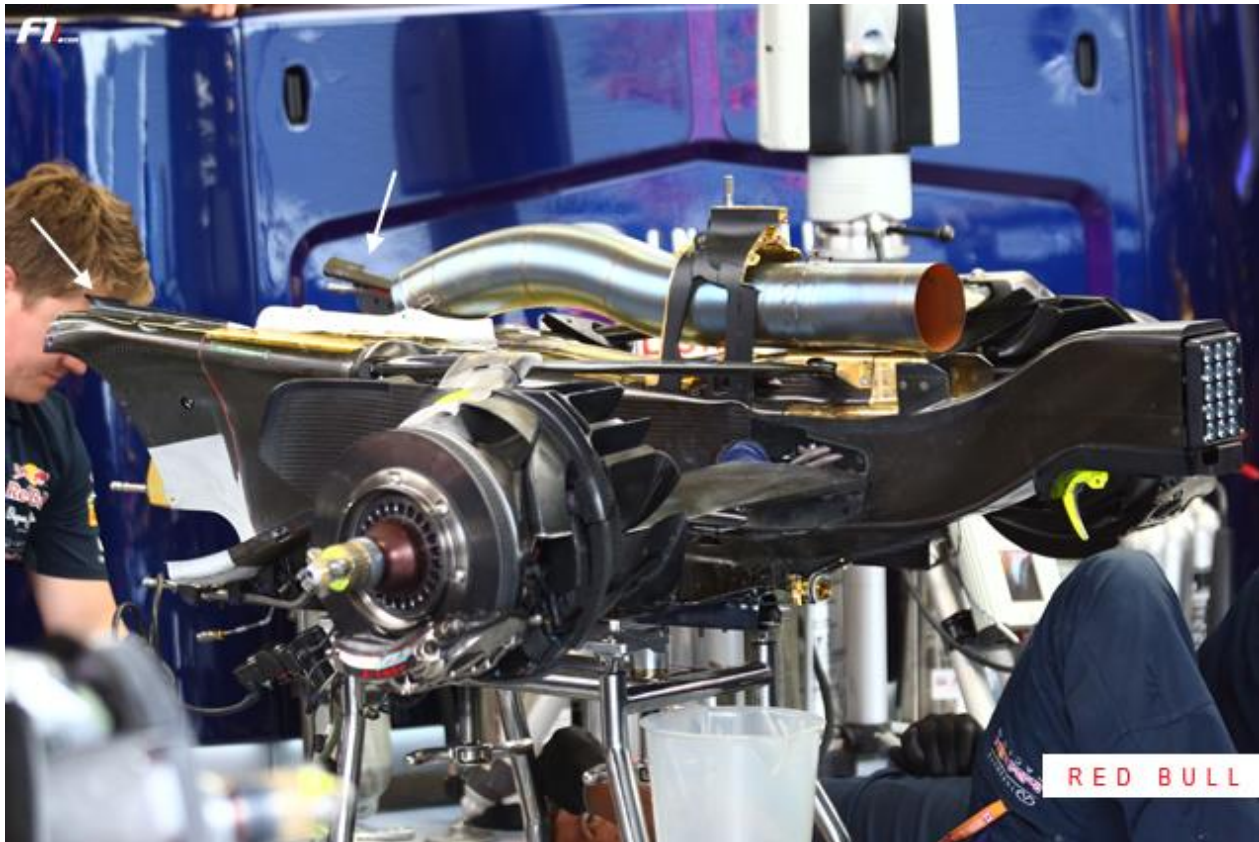
Le carénage intègre de nombreux éléments : la turbine (qui est donc recouverte), une partie des tubulures, le collecteur et le début du pot d'échappement

On le constate, le carénage de la SF15-T abrite de nombreux éléments : la turbine (qui est donc recouverte), une partie des tubulures, le collecteur et le début du pot d'échappement. Raison pour laquelle l'intérieur du caisson est tapissé de matériau isolant, afin de protéger les autres pièces contenues plus loin : l'embrayage, les arbres, les engrenages, mais aussi les barres de torsion, les éléments de suspension, etc.

Associé au nouveau dessin des tubulures, cet aménagement offre une meilleure rigidité, un centre de gravité légèrement plus bas et des conduits d'échappement moins tortueux, qui permettent un gain de puissance sur le moteur à combustion.

En outre, le carénage de nombreux éléments fluidifie l'écoulement du flux d'air interne, alors que la réduction de l'encombrement du train arrière améliore l'aérodynamique dans une zone cruciale de la monoplace.





EN "O" PLUTÔT QU'EN "U"

On sait que les écuries ont gardé le même empattement que celui en vigueur avant l'ère hybride pour des raisons aérodynamiques.

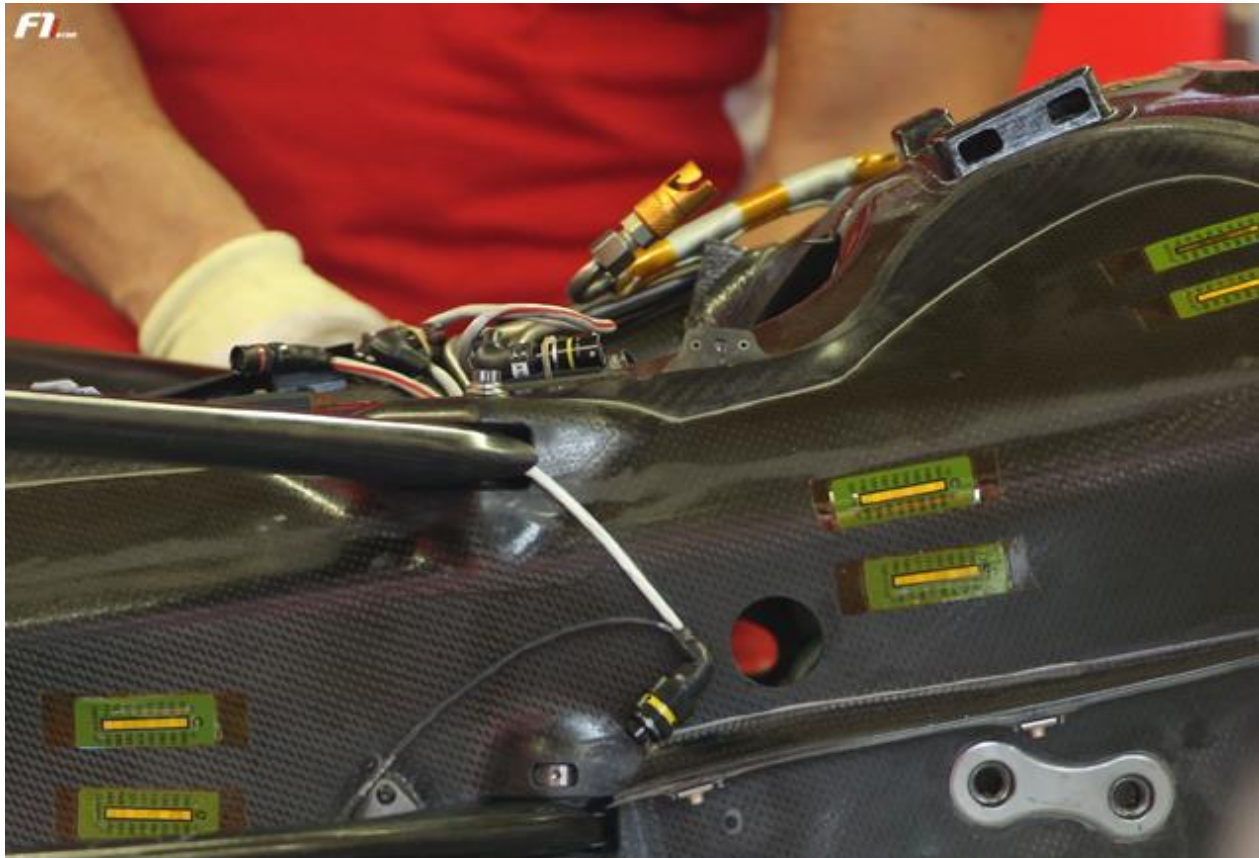
Concrètement, afin de conserver les mêmes dimensions, les ingénieurs ont allongé le carénage de la transmission, étant donné que le V6 et le réservoir limité à 100 kg d'essence sont plus courts que le précédent V8 et son volumineux chargement d'essence. Cet allongement a dégagé de l'espace, la boîte de vitesses proprement dite possédant les mêmes dimensions. Une partie de ce volume est occupée par la turbine, montée à l'arrière du bloc thermique.

Aucune écurie ne pourra copier Ferrari avant l'année prochaine

C'est dans cette zone que la SF15-T se démarque donc de ses rivales. Comme on le voit ci-dessus pour la Red Bull (et ci-dessous pour la McLaren et la Mercedes), les autres boîtes de vitesses sont évidées en leur début (autrement dit, ouvertes en forme de "U") pour laisser place à la turbine et au pot d'échappement.

La transmission de la Ferrari, quant à elle, encapsule ces deux éléments dans un caisson clos.

Aucune écurie ne pourra copier Ferrari avant l'année prochaine puisqu'il leur faudrait concevoir une nouvelle boîte de vitesses. Pas encore de quoi mettre en boîte Mercedes, mais de s'en rapprocher petit à petit.



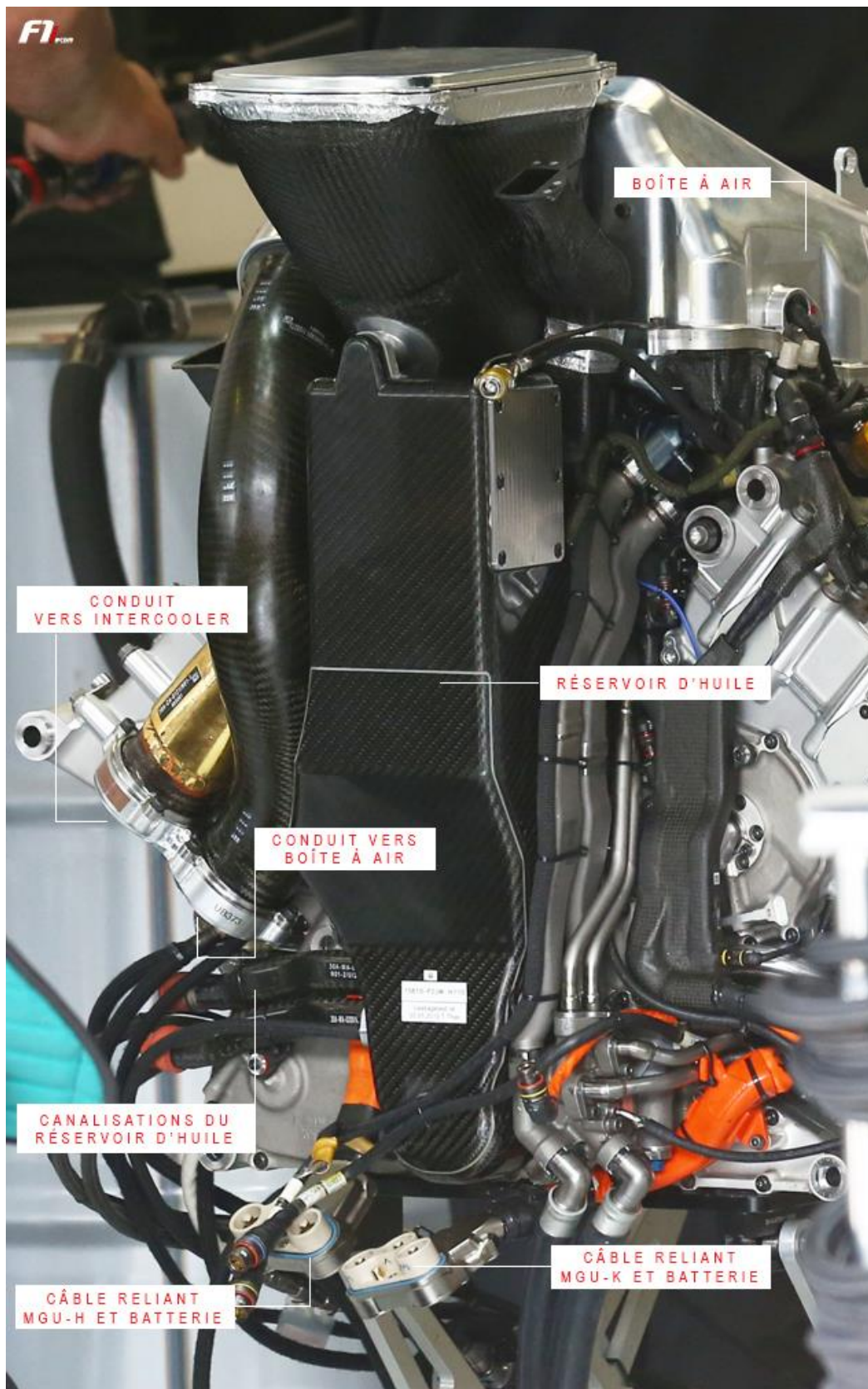
6.2 LE MOTEUR HONDA 2015

6.2.1 Le RA615H

À LA MODE MERCEDES

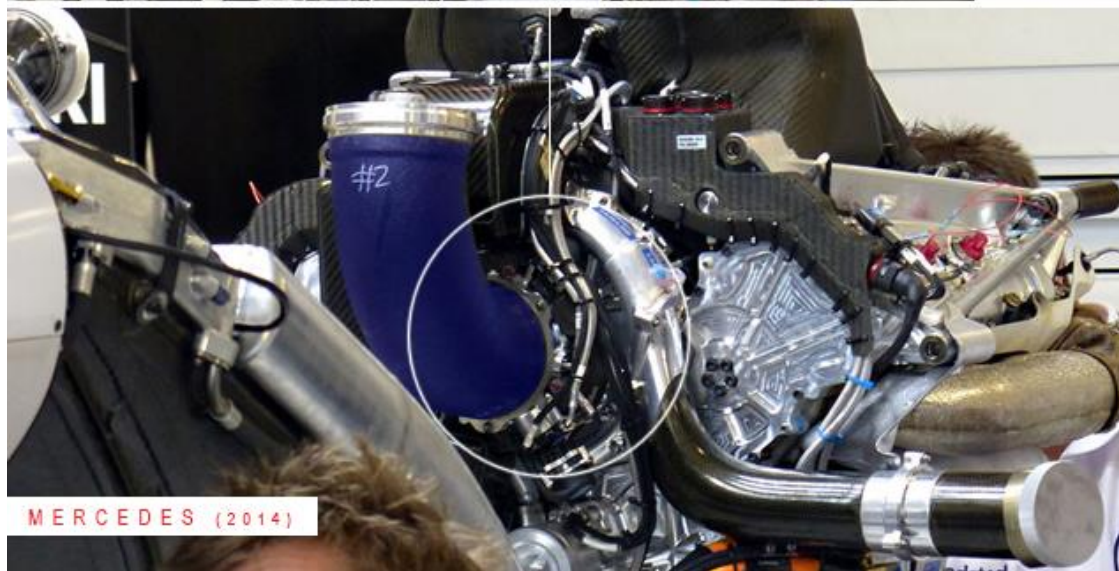
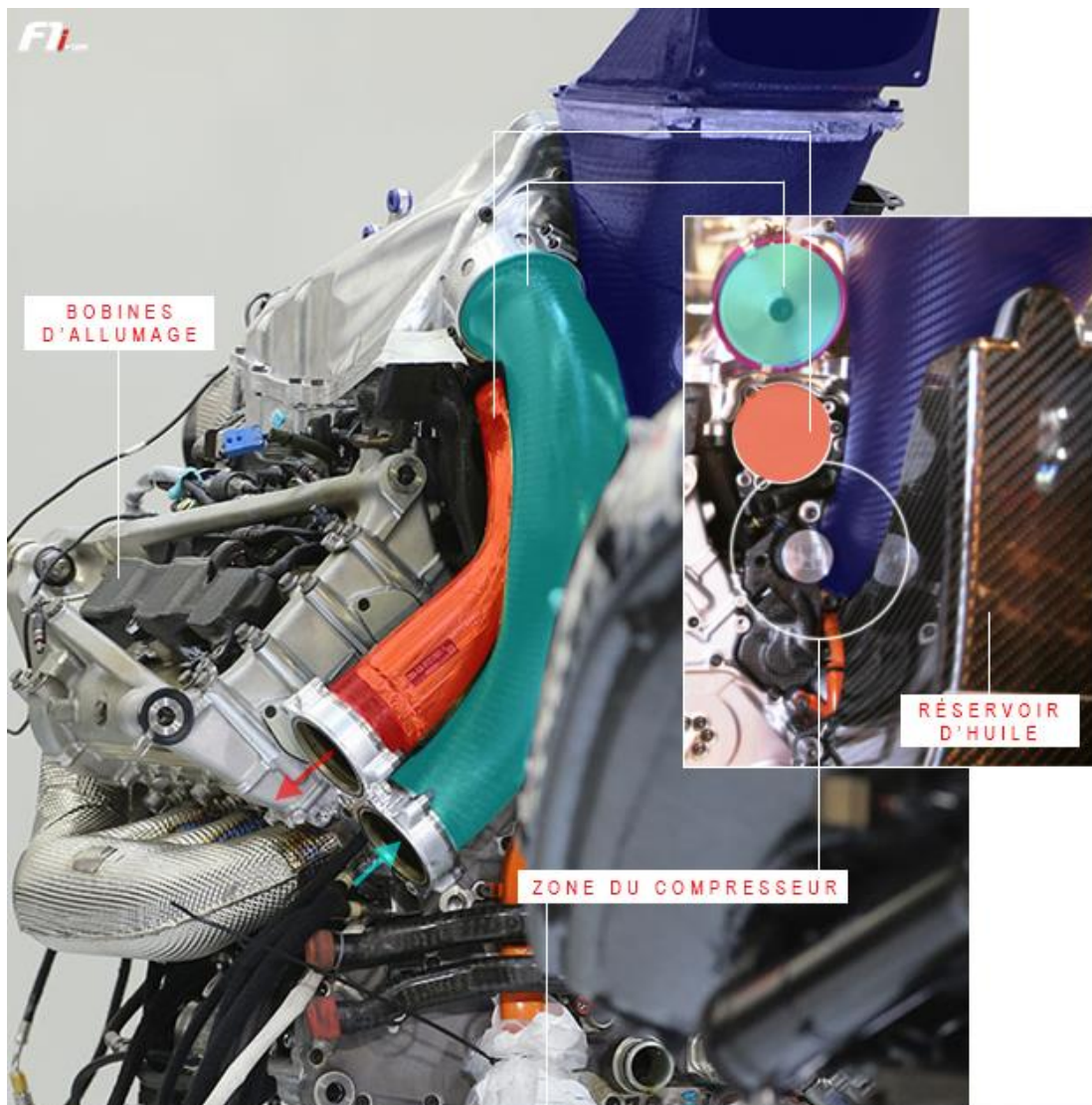
Sur l'image page suivante, on distingue, derrière le réservoir d'huile oblong, un conduit d'alimentation en carbone (ici surmonté d'un couvercle en aluminium). Entré par la prise d'air située derrière le casque du pilote, l'air emprunte ensuite ce conduit pour descendre jusqu'au compresseur, implanté au cœur du V6 japonais.

En effet, afin de limiter l'encombrement de son moteur, Honda a séparé le compresseur de la turbine – comme Mercedes, donc, mais d'une façon différente. Sur le V6 des Flèches d'argent, le volumineux compresseur est placé à l'avant du bloc. Sur le RA615H, le compresseur est logé à l'intérieur même du "V" formé par les deux bancs de cylindres.



Installer un compresseur dans un volume aussi restreint a obligé les ingénieurs du centre de recherches de Sakura à choisir un compresseur centrifuge classique (et non axial, comme envisagé au début) exceptionnellement compact. Comme l'air ressort du compresseur perpendiculairement à l'axe de rotation, ses dimensions doivent être très réduites pour pouvoir se nicher entre les deux rangées de cylindres. Sa taille paraît approximativement deux fois plus petite que celle du compresseur monté sur le bloc Mercedes (voyez l'image suivante).

Contrairement aux V6 Renault et Ferrari, le compresseur n'est donc pas situé à l'arrière du moteur, comme l'atteste notamment le positionnement à l'avant des conduits de compression. Le tuyau coloré en rouge (recouvert d'une feuille isolante) conduit l'air comprimé et chaud vers l'échangeur, alors que tube bleu expédie l'air refroidi vers la boîte à air en aluminium.

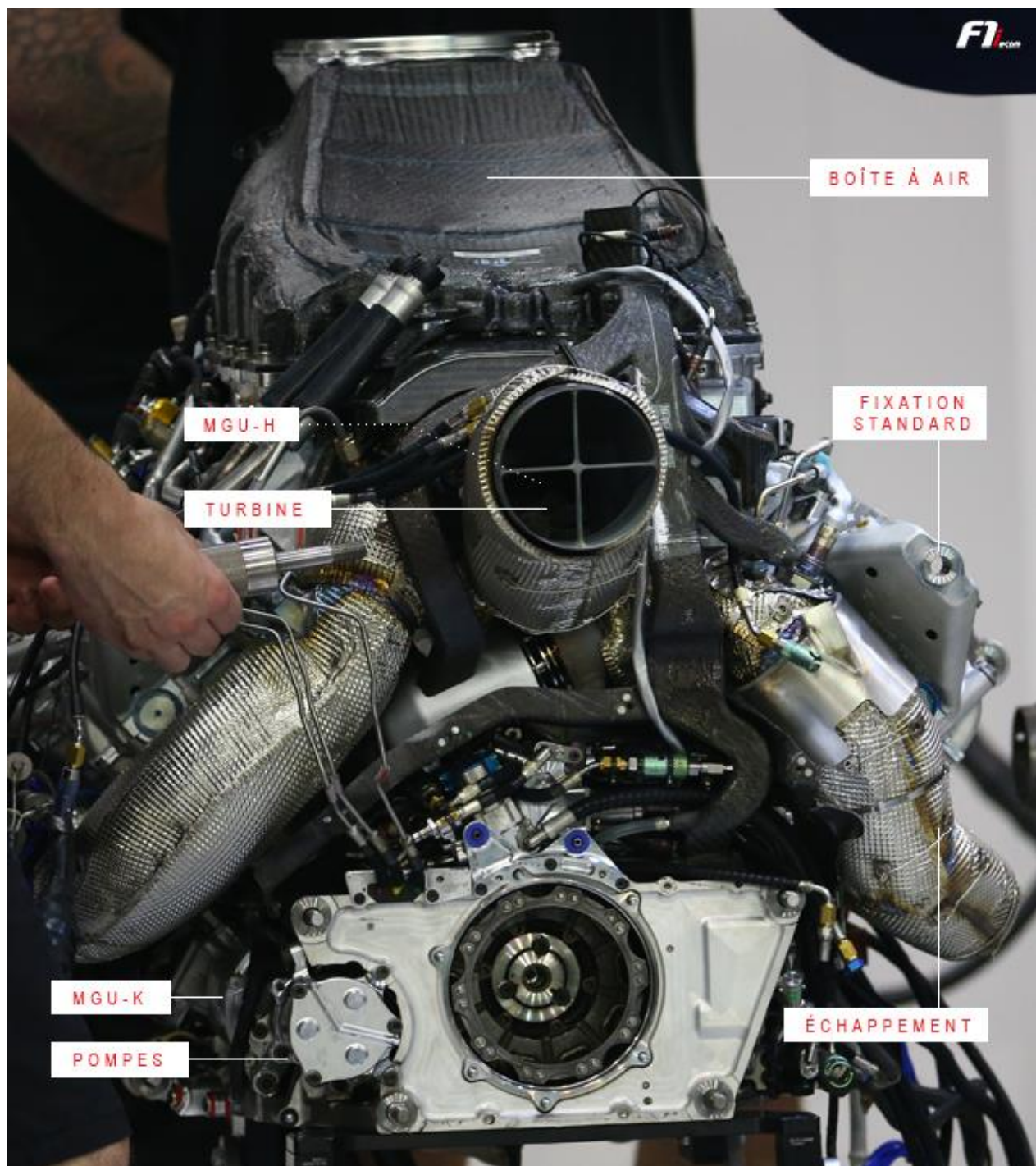


TROP COMPACT ?

Si le compresseur est miniaturisé, la turbine – située à l’arrière du bloc (comme on le voit sur l’image ci-dessus) – ne l’est pas moins, puisqu’elle est également installée au milieu du six cylindres. Ce sont ces contraintes d’encombrement, radicales et décidées d’un commun accord avec McLaren, qui ont privilégié un tel sous-dimensionnement. Or, une petite turbine produit – à régime identique – moins de puissance qu’une grande turbine et davantage de contre-pression, ce qui pénalise la puissance du V6 thermique à haut régime. En outre, la turbine entraîne plus faiblement l’axe de rotation sur lequel le MGU-H récupère l’énergie cinétique. D’où une production d’électricité faible, qui empêche le MGU-H de recharger la batterie et d’épauler le MGU-K, comme l’a expliqué Éric Boullier à **F1i.com**:

“Notre principal problème, c’est que nous ne sommes pas capables d’utiliser notre puissance électrique, reconnaît le manager français. Nous ne pouvons pas la déployer aussi souvent que la concurrence. Contrairement aux autres moteurs, notre MGU-H n’est pas capable de recharger la batterie et d’épauler le MGU-K. Le règlement stipule que la batterie ne peut donner au MGU-K que 4 MJ par tour. Eh bien, nous, nous brûlons nos 4 MJ avant d’avoir terminé le tour, sans plus pouvoir déployer la moindre énergie électrique ensuite. À Spa, Fernando et Jenson pouvaient profiter de l’ERS seulement dans l’une des deux lignes droites, et encore, pas tout le temps...”

Cette situation rappelle les difficultés rencontrées l’an dernier par Ferrari sur son groupe propulseur, dont le turbocompresseur avait pareillement été miniaturisé, au bénéfice supposé de l’aérodynamique (afin d’obtenir un ensemble ramassé à l’arrière de la F14 T) mais en réalité au détriment de l’efficacité intrinsèque de la turbine. La perte de puissance du moteur n’ayant pas été compensée par une aérodynamique plus performante, les motoristes de Maranello ont revu leur copie en 2015, avec succès.



PRÉSUMPTION TECHNIQUE

À l'origine, Honda avait prévu de compenser la petite taille de son turbocompresseur par une vitesse de rotation plus élevée (bien au-delà des traditionnels 120 000 t/min des autres V6, selon notre confrère Mark Hughes). Brassier moins d'air mais plus rapidement afin de développer la même puissance : tel était l'objectif initial. Sauf que le motoriste du Soleil-Levant n'a jamais réussi à faire tourner son turbocompresseur à de telles vitesses sans provoquer de casse ou de surchauffe (phénomène amplifié par le fait que le RA615H associerait la turbine et le MGU-H en une seule unité, juxtaposant donc le système de récupération de l'énergie à la turbine brûlante). Pour préserver la fiabilité de son turbocompresseur, Honda serait donc obligé de le faire tourner à faible régime, ce qui a pour effet de limiter la compression (et donc la puissance du V6 thermique), ainsi que la quantité d'énergie récupérable sur la turbine.

Brasser moins d'air mais plus rapidement afin de développer la même puissance : tel était l'objectif initial. Pour résoudre le problème, deux solutions sont envisageables. Première option : conserver le turbocompresseur miniature et la même architecture. Ce qui suppose de parvenir à atteindre les hautes vitesses de rotation nécessaires, résultat jamais obtenu jusqu'à présent... Ambitieux (mais peu réaliste ?), ce choix a la préférence du responsable de la compétition de Honda, Yasuhisa Arai :

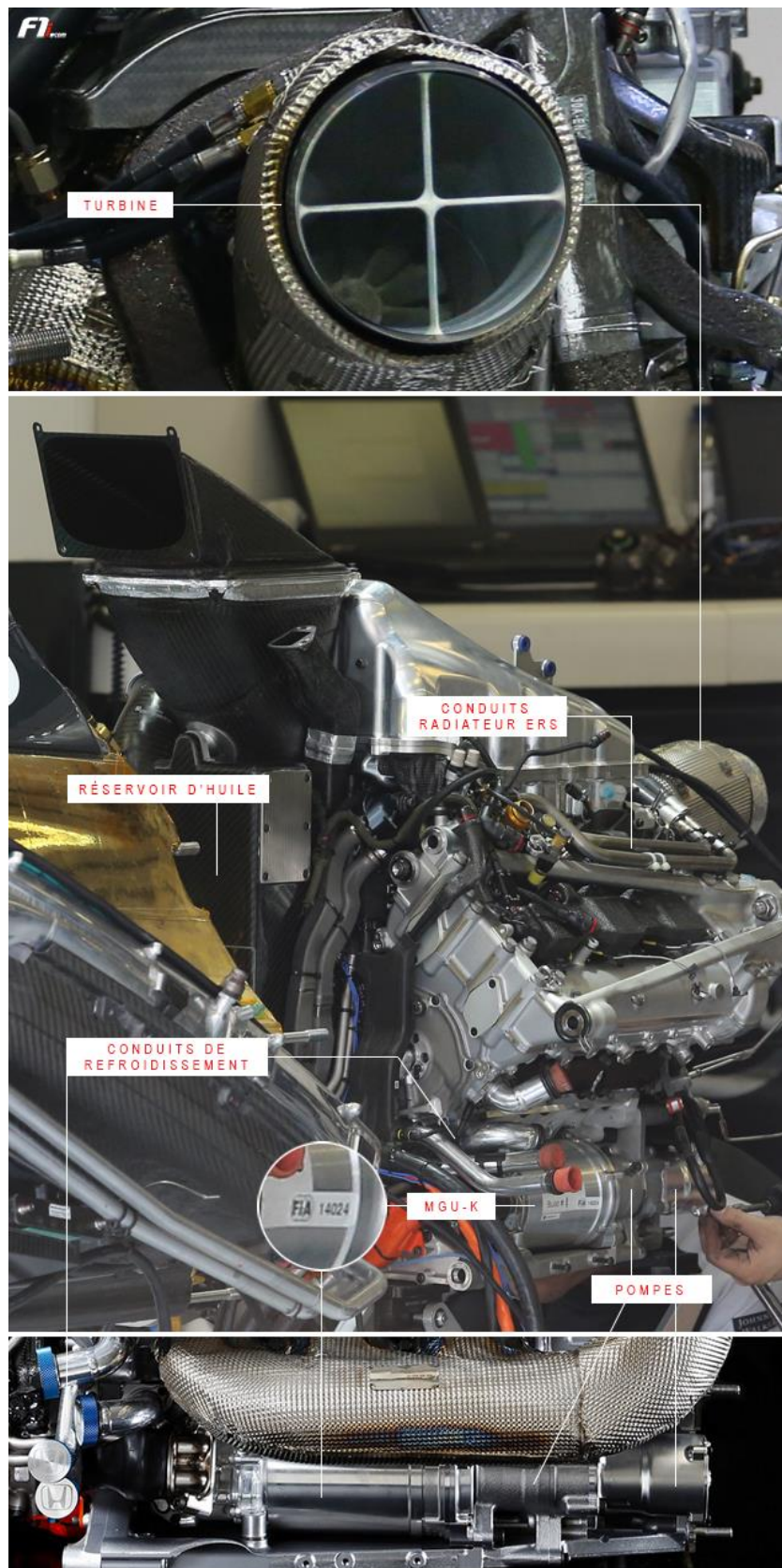
*“Pour l'année prochaine, nous avons déjà mis en œuvre un plan visant à améliorer notre groupe propulseur en conservant son architecture actuelle, a confié Arai à **F1i**. Elle constituera la base à partir de laquelle nous travaillerons, car c'est sur cette architecture que nous travaillons depuis le début avec McLaren. Nous pensons que cette configuration recèle un certain potentiel, et c'est pour cela que nous avons décidé de ne pas la modifier.”*

Une deuxième option, qui s'apparente à un plan B, consisterait à accroître la taille du turbocompresseur afin d'augmenter la puissance du moteur, même si les choses ne sont pas aussi simples (*). Ce qui mettrait à mal la philosophie de la “taille zéro” chère à Ron Dennis.

Quoi qu'il en soit, dans les deux cas, les cerveaux japonais n'ont d'autre alternative que de transformer leur V6 et, dès lors, d'utiliser de nombreux jetons de développement. Cette métamorphose ne pourra être réalisée que sur le moteur de l'an prochain, grâce au crédit de 32 jetons alloués par le règlement pour la saison à venir. Les motoristes de Sakura réussiront-ils ce que leurs homologues italiens sont parvenus à faire en un an ?

À noter en bas de l'image : les conduits de refroidissement du moteur (eau et huile), le MGU-K (qui doit être homologué par la FIA, d'où l'autocollant), et, alignées sur le même arbre, probablement les pompes de pression et de vidage du carter.

() “Il n'y a pas vraiment de lien proportionnel direct entre la taille du compresseur et la puissance du MGU-H, confie Rémi Taffin à **F1i**. Pour simplifier à l'extrême : le niveau de suralimentation détermine la taille du compresseur, qui fixe un certain travail à fournir, qu'il va falloir récupérer sur la turbine, et c'est ce qui va définir la taille de celle-ci.”*



DOUBLE SOUPAPE DE DÉCHARGE

Sur l'agrandissement page suivante, on discerne la présence de deux soupapes de décharge (les soupapes qui limitent la pression des gaz d'échappement sur la turbine), placées au-dessus et en dessous du pot d'échappement et directement incorporées au carter de la turbine. On aperçoit la soupape de décharge supérieure dans le détail inséré, image du V6 japonais exposé à Suzuka.

À l'instar des autres motoristes, Honda devra remanier le dessin de ses échappements l'année prochaine, puisque le règlement technique 2016 impose un tuyau spécifique pour expulser les gaz de la soupape de décharge. Dans le cas du constructeur nippon, cela signifie aussi qu'il pourra redessiner sa turbine sans consommer de jetons (puisque les soupapes de décharge y sont étroitement intégrées).

Enfin, on remarque que l'embrayage est monté sur le bloc thermique plutôt que sur la boîte de vitesses, comme c'est le cas d'ordinaire. Le régime moteur relativement bas des V6 turbo (limité à 15 000 t/min) permet de fixer l'embrayage au moteur, solution déjà vue par le passé et préférable au vu de l'augmentation significative du couple par rapport aux précédents V8 atmosphériques. Cette configuration est identique à celle inaugurée par Mercedes l'an dernier sur son PU106A.

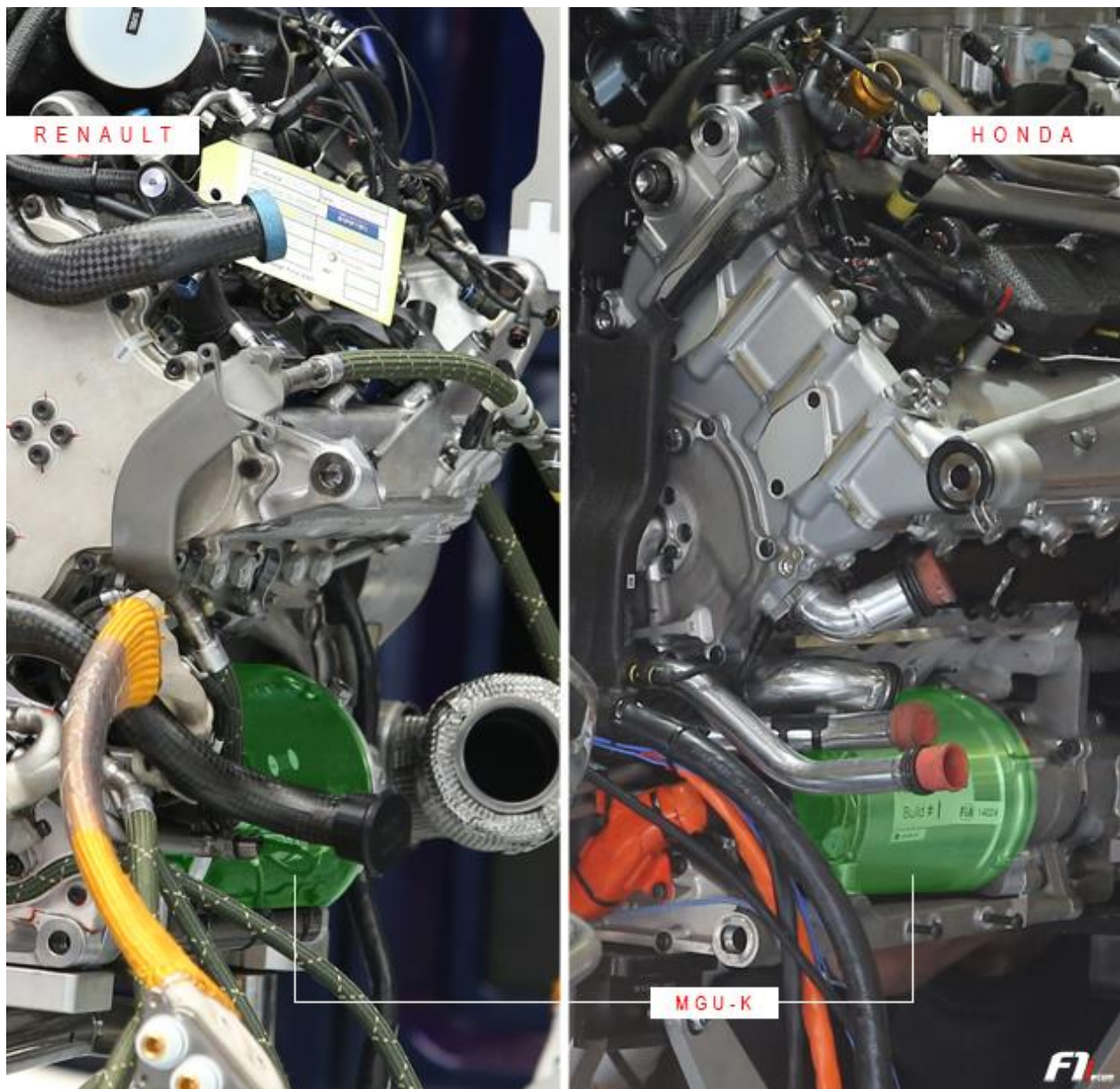


MINIATURISATION GÉNÉRALISÉE

Sans surprise, le RA615H est équipé d'un MGU-K très compact. En comparaison, celui du six cylindres Renault (à gauche sur l'image suivante) paraît un peu plus volumineux, pour autant qu'on puisse en juger.

Sur le moteur nippon, le système de récupération de l'énergie cinétique au freinage est relié au vilebrequin à travers un jeu d'engrenages qui, selon certaines sources, serait situé à l'arrière du bloc (et non à l'avant, comme sur la plupart des autres propulseurs). Dans le prolongement du MGU-K se trouvent probablement les pompes de pression et de vidage du carter, alignées sur le même arbre.

On aperçoit également sur l'image la rampe d'allumage, qui contient trois bobines (une bobine par cylindre), ainsi que les fixations standard – identiques sur tous les moteurs – imposées par la FIA. Rappelons au passage que l'angle des V6 est lui aussi réglementé (90°), tout comme l'alésage (80 mm), la course (53 mm) et la hauteur de l'axe de vilebrequin (90 mm).



ADMISSION À 90°

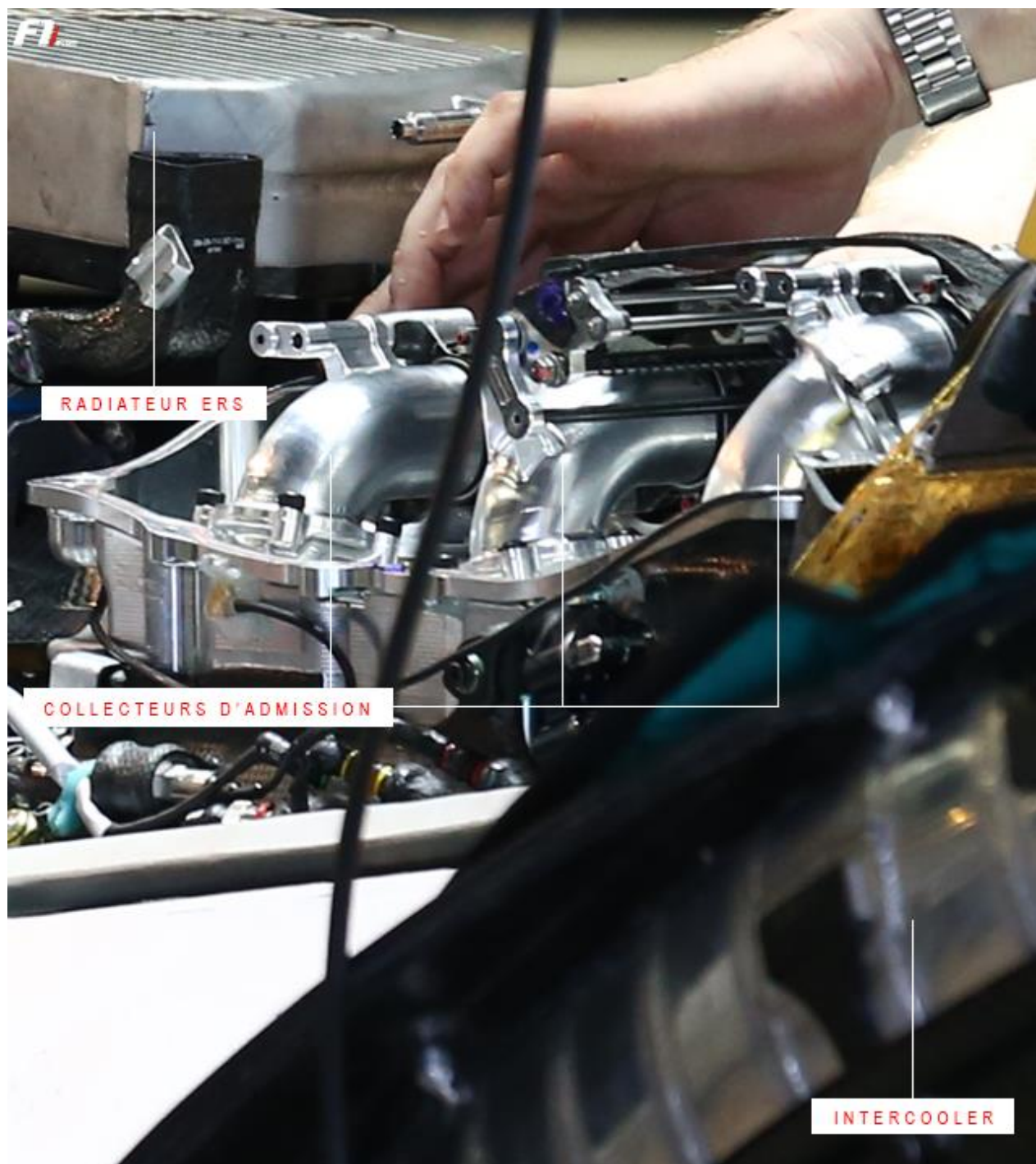
Creusée de l'intérieur, la boîte à air offre un profil particulièrement bas.

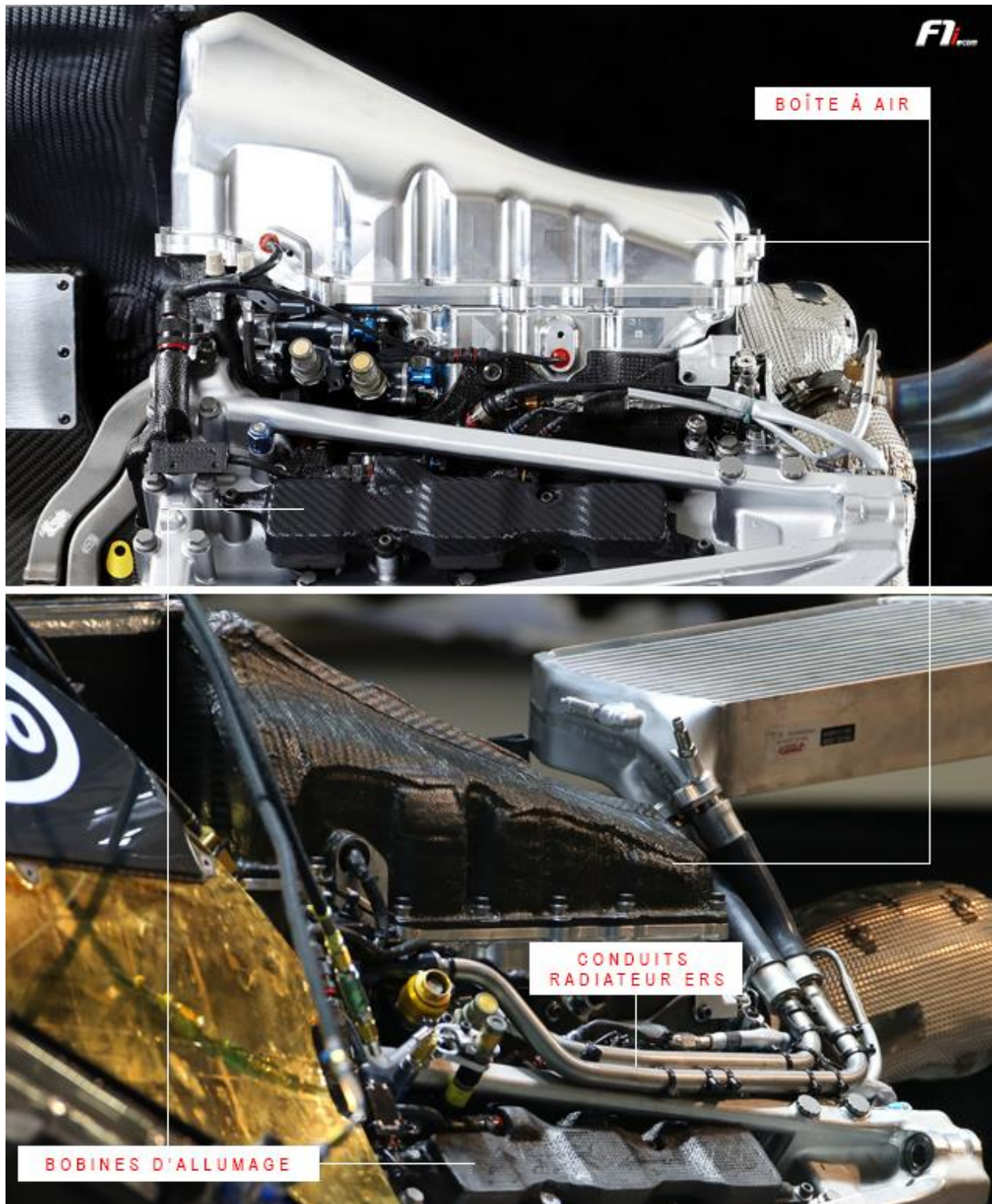
Lorsqu'elle est ôtée comme sur l'image ci-dessus, on peut voir que les collecteurs d'admission sont courbés à 90° et font partie d'un système de guidage de l'air assez complexe situé en amont des trompettes d'admission proprement dites (et sans doute variables).

La courbure des collecteurs est dictée par la volonté des motoristes japonais de diminuer au maximum le volume de boîte à air.

Comme une grande partie du moteur, la boîte à air est réalisée en aluminium, même si une version en carbone a été utilisée à plusieurs reprises.

On notera par ailleurs qu'avant d'entrer dans les collecteurs, l'air comprimé est refroidi en passant dans un échangeur, situé dans le ponton droit de la MP4-30. Comme Renault, Honda a choisi un échangeur air/air installé dans les pontons. Chez Mercedes et Ferrari, par contre, l'échangeur (air/eau) est logé dans la monocoque sur la Flèche d'argent et au milieu du V6 sur le bolide italien, ce qui dégage les pontons et réduit le blocage du flux d'air.



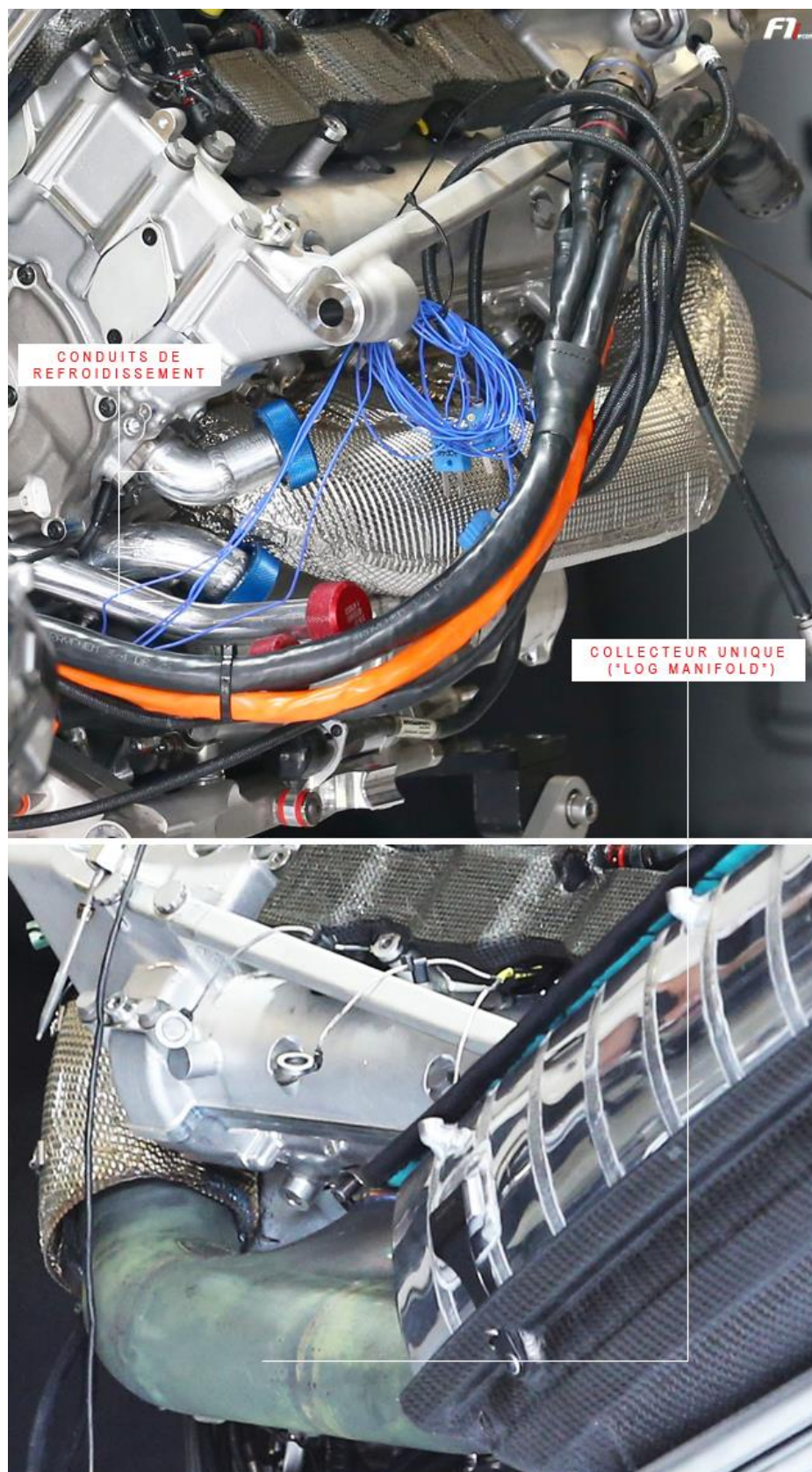


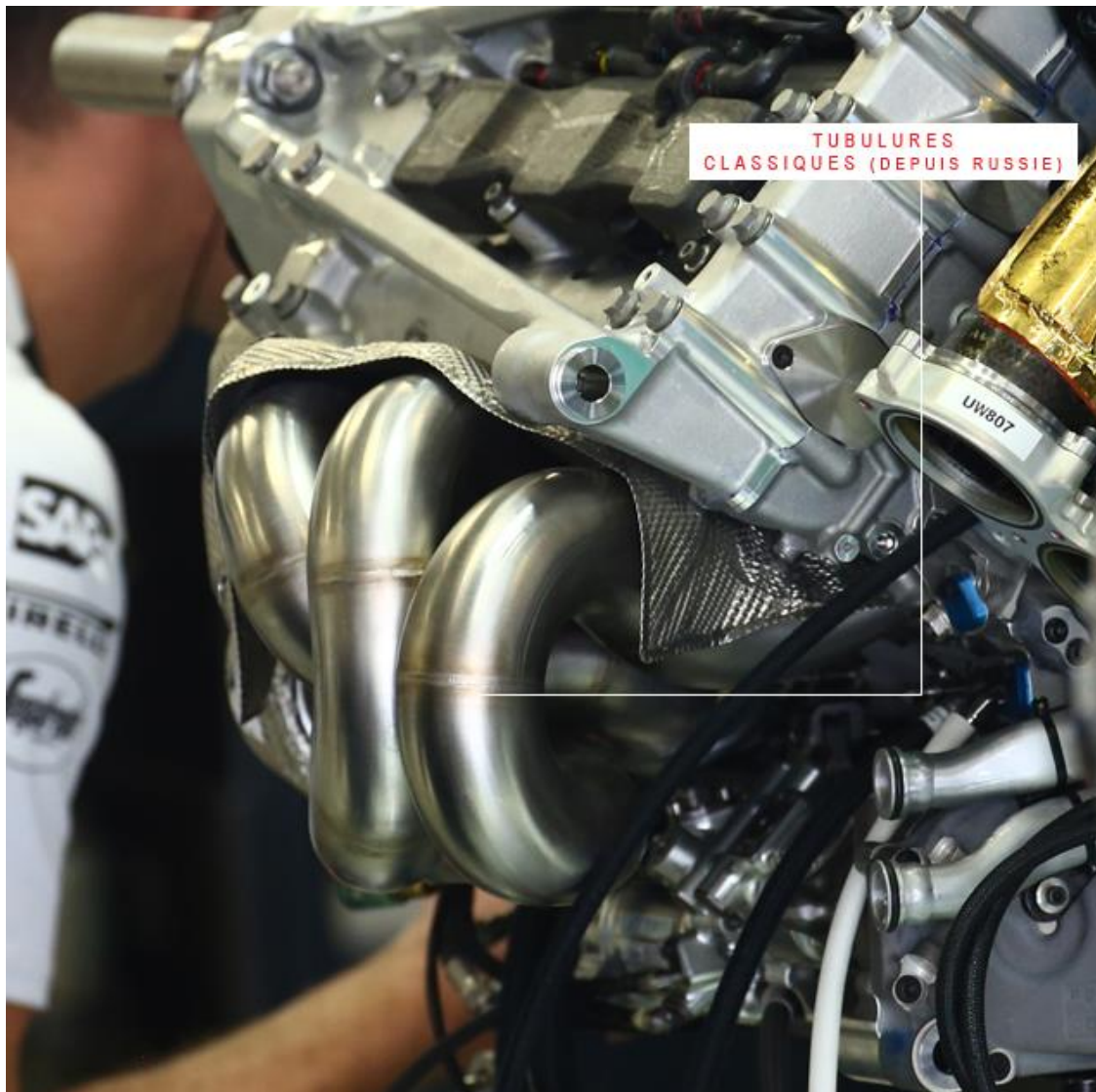
COMME LE V6 MERCEDES... 2014

Comme on le voit sur la page précédente, Honda a choisi un collecteur unique pour récolter les gaz brûlés – solution que Mercedes avait adoptée l’an dernier avant de l’abandonner cette saison au profit de tubulures conventionnelles. Le motoriste nippon a lui aussi fini par adopter des tubulures classiques sur l’évolution de son V6 apparue en Russie sur la monoplace de Fernando Alonso.

Parce qu’il est court, le collecteur unique (*“log manifold”* dans le jargon) permet de limiter la perte de pression subie par les gaz d’échappement lors du trajet d’évacuation. Du coup, l’énergie envoyée à la turbine, puis récupérée par le MGU-H, est plus élevée qu’avec une tubulure classique, à condition que l’on évite le risque de collision entre les divers gaz, susceptible de créer des turbulences. La compacité du *“log manifold”*, qui est une solution très fiable, offre par sa compacité davantage de liberté aux aérodynamiciens. En réalité, chaque dessin possède ses avantages.

À cause de la minceur des feuilles métalliques employées pour fabriquer les tubulures (finesse qui provoque une déperdition de chaleur des gaz), Honda – comme ses concurrents – enveloppe le collecteur avec une sorte de couverture isolante, afin de maintenir la chaleur dans les tubulures et permettre aux gaz de se dilater correctement. Sur l’image page suivante, on distingue le collecteur dépouillé de son isolant thermique.





CARTOUCHE UNIQUE

Contrairement à la plupart des V6 hybrides (du moins si l'on en croit les images officielles de Renault et Mercedes), le six cylindres japonais possède une "cartouche" unique rassemblant la batterie et les boîtiers de contrôle des deux systèmes de récupération d'énergie : thermique (MGU-H) et cinétique (MGU-K). Ce boîtier est placé derrière le baquet du pilote, en-dessous du réservoir.

Cet ensemble ramassé permet de gagner du volume sous le réservoir, au bénéfice d'un packaging très serré, mais laissant peu de place au refroidissement.

Sur la "cartouche", on note les autocollants Thermax – qui changent de couleur selon la température – et les scellés de la FIA.

Le RA165H ne parvient pas, à ce jour, à exploiter les avantages théoriques d'une architecture semblable à celle de la référence Mercedes.

Honda nourrissait l'ambition de rattraper ses concurrents en utilisant des technologies inédites, qui se sont révélées techniquement immatures. C'est pourquoi le RA165H ne parvient pas, à ce jour, à exploiter les avantages théoriques d'une architecture semblable à celle de la référence Mercedes : la scission du compresseur et de la turbine (qui autorise en principe un meilleur refroidissement) et des conduits de compression plus courts (qui réduisent le fameux "temps de réponse" du turbo et donc la quantité d'énergie récupérée par l'ERS que le MGU-H doit consacrer à la relance de la turbine quand la pédale d'accélérateur n'est pas enfoncée). Davantage que l'architecture apparente, c'est la qualité de son exécution qui fait la différence. Et celle-ci, même sur ces images inédites, est invisible...



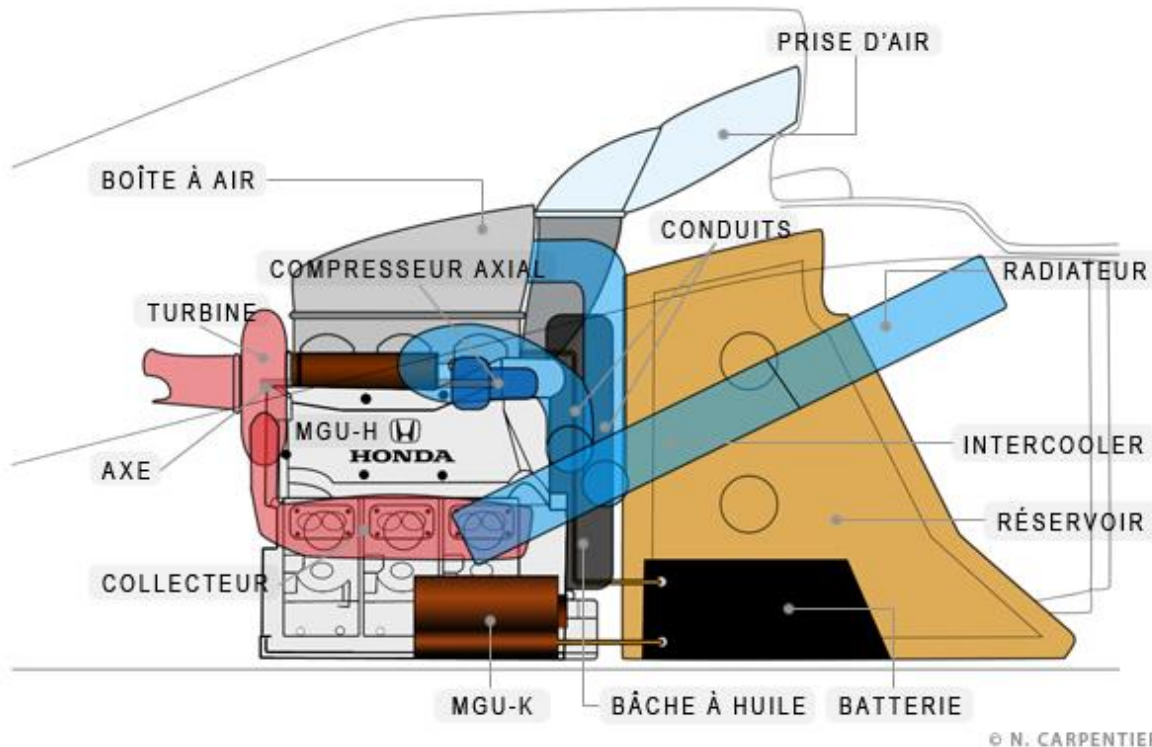
MERCEDES



RENAULT



6.2.2 Honda Hors des Sentiers Battus



Respect des traditions, goût de l'innovation. Entre ces deux pôles oscille la culture japonaise. Sauf en sport automobile, où son goût de l'invention s'est toujours exprimé sans réserve. Connaissant l'attrait du Soleil Levant pour les nouvelles technologies, le paddock était impatient de découvrir les innovations du premier propulseur hybride de Formule 1 mis au point par Honda.

À dénombrer les multiples pannes ayant affecté les McLaren depuis les essais hivernaux, on subodorait que l'imagination des ingénieurs nippons avait été débridée. Maladies de jeunesse qui s'expliquent en effet par l'ambition de Honda de rattraper ses concurrents en exploitant des technologies inédites... pas tout à fait éprouvées. Conscient que les marges d'évolution permises par le règlement allaient se rétrécir au fil des saisons, le motoriste n'a pas voulu entamer 2015 avec un six cylindres conventionnel, robuste mais au potentiel limité.

Une telle audace technique tient aussi – peut-être même surtout – aux contraintes drastiques imposées par son partenaire McLaren, qui a voulu offrir le maximum de liberté à l'aérodynamicien Peter Prodromou (ex-bras droit d'Adrian Newey chez Red Bull) :

“Pour cette voiture, il n'était pas question que le moteur, ses accessoires et les systèmes de récupération d'énergie soient un frein à la performance aérodynamique, confirme Éric Boulier, directeur de la compétition. Il fallait tout encapsuler, pour que rien ne dépasse. Le châssis a évidemment été conçu pour cela. Pour y parvenir, les gens de Honda ont dû s'y reprendre à

plusieurs reprises et en arriver à la version 3 du groupe moteur, tant les deux premières ne cadraient pas avec le cahier des charges châssis/aéro. Cela leur a demandé d'énormes efforts."

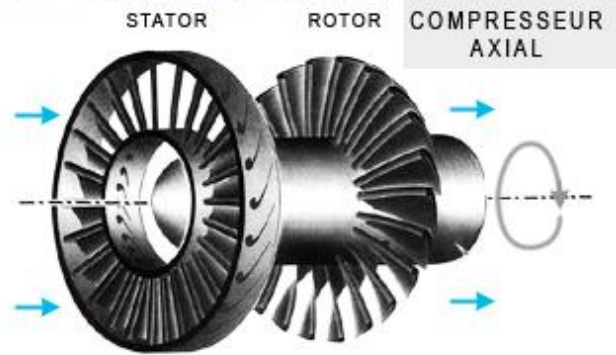
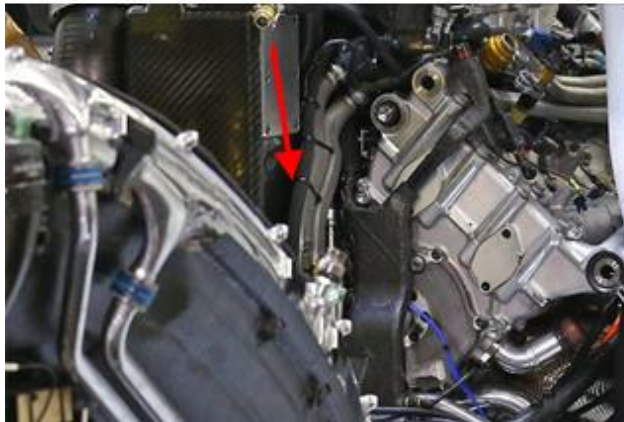
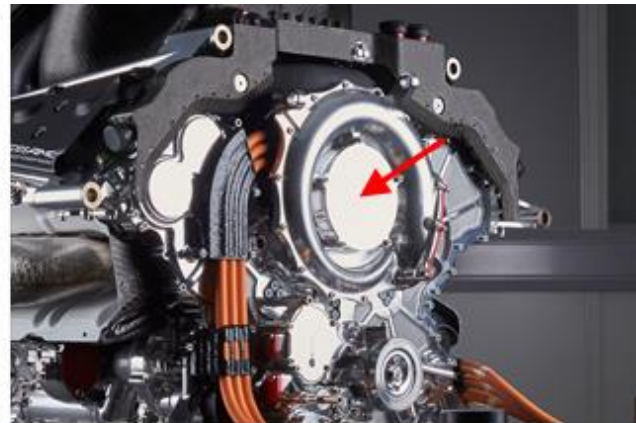
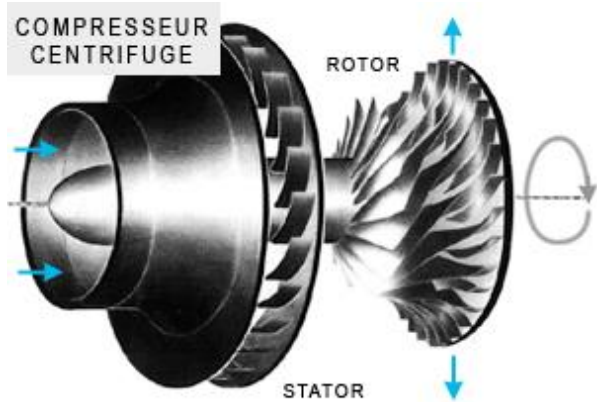
AXIAL ET RADICAL

Pour limiter l'encombrement de son moteur, Honda a séparé le compresseur de la turbine – mais d'une manière différente que Mercedes. Sur le V6 des Flèches d'argent, le volumineux compresseur est placé à l'avant du bloc. Le RA615H pousse plus loin encore l'art de la miniaturisation en logeant son compresseur à l'intérieur même du "V" formé par les deux bancs de cylindres, juste à côté du MGU-H. Belle trouvaille, certes, mais comment y parvient-on ?

Installer un compresseur dans un espace aussi restreint aurait poussé les ingénieurs du centre de recherches de Sakura à choisir un compresseur axial. La différence ? Dans un compresseur axial, le flux d'air traverse la pièce mécanique transversalement, en suivant l'axe de rotation. Sa forme oblongue est donc relativement compacte (même si le système exige une tuyauterie plus tortueuse). Dans un compresseur centrifuge, en revanche, le flux ressort du compresseur perpendiculairement à l'axe de rotation, ce qui accroît les dimensions de l'ensemble.

Un compresseur axial monte plus vite en régime (ce qui facilite l'exploitation du moteur et le travail du MGU-H), mais il n'atteint sans doute pas un taux de compression aussi élevé que son homologue centrifuge, car l'article 5.1.6 du règlement technique n'autorise qu'un seul étage dans le compresseur. Cette limite n'est cependant pas un défaut rédhibitoire étant donné la limite qu'impose le règlement au débit d'essence (en général, la pression maximum est estimée à 3,5 bars en raison des limites de l'alimentation en carburant). Quant à la turbine, elle est située de manière plus conventionnelle derrière le bloc.

Cette hypothèse, relayée par notre excellent confrère Craig Scarborough, n'est aujourd'hui plus considérée comme crédible. Le compresseur japonais serait en fait un compresseur centrifuge classique, mais miniaturisé (sans doute trop, erreur aussi commise par Ferrari en 2014, comme nous l'avons expliqué [ici](#)).



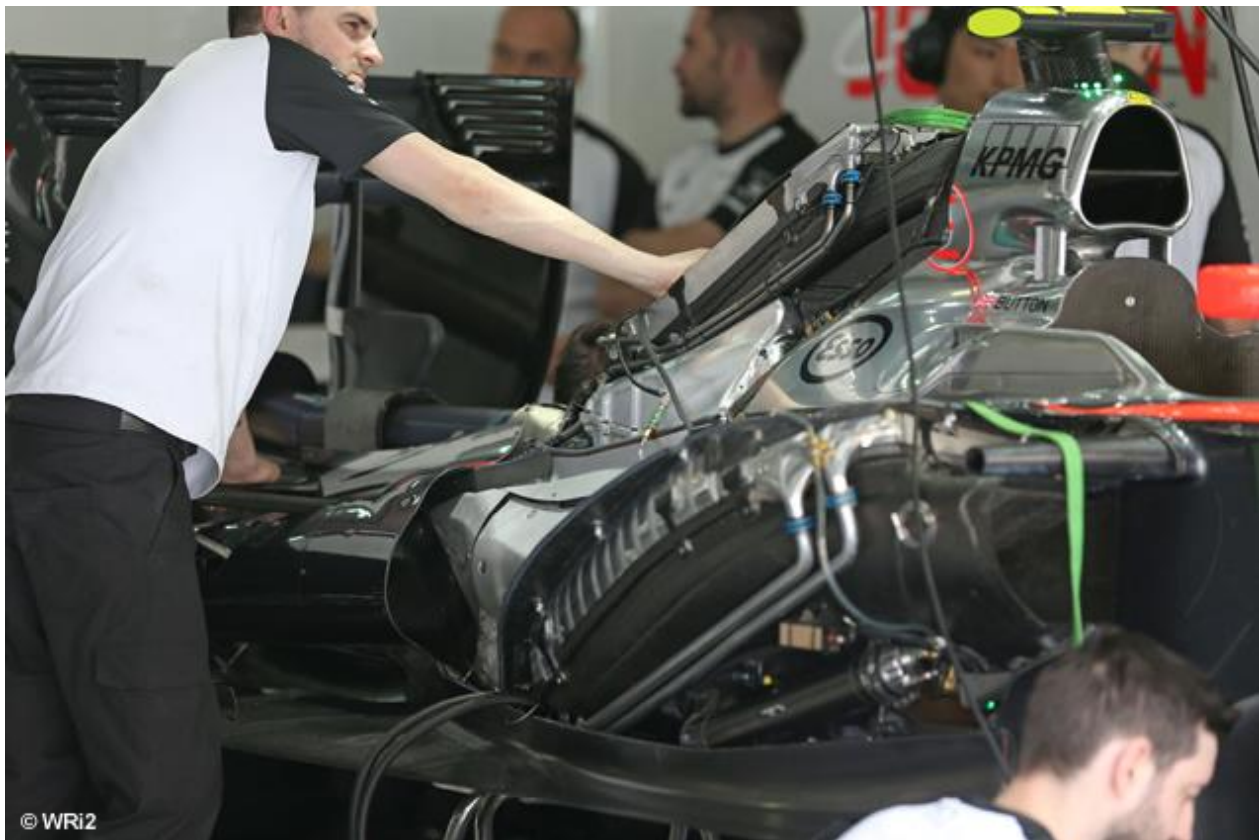
© MERCEDES & DR

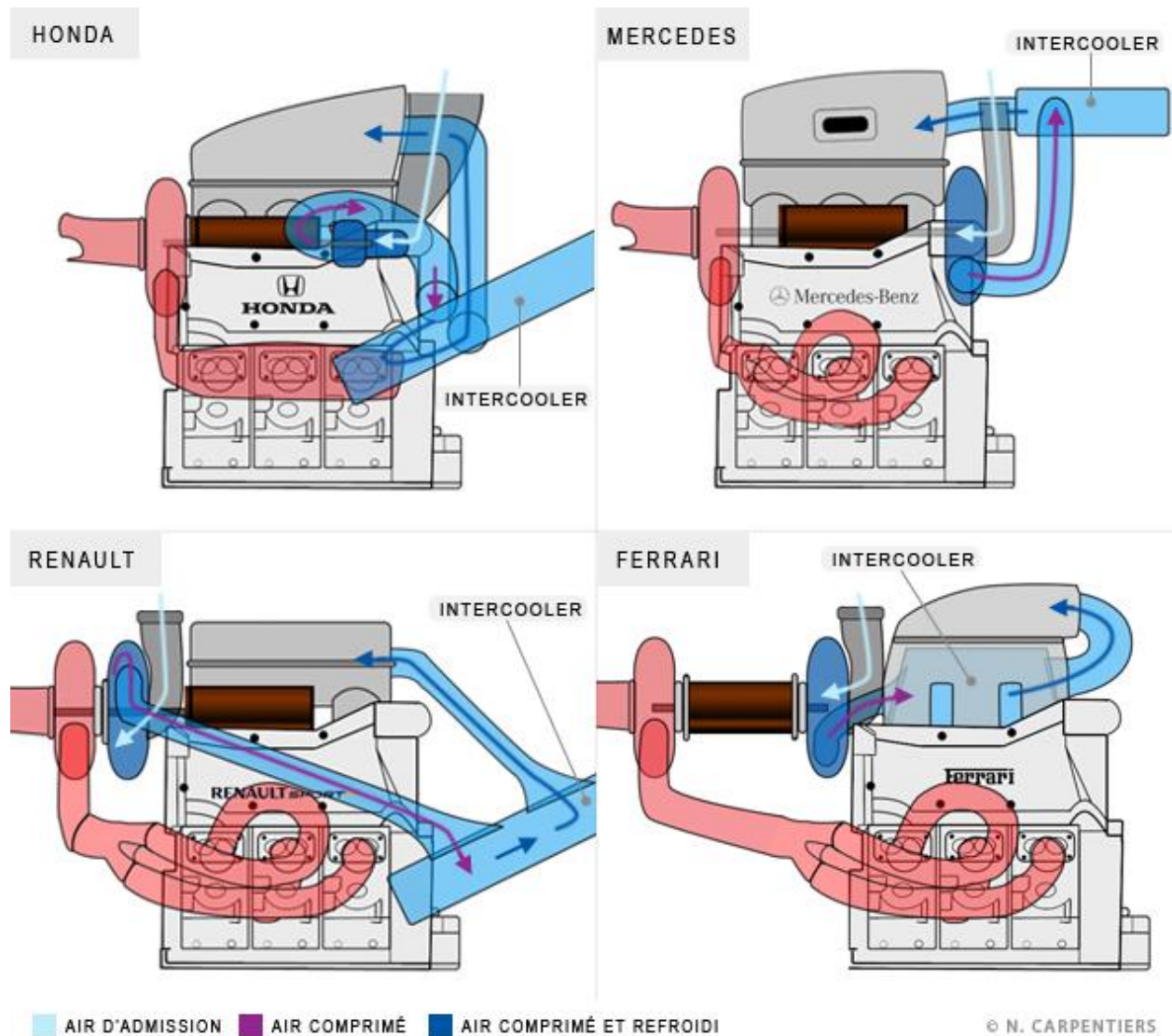
COMPACTITÉ ET AUTRES BÉNÉFICES

Comme on peut le voir dans le comparatif page suivante, l'architecture du V6 Honda se rapproche de celle retenue par Mercedes, sans être absolument identique.

Parmi les singularités, le compresseur axial offre au moteur japonais une plus grande compacité que le compresseur centrifuge de son homologue allemand, même s'il impose des conduits très spécifiques. Moins avantageuse, sa proximité avec le MGU-H au creux du "V" met le système de récupération d'énergie à rude épreuve du point de vue thermique. Autre différence : pour récolter les gaz brûlés, Honda a opté pour un collecteur unique – solution que Brackley avait adoptée l'an dernier avant de l'abandonner cette saison au profit de tubulures conventionnelles. Sur le papier, un collecteur unique, court, privilégie la compacité et la quantité d'énergie envoyée à la turbine. En réalité, chaque dessin possède ses avantages.

Parmi les caractéristiques que partagent Mercedes et Honda, l'installation disjointe du compresseur et de la turbine autorise un meilleur refroidissement, puisque le compresseur et les conduits sont montés à l'avant du bloc, loin des 900 °C de la turbine et des tubulures d'échappements brûlantes. Situé dans une zone nettement moins chaude que sur le moteur Renault par exemple (qui accole compresseur et turbine), le compresseur peut se satisfaire d'un échangeur plus petit (l'air comprimé ayant moins besoin d'être refroidi).

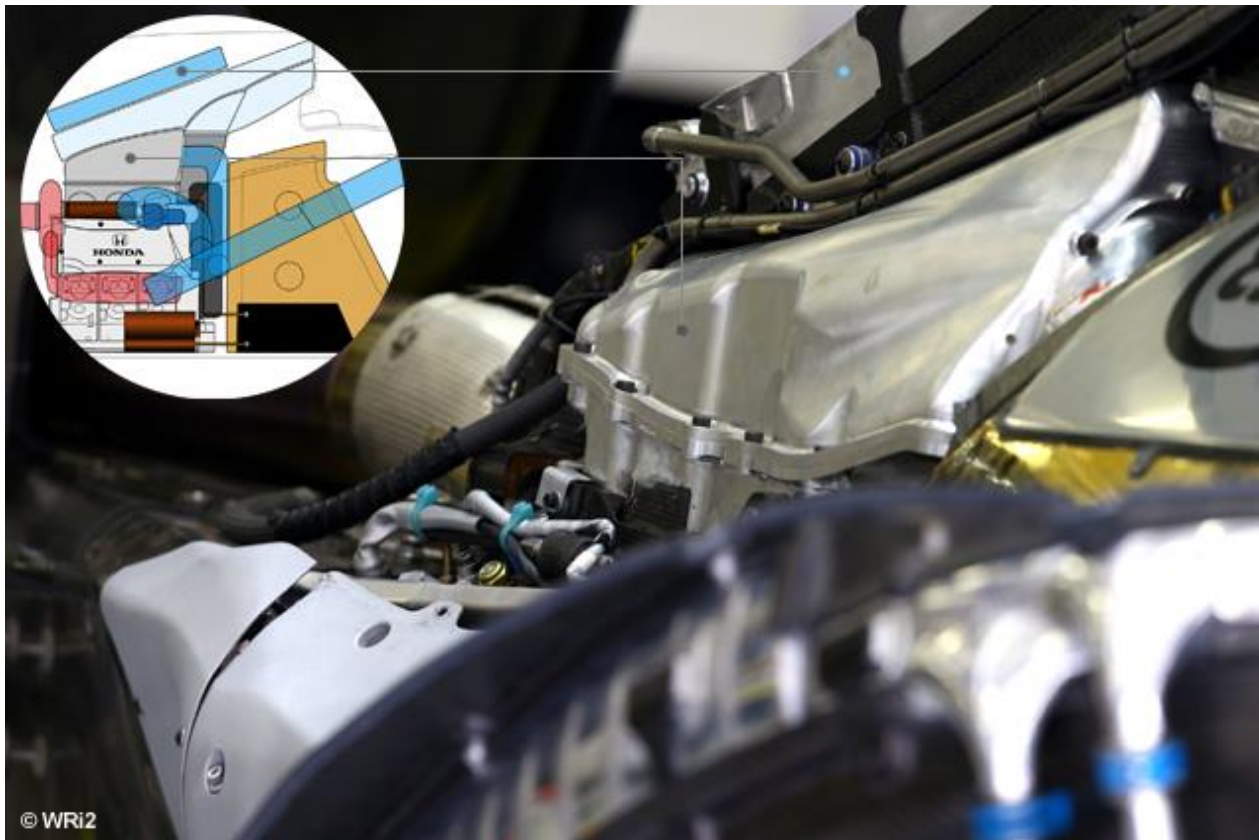




Logé à l'intérieur de la monocoque, en position centrale, sur la W06, l'échangeur est implanté plus classiquement sur la MP4-30 dans le ponton droit. Quant au moteur Ferrari(*) il niche l'échangeur au centre des deux rangées de cylindres, en vue de réduire au maximum le blocage du flux d'air à l'intérieur des pontons (comme expliqué [ici](#) en détail).

Autre avantage de l'architecture commune à Mercedes et Honda : les conduits reliant le compresseur à l'échangeur sont plus courts que sur les moteurs conçus par Renault et Ferrari. Sur le V6 teuton – et pour le moment en théorie sur le bloc nippon –, il faut donc moins de temps et d'énergie pour faire circuler l'air comprimé, ce qui permet de réduire le fameux "temps de réponse" du turbo. Or abaisser ce décalage permet de réduire la proportion d'énergie récupérée par l'ERS que le MGU-H doit consacrer à la relance de la turbine quand la pédale d'accélérateur n'est pas enfoncée (ce qui permet de consacrer davantage d'énergie au "boost" proprement dit).

(*) Sur le moteur Ferrari 059/4 de 2015, le turbocompresseur est toujours situé à l'arrière du bloc (comme sur le Renault) et l'échangeur légèrement redessiné à l'intérieur du "V" formé par les rangées de cylindres, mais on ignore encore si le MGU-H est toujours installé entre le compresseur et la turbine.



ORIGINALITÉ À TOUS LES ÉTAGES

Tout au-dessus du V6, la prise d'air est divisée en deux conduits distincts. Le premier refroidit un large radiateur qui y est directement fixé, et dont l'air chaud s'échappe en suivant la courbure du capot moteur, jusqu'à son extrémité évasée, largement dimensionnée. Ce radiateur refroidit l'ERS.

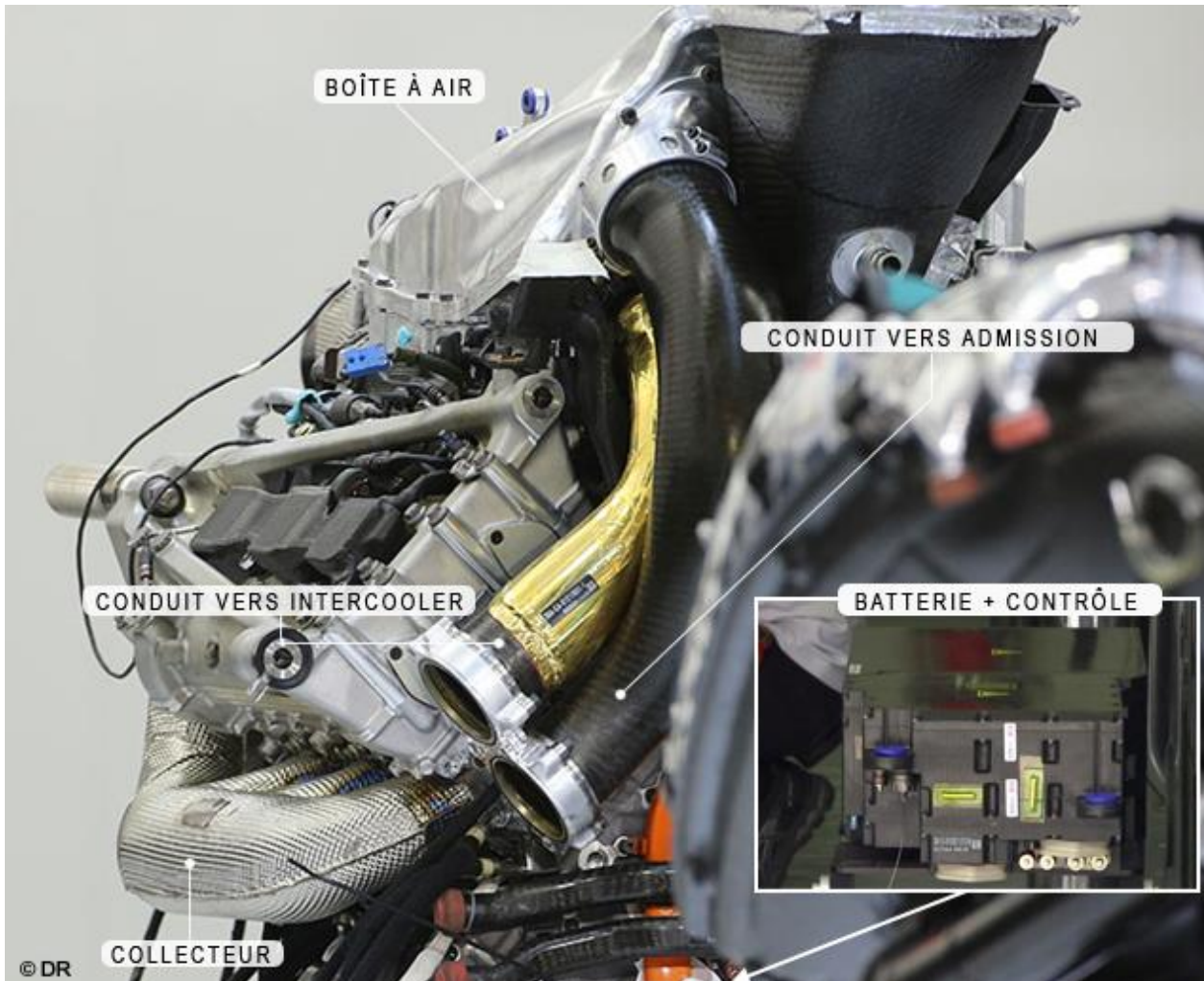
Quant au second conduit, plus conventionnel, il alimente le bloc thermique en air, qui passe par le compresseur puis la boîte à air pour l'admission. Réalisée en aluminium, celle-ci est particulièrement basse grâce à la présence d'ailettes internes orientées à 90°, qui guident à angle droit l'air refroidi vers les cylindres.

Autre curiosité : la cartouche unique qui rassemble la batterie et les boîtiers de contrôle des deux systèmes de récupération d'énergie (thermique et cinétique), comme on le voit ci-dessous sur le cliché pris par le journaliste espagnol Albert Fabrega, insérée dans l'image de Racecar Engineering. Cet ensemble compact permet de gagner du volume sous le réservoir, au bénéfice d'un packaging très serré, mais laissant peu de place au refroidissement.

Une fois que Honda aura réglé les maladies de jeunesse de son V6, les gains de la philosophie "taille zéro" se feront sentir. Mais le temps presse...

Or le MGU-K et le MGU-H doivent impérativement être refroidis (par de l'eau ou de l'huile), ce qui a obligé Honda à brider son propulseur afin de contenir la hausse des températures et d'éviter des fuites de liquide de refroidissement par les joints entourant les axes. Quant à la bache à huile et au MGU-K, ils sont implantés de manière classique : respectivement devant le moteur et sous le banc de cylindres gauche.

Une fois que Honda sera venue à bout de ses problèmes de fiabilité, les gains de la philosophie "taille zéro" se feront sentir. En attendant, il faudra au motoriste du courage, de l'endurance et une certaine dose de patience. Cela tombe bien, il existe en japonais un mot pour désigner une qualité alliant ces trois vertus : *gaman*. "Telle est la vie/Tomber sept fois/ Et se relever huit", dit un proverbe populaire au Japon.



NB: Réalisés dans une perspective avant tout comparatiste et pédagogique, les schémas présentés ici simplifient à gros traits la complexité des groupes propulseurs (le réservoir est

normalement creusé pour accueillir la bête à huile ; les dessins des échappements et de la prise d'air sont trop schématiques ; de nombreux périphériques sont manquants, etc.).

6.2.3 Les Trois Causes du Retard de McLaren-Honda



C'est grave, docteur ?

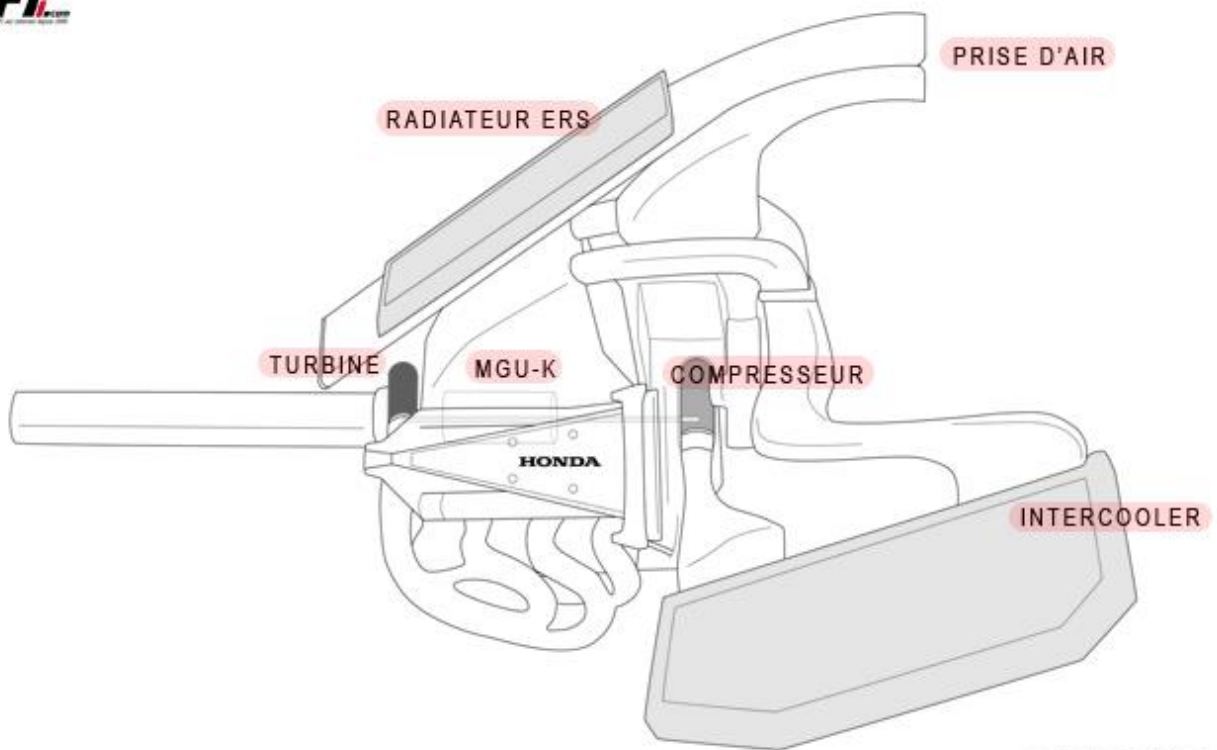
Sans surprise, les McLaren-Honda étaient les voitures les plus lentes en Australie. Si Jenson Button a bien franchi la ligne d'arrivée (à deux tours du vainqueur, tout de même), l'ampleur de leur déficit chronométrique est pour le moins substantielle : sur la grille, la plus rapide MP4-30, pilotée par le Britannique, accusait un retard de 5,095 secondes sur le poleman Lewis Hamilton. Même en sachant que la piste a gagné en adhérence entre les deux sessions, l'écart reste considérable. En Q1, dans des conditions de piste plus proches (mais peut-être pas comparables en matière de cartographie moteur), 2,836 secondes séparaient les deux hommes, le chrono du Champion du monde 2009 le situant théoriquement à 2,2 secondes du temps le plus lent de la Q2 (signé par Sergio Pérez).

Si le circuit de l'Albert Park n'est pas le plus représentatif du calendrier, on peut tenter d'estimer le nombre de chevaux manquant au bloc Honda. Les ingénieurs de F1 utilisent un rapport moyen pour convertir un retard chronométrique en puissance moteur : 0,016 seconde par cheval. Un retard de 3 secondes équivaudrait ainsi à 188 chevaux de moins, et 5 secondes à un déficit de 312 chevaux... Hum ! Le retard réel du V6 Honda se situe probablement entre ces deux estimations, sachant qu'elle ne peut être totalement attribuée au moteur (le châssis a aussi sa part de responsabilité, vraisemblablement plus limitée).

Autre indice : Button était plus lent de 15,5 km/h que la Williams de Felipe Massa sur la ligne de départ, mais rendait "seulement" 14,8 km/h en bout de ligne droite (où sont mesurées les vitesses maximales). Ceci suggérerait que le système de récupération d'énergie est aujourd'hui le principal point faible du six cylindres japonais, puisque l'ERS se déploie principalement en sortie de virage. La puissance cumulée du MGU-K (qui récupère l'énergie cinétique du freinage) et du MGU-H (qui recouvre l'énergie produite par la rotation de la turbine) tourne autour de 160-200 chevaux en fonction de l'efficacité du MGU-H, non limitée par le règlement.

Les motoristes nippons ont utilisé à Melbourne des cartographies conservatrices pour éviter la surchauffe (les températures ambiantes étaient inférieures à 30 °C), ce qui signifie qu'après les chaleurs tropicales de Malaisie, une poignée de chevaux devrait pouvoir être récupérée rapidement. On s'étonne malgré tout que le risque thermique refasse surface alors qu'il avait été écarté lors des essais hivernaux.

Mais comment le mythique duo en est-il arrivé là ? Sans être exhaustif, voici trois raisons pouvant expliquer les difficultés rencontrées par le couple McLaren-Honda.



© N. CARPENTIER

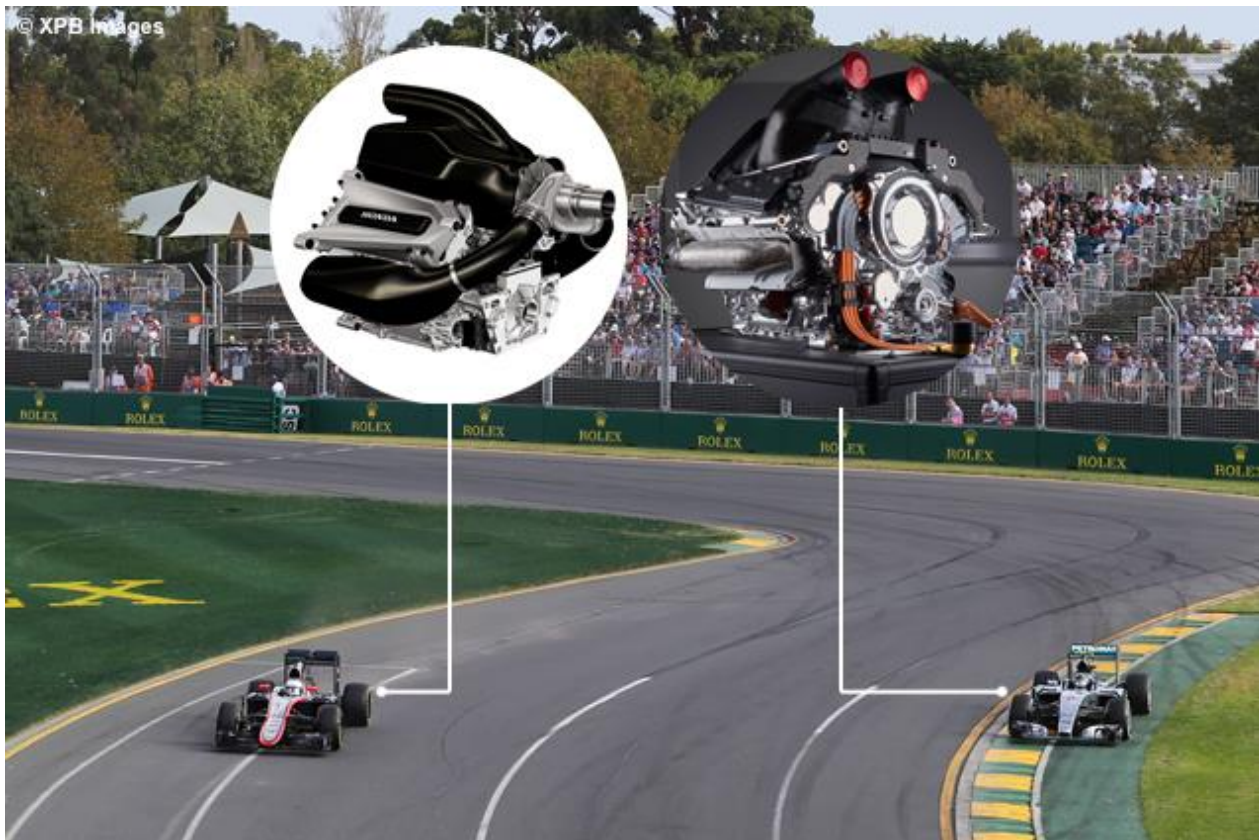
1 – Une prise de risque réelle

S'il voulait rattraper l'énorme avance de Mercedes, le tandem n'avait d'autre choix que de prendre des risques techniques et d'oser des solutions inédites. Afin de donner le maximum de liberté à l'aérodynamicien Peter Prodromou (ex-bras droit d'Adrian Newey chez Red Bull), McLaren a imposé à Honda des contraintes drastiques :

“Pour cette voiture, il n’était pas question que le moteur, ses accessoires et les systèmes de récupération d’énergie soient un frein à la performance aérodynamique, assume Eric Boulier, directeur de la compétition. Il fallait tout encapsuler, pour que rien ne dépasse. Le châssis a évidemment été conçu pour cela. Pour y parvenir, les gens de Honda ont dû s’y reprendre à plusieurs reprises et en arriver à la version 3 du groupe moteur, tant les deux premières ne cadraient pas avec le cahier des charges châssis/aéro. Cela leur a demandé d’énormes efforts.”

Partie intégrante de la philosophie de “taille zéro”, le bloc nippon semble avoir repris la même installation disjointe que le six cylindres Mercedes, qui sépare compresseur et turbine et place le MGU-H entre les deux composants (telle est en tout cas l’opinion de plusieurs spécialistes, qui n’est pas partagée par l’éminent Giorgio Piola : il faudra donc attendre des images pour connaître la vérité...). Illustrée ci-dessus, cette installation autorise, en théorie, un meilleur refroidissement, puisque le compresseur et les conduits sont montés à l’avant du bloc, loin des 900 °C de la turbine et des pots d’échappements brûlants. Situé dans une zone moins chaude, le compresseur peut se satisfaire d’un échangeur plus petit (l’air comprimé ayant moins besoin d’être refroidi). En outre, les conduits qui relient le compresseur à l’échangeur sont plus courts que sur les moteurs conçus par Renault et Ferrari, ce qui réduit en principe le “temps de réponse” du turbo.

Un tel dessin permet aussi d’installer un plus gros compresseur (alors qu’à l’arrière, la place est comptée, notamment à cause des attaches standard pour la transmission). Un compresseur de grande dimension développe plus de puissance, mais impose une turbine tout aussi largement dimensionnée, ce qui risque d’allonger le temps de réponse du turbo. Côté châssis, pour dégager les pontons et limiter le blocage du flux d’air interne, les ingénieurs de Woking ont installé le radiateur chargé de refroidir l’ERS au-dessus du moteur en l’attachant sur l’un des deux conduits alimentés par la prise d’air (l’autre servant, classiquement, à l’alimentation en air du moteur).



2 – Un lancement tardif du programme ?

Interrogé sur les débuts difficiles du bloc Honda par rapport à ceux du V6 Mercedes l’an dernier, Jenson Button a botté en touche :

“La situation est très différente, affirme le Britannique. Mercedes travaillait depuis longtemps sur son moteur, bien avant de le faire courir. Et ils avaient quatre écuries pour développer le moteur durant les essais hivernaux, alors qu’Honda n’a qu’une écurie. La comparaison n’est donc pas valide. Vous pourrez nous comparer dans un an.”

C’est en mars 2013 que Honda a annoncé publiquement son retour en Formule 1. Sur le papier, le motoriste japonais a pu observer ses concurrents pendant une saison entière et jauger ainsi certaines options techniques testées en piste, et éviter ainsi des choix malheureux en matière d’architecture.

Avec le concours de son futur partenaire, il a également pu scruter la référence en la matière, le Mercedes PU106A, qui équipait la McLaren en 2014. Examiner, mais pas ausculter : *“McLaren n’a eu qu’un accès restreint aux données du V6 Mercedes, car les blocs restent toujours la propriété du motoriste, qui les loue à l’écurie”*, explique notre consultant Jacky Eeckelaert. L’observation n’apprend pas grand-chose, hormis la disposition des composants. Plus profonde, la complexité des groupes propulseurs hybrides tient principalement à l’électronique, chargée de faire marcher ensemble les pièces du “power unit”.

Par contraste, on estime que Mercedes a commencé ses essais sur des cylindres uniques dès 2010, soit bien avant que ne soient finalisées les règles actuelles des V6 de 1,6 litre.

“Mercedes développe son moteur depuis plus de trois ans, et Honda depuis 18 mois – voilà déjà une part importante de l’explication, explique Éric Boullier. Pour Ferrari et Renault, je ne connais pas les réponses [expliquant l’écart].”

Si Mercedes évolue dans une autre catégorie, il n’en reste pas moins que Honda fait pour l’heure moins bien que Renault et Ferrari lors de leur première saison hybride.

3 – Une certaine inexpérience des technologies

Si Honda maîtrise la suralimentation et la technologie hybride de route, il découvre la combustion à mélange pauvre, la gestion de l’électricité, la récupération d’énergie thermique, etc. Honda paie sa jeunesse et son manque d’expérience dans certains domaines, qui n’ont pas été totalement validés.

2015 sera donc pour Honda ce que 2014 a été pour ses concurrents motoristes : de l’expérience gagnée à travers les difficultés. Car rien ne remplace la compétition, tant pis si cela sonne comme un cliché. En 2014, Mercedes a parcouru 42 142 kilomètres, Renault 36 722 et Ferrari 27 402, collectant des données plus riches qu’au banc d’essai.

D’autres raisons peuvent bien entendu être soulevées (comme la nécessité d’apprendre à travailler ensemble sur des technologies complexes, les différences culturelles, etc.), mais la question demeure la même : le temps perdu se rattrape-t-il un jour ?

6.3 LE MOTEUR MERCEDES 2015

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]

6.3.1 Le PU106A



Le PU106A Allemand installé sur la Mercedes W06 de 2015 a beaucoup évolué par rapport à 2014. Mercedes ayant utilisé plus de jetons (25) que Ferrari (22) et Renault(20) en début de saison.

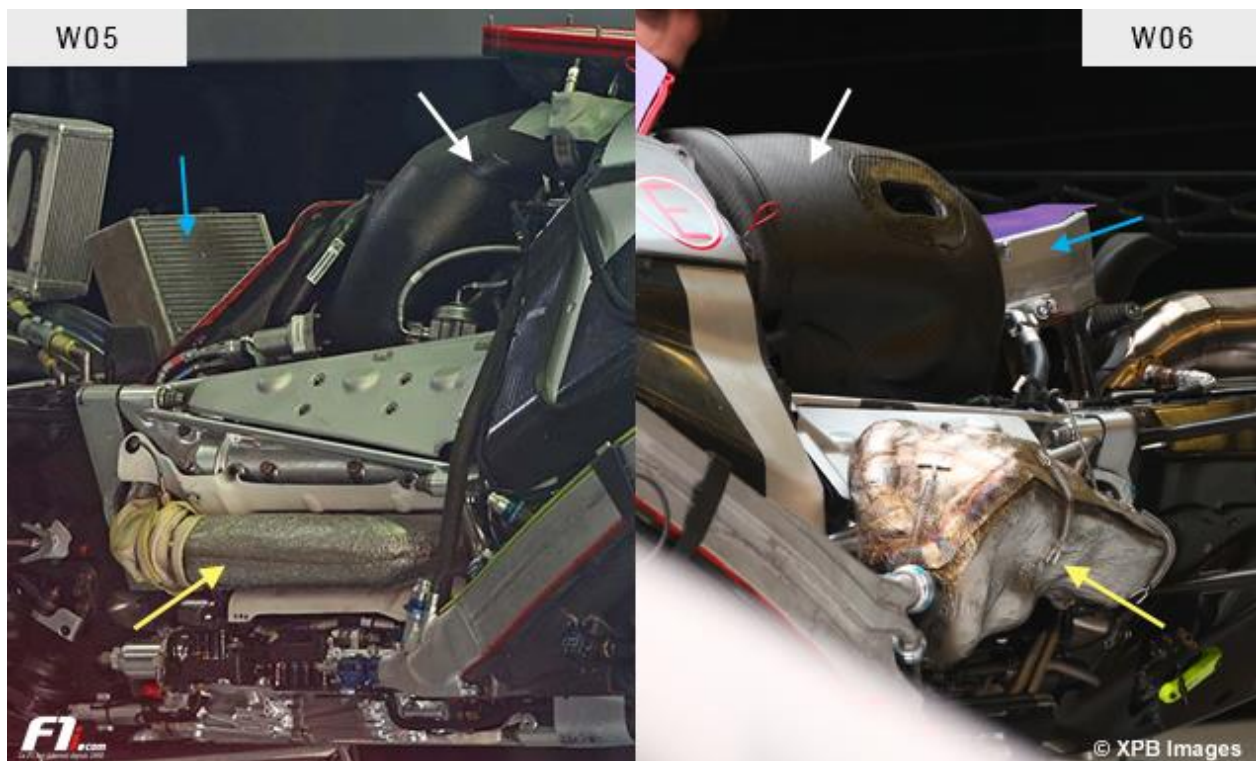
Un changement est particulièrement visible. Sur la version 2015 de son groupe propulseur, Mercedes a abandonné le collecteur unique (baptisé "log manifold"), qui était pourtant l'une des pièces emblématiques de son moteur. De chaque côté du V6, un simple tube, quasiment accolé au bloc, récoltait les gaz brûlés dans les trois cylindres et les convoyait depuis les conduits d'échappement vers la turbine. Cette saison, les motoristes ont opté pour des tubulures conventionnelles : chaque cylindre possède son propre tuyau, qui fusionne avec les deux autres tubes au niveau du collecteur.

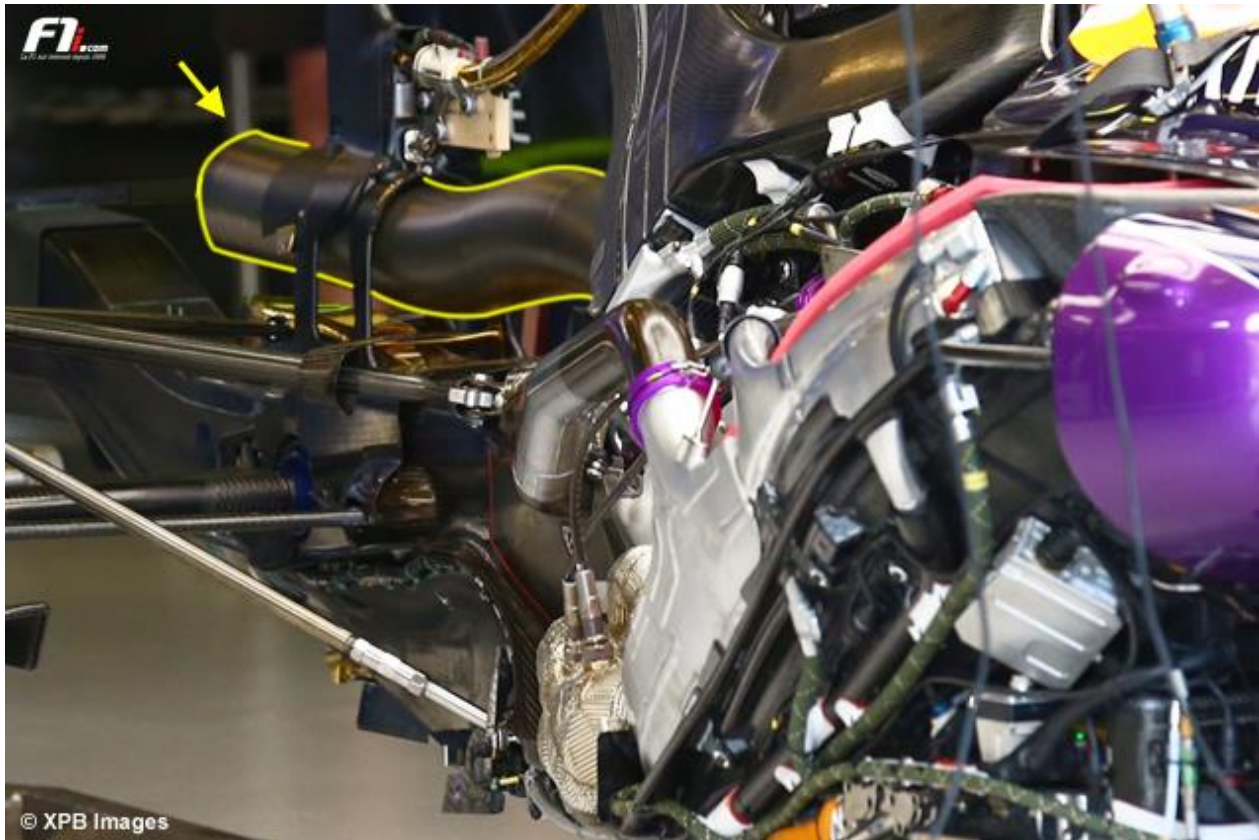
AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Chaque dessin possède des avantages. Parce qu'il est court, le collecteur unique permet de limiter la perte de pression subie par les gaz d'échappement lors du trajet d'évacuation. Du

coup, l'énergie envoyée à la turbine, puis récupérée par le MGU-H, est plus élevée, à condition que l'on évite le risque de collision entre les divers gaz, susceptible de créer des turbulences. La compacité du "log manifold", qui est une solution très fiable, offre par ailleurs davantage de liberté aux aérodynamiciens.

Quant aux tubulures classiques, plus longues, provoquent une déperdition de la pression au niveau du turbo, mais permettent un réglage plus fin des gaz d'échappement à tous les régimes. Signe que Mercedes a trouvé un moyen de maintenir une pression élevée à la turbine avec des tubulures traditionnelles, qui sont plaquées sur le bloc moteur. Là réside le tour de force des hommes d'Andy Cowell.





La longueur et le diamètre de la tuyauterie, l'angle des coudes du collecteur, etc. déterminent la bonne respiration du moteur. Le diamètre d'un même tube peut ainsi varier afin de créer des ondes de choc qui résonnent en retour et améliorent la compression. En tenant compte de la dynamique des fluides, des problèmes vibratoires de la colonne gazeuse, les ingénieurs aboutissent à des tuyauteries enchevêtrées, au tracé très complexe, optimisées pour l'efficacité du turbocompresseur.

PEU D'ÉCHAPPATOIRES RÉGLEMENTAIRES

Une fois que la turbine a récupéré l'énergie des gaz d'échappement, ceux-ci sont évacués à travers un pot unique (voir ci-dessus), aux caractéristiques encadrées par le règlement technique. Une seule ligne d'échappement est autorisée (au lieu de deux avant 2014), et son diamètre réglementé. Le pot doit émerger du capot moteur dans une zone précisément délimitée : entre 17 et 18,5 cm derrière l'axe des roues arrière, à une hauteur comprise entre 35 et 50 cm. En outre, les quinze derniers centimètres doivent pointer vers le haut selon un angle maximal de 5°, et aucun déflecteur n'est autorisé, à l'exception du "monkey seat".

Une seule ligne d'échappement est autorisée

L'objectif est d'empêcher tout détournement des gaz à des fins aérodynamiques, comme le faisaient les échappements à effet de Coanda avant 2014. S'il reste relativement peu d'énergie à

la sortie du pot à exploiter d'un point de vue aérodynamique, la plupart des écuries soufflent les gaz en dessous du "monkey seat" afin de générer de l'appui. Enfin, le règlement impose que tous les gaz émanant du moteur transitent par le pot unique, dans lequel souffle la soupape de décharge (la soupape qui limite la pression des gaz d'échappement sur la roue de la turbine).

La photo ci-dessous illustre les différentes solutions de "monkey seat" (le petit appendice aérodynamique situé au-dessus de l'échappement).



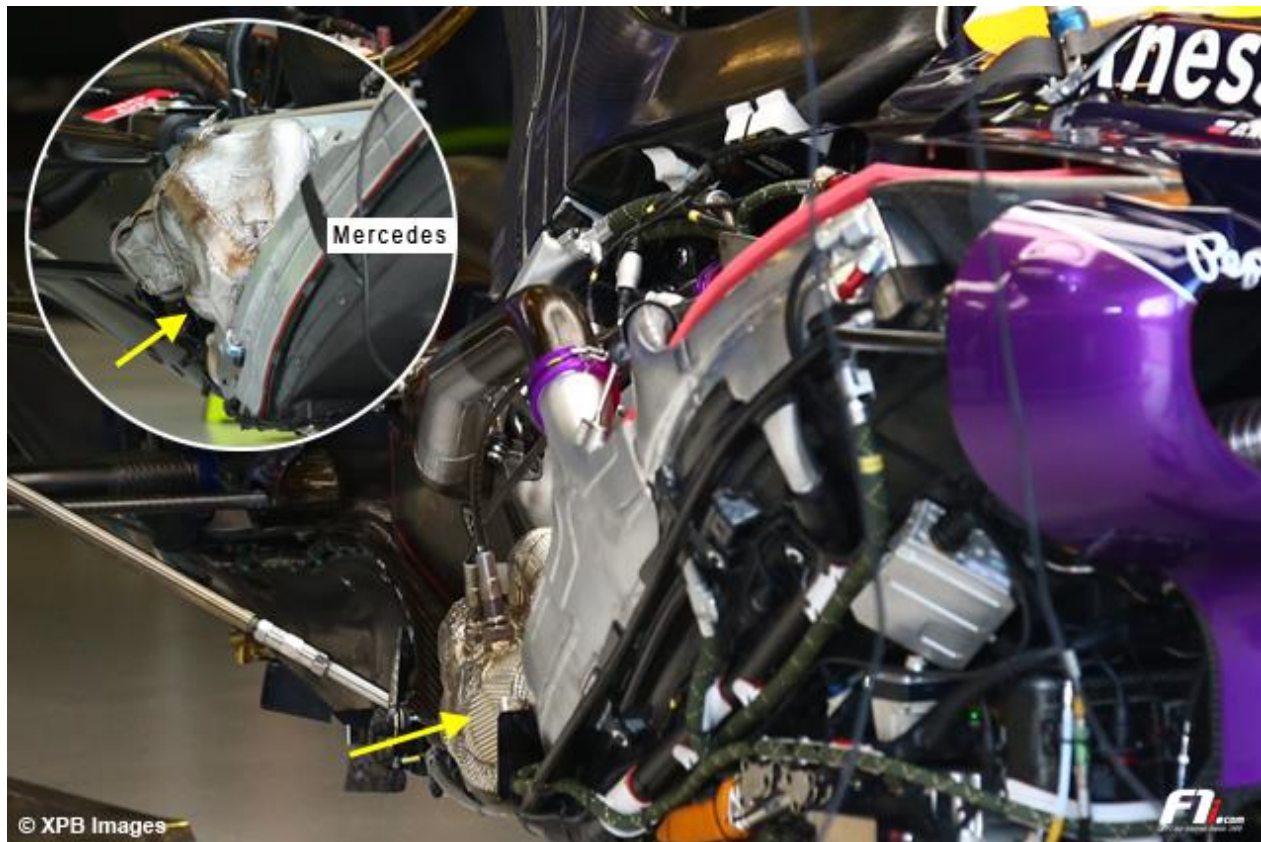
Pour des impératifs de poids, les tuyaux sont constitués de fines feuilles métalliques. Cette minceur favorise la déperdition de chaleur des gaz, ce qui pénalise particulièrement les moteurs turbocompressés (en refroidissant, les gaz se contractent : la pression diminue, ainsi que la vitesse de rotation de la turbine).

Raison pour laquelle les écuries emballent les tuyaux avec une sorte de couverture isolante (comme sur l'image), afin de conserver la chaleur dans les tubulures et permettre aux gaz de bien se dilater.

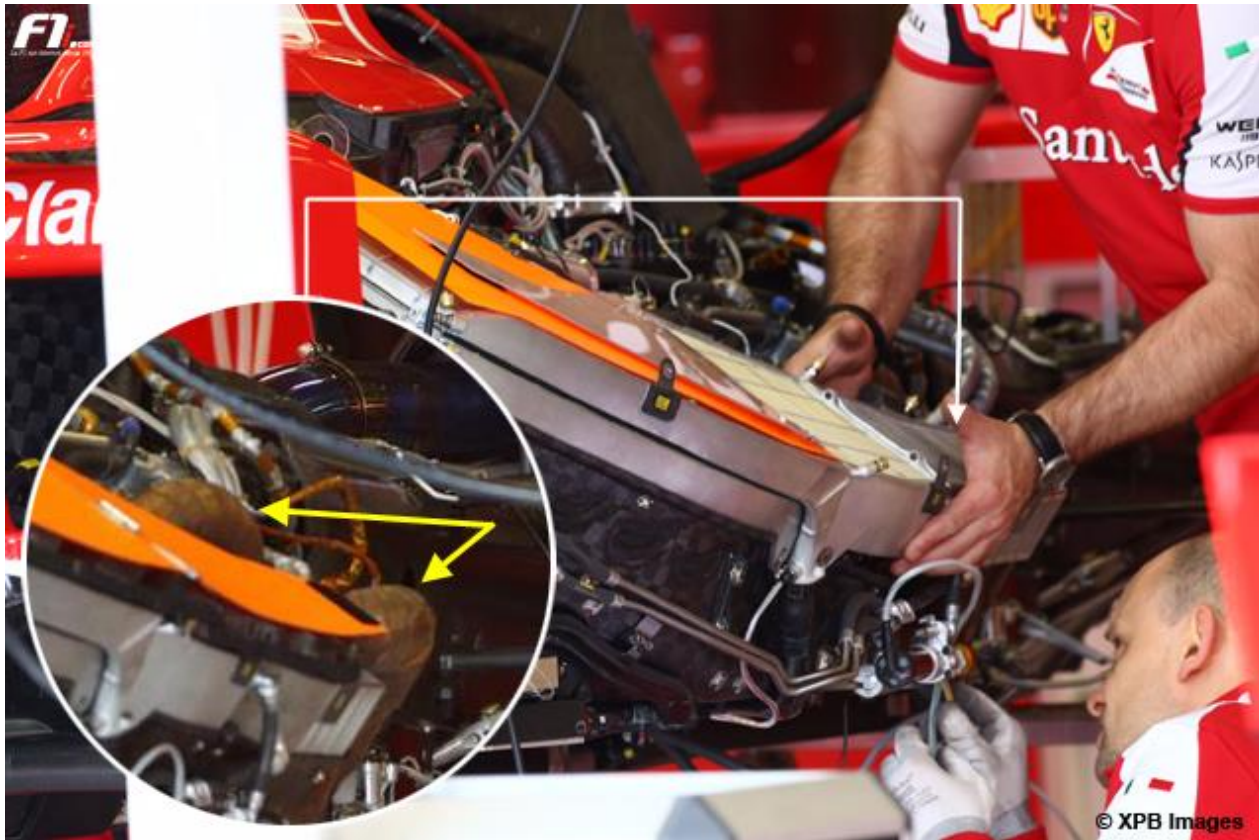
Chauffés à près de 1000 °C et subissant de fortes pressions, les tuyaux d'échappement sont fabriqués dans un alliage métallique spécifique, appelé Inconel (composé approximativement de 60 % de nickel, de 22 % de chrome, ainsi que de molybdène et de niobium). Comme ce matériau

n'est pas simple à travailler, les tuyaux d'échappement sont généralement composés d'une multitude de petites pièces, assemblées par de véritables orfèvres.

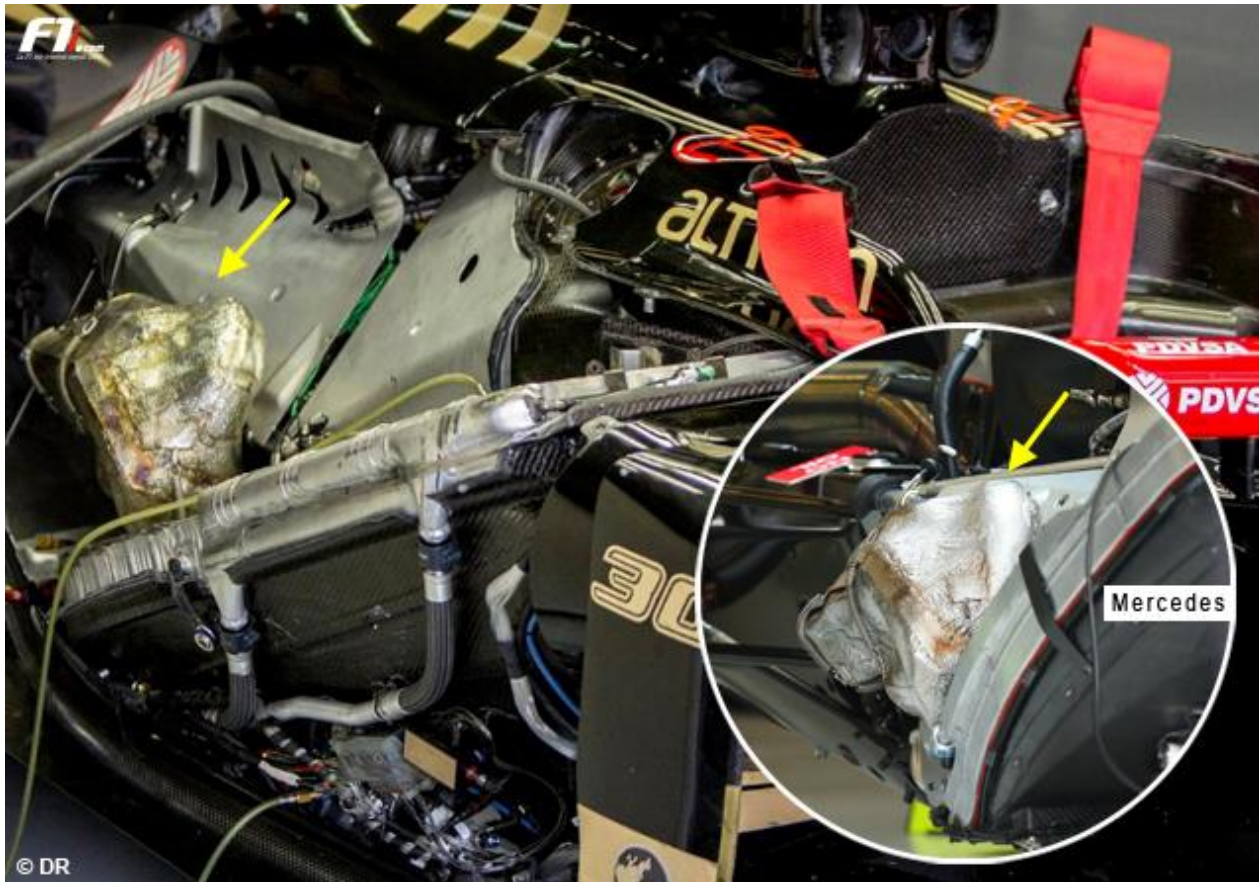
On le voit, Mercedes s'est alignée sur Renault et Ferrari, qui utilisent des tubulures d'échappement classiques depuis l'an passé, comme vous le verrez dans les pages suivantes.



Les échappements de la Red-Bull RB11 (moteur Renault) sont situés nettement plus bas que sur la Mercedes W06, et semblent moins plaqués contre le bloc moteur.



L'implantation des échappements sur la Ferrari SF15-T est plus proche de celle retenue par Red Bull que de l'installation choisie par Mercedes. En outre, au lieu d'emballer l'ensemble des tubulures dans une sorte de "sac" isolant comme sur la W06, les ingénieurs italiens ont emmaillotté chaque tuyau individuellement (comme l'an passé).



Sur la Lotus E23 (moteur Mercedes), les échappements (identiques à ceux de la Mercedes) sont isolés du bloc moteur par une paroi métallique.

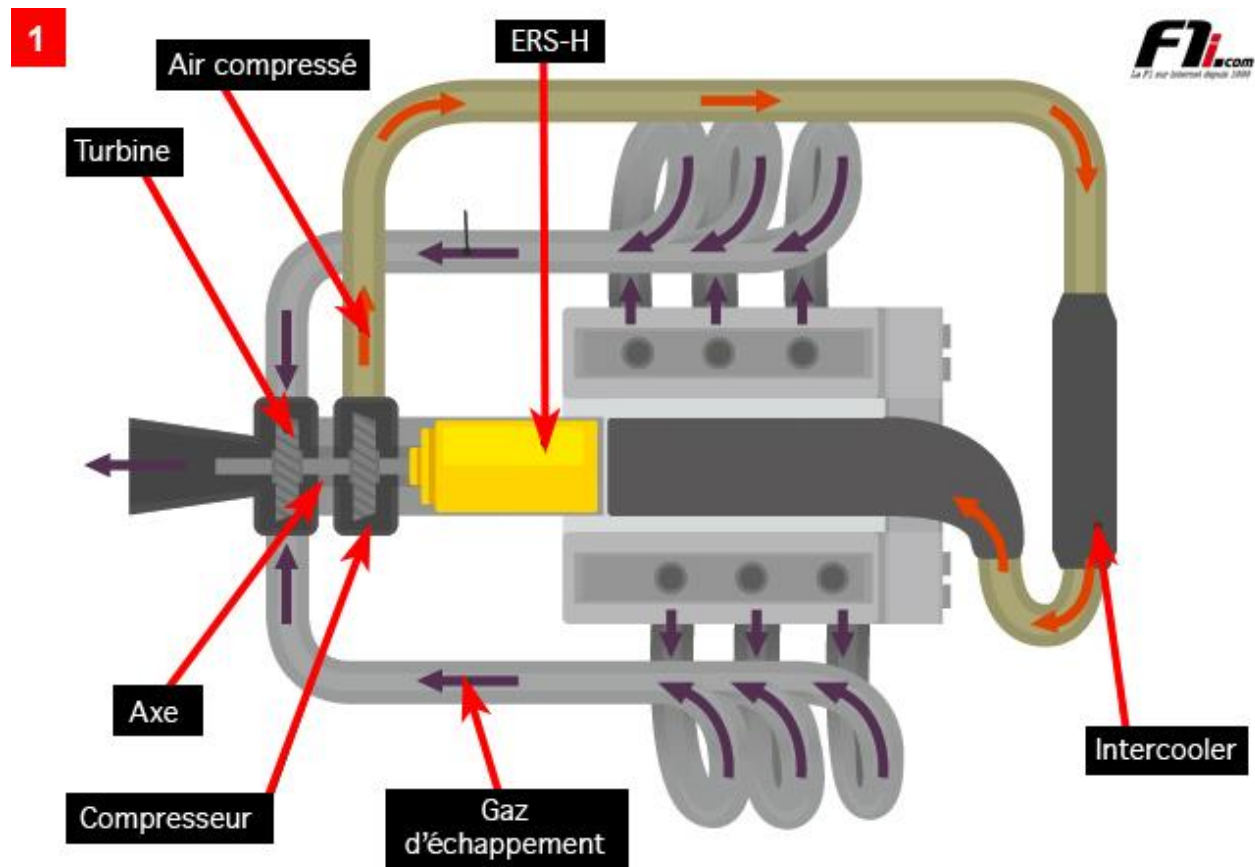
6.3.2 L'Astuce du Moteur Mercedes

Associés à deux systèmes de récupération d'énergie, les V6 thermiques utilisés cette saison utilisent la technologie de la suralimentation, introduite par Renault en Grand Prix en 1977. Le principe du turbo est de suralimenter le moteur en air, c'est-à-dire d'augmenter la pression de l'air admis, ce qui améliore le remplissage des cylindres en mélange "air/carburant", permettant ainsi d'augmenter la puissance pour une même cylindrée.

Installation classique

En simplifiant beaucoup, un turbo se compose de trois pièces : une turbine, un compresseur et un axe, qui les relie. La turbine, placée dans le flux des gaz d'échappement sortant du moteur, est entraînée à grande vitesse. Elle est reliée par un arbre à un compresseur placé dans le conduit d'admission du moteur. Ce compresseur aspire et comprime l'air ambiant, avant de l'envoyer dans les cylindres, en passant par un échangeur air/air (échangeur) pour le refroidir (ou, plus rarement, par un échangeur air/eau, comme le font Ferrari et Mercedes).

En général, le turbo est un ensemble compact, placé à l'arrière du moteur, comme sur l'illustration n° 1 ci-dessous. Telle est l'architecture, classique, retenue par Renault pour son V6. L'axe reliant le compresseur à la turbine est très court. Et l'ERS-H, qui récupère l'énergie déployée par la rotation de l'arbre, est placé à l'intérieur du "V" formé par les deux rangées de cylindres.



Mercedes a choisi une implantation plus originale, en décomposant, en quelque sorte, le turbo. Contrairement à ce qu'ont montré les images officielles diffusées lors de la présentation, la turbine est séparée du compresseur sur le V6 allemand.

Autrement dit, la turbine est toujours montée à l'arrière du bloc, alors que le compresseur, lui, est placé à l'avant (on peut le situer au niveau du cache rouge sur la première image, au-dessus, qui montre le moteur Mercedes monté dans la McLaren). Les deux éléments, éloignés l'un de l'autre davantage que dans une architecture conventionnelle, sont reliés par un axe beaucoup plus long, qui passe à l'intérieur du "V", comme on le voit ci-dessous (le conduit d'admission et la boîte à air ont ici été dessinés en pointillés afin de rendre bien visible l'architecture et la longueur de l'axe). *"Sur les voitures de série, souligne notre consultant technique Jacky Eeckelaert, l'arbre est le plus court possible, pour des questions de fiabilité. Mais avec une telle disposition, on pourrait tout à fait loger le générateur de l'ERS-H entre la turbine et le compresseur."*

Innovation chez Mercedes

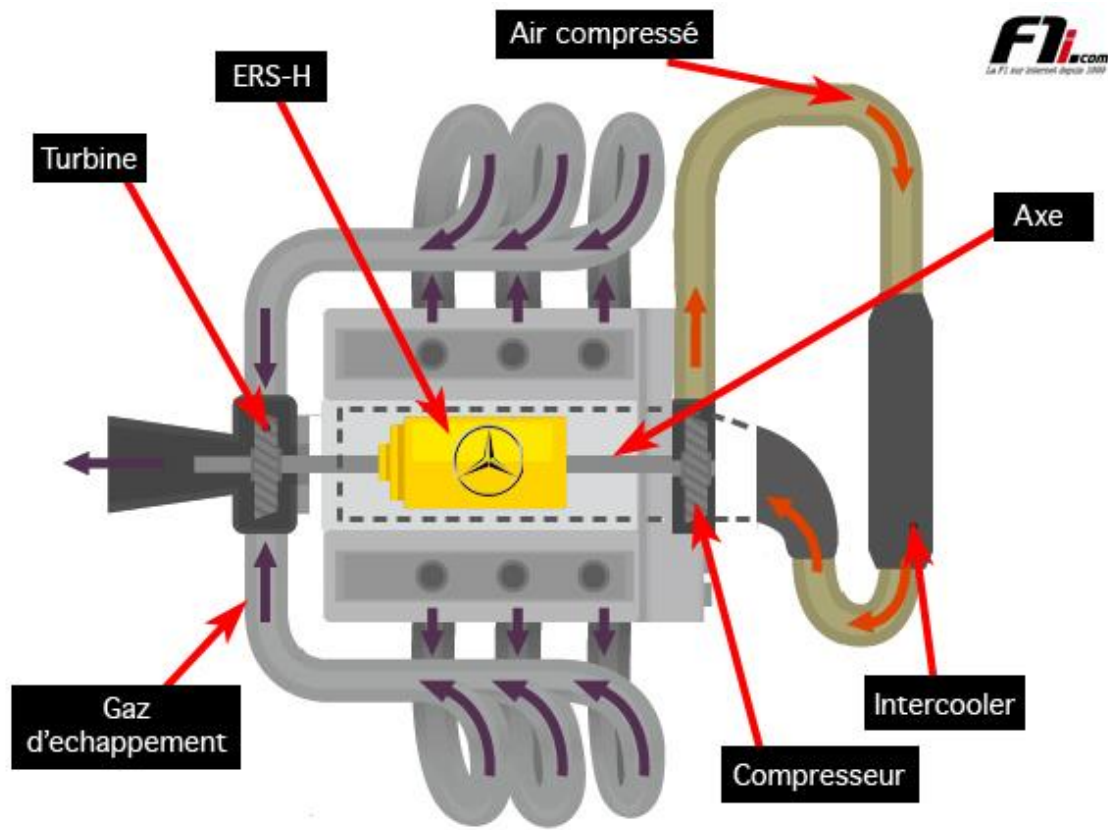
Cette architecture, inhabituelle, présente deux avantages. Le premier est une meilleure gestion du refroidissement, puisque le compresseur en aluminium et les conduits sont montés à l'avant du V6, loin des 900 °C de la turbine et des pots d'échappements brûlants. L'échangeur peut dès lors être plus petit (puisque l'air comprimé a moins besoin d'être refroidi), ce qui a permis aux aérodynamiciens de dessiner des pontons plus étroits et, donc, plus efficaces.

Deuxièmement, les tuyaux qui relient le compresseur à l'échangeur sont plus courts, ce qui permet de réduire le fameux "temps de réponse" du turbo. Or abaisser le temps de réponse permet de réduire la quantité d'énergie à stocker par l'ERS afin de continuer à faire tourner la turbine lorsque la pédale d'accélérateur n'est pas enfoncée. La batterie se décharge donc moins rapidement, gain appréciable quand on se rappelle que le règlement autorise de dépenser 4 MJ par tour mais d'en récupérer seulement 2 MJ par tour.

Troisièmement, en plaçant le compresseur à l'avant du bloc, Mercedes a dégagé de l'espace à l'arrière, ce qui a l'avantage d'avancer un peu la boîte de vitesses, d'où un meilleur centre de gravité.

Le défaut éventuel de cette implantation est la longueur inhabituelle de l'axe, qui rend la pièce plus vulnérable : entraîné à 125.000 tours/minute (régime de rotation *de la turbine*, à ne pas confondre avec le régime du moteur), l'arbre doit posséder une fiabilité exemplaire, ce qui semble bien être le cas chez Mercedes (la panne d'Hamilton en Australie est due à un trou dans le joint de caoutchouc qui protège les bougies d'allumage ; cette cavité a empêché une bougie de faire feu et, donc, un cylindre de fonctionner).

2



Bien entendu, cette particularité du bloc PU106A n'explique pas à elle seule la compétitivité des monoplaces propulsées par Mercedes (Force India, Williams, McLaren) ni la suprématie des Flèches d'argent. Pas plus que son refroidissement par un échangeur air/eau, qu'il partage avec le V6 Ferrari (expliqué [ici](#)). Plus globalement, c'est la capacité des motoristes de Brixworth à faire fonctionner le bloc thermique en harmonie avec les deux systèmes de récupération de l'énergie qui explique l'excellence du propulseur étoilé.

Intégration en amont

Quant aux performances exceptionnelles de la W05, elles reposent sur l'alliance d'un bon moteur et d'un châssis efficace, et sans doute aussi sur le fait que les écuries clientes ont reçu plus tard leur propulseur et ont donc eu moins de temps pour étudier les détails de son intégration dans le châssis... Les ingénieurs de Brackley ont travaillé main dans la main, et très en amont, avec leurs collègues motoristes de Brixworth, installés à une quarantaine de kilomètres de l'usine.

6.4 LE MOTEUR RENAULT 2015

6.4.1 Le RS15

INSTALLATION CLASSIQUE

Sur son V6, Renault est resté fidèle à une architecture classique : le compresseur y est accolé à la turbine. En simplifiant, un turbo se compose de trois éléments : une turbine, un compresseur et un axe qui les relie. La turbine, placée dans le flux de gaz s'échappant du moteur, est entraînée à haute vitesse. Elle est reliée par un arbre à un compresseur situé en amont du conduit d'admission du bloc. Ce compresseur aspire et comprime l'air ambiant, qui doit être refroidi avant d'être envoyé dans les cylindres.

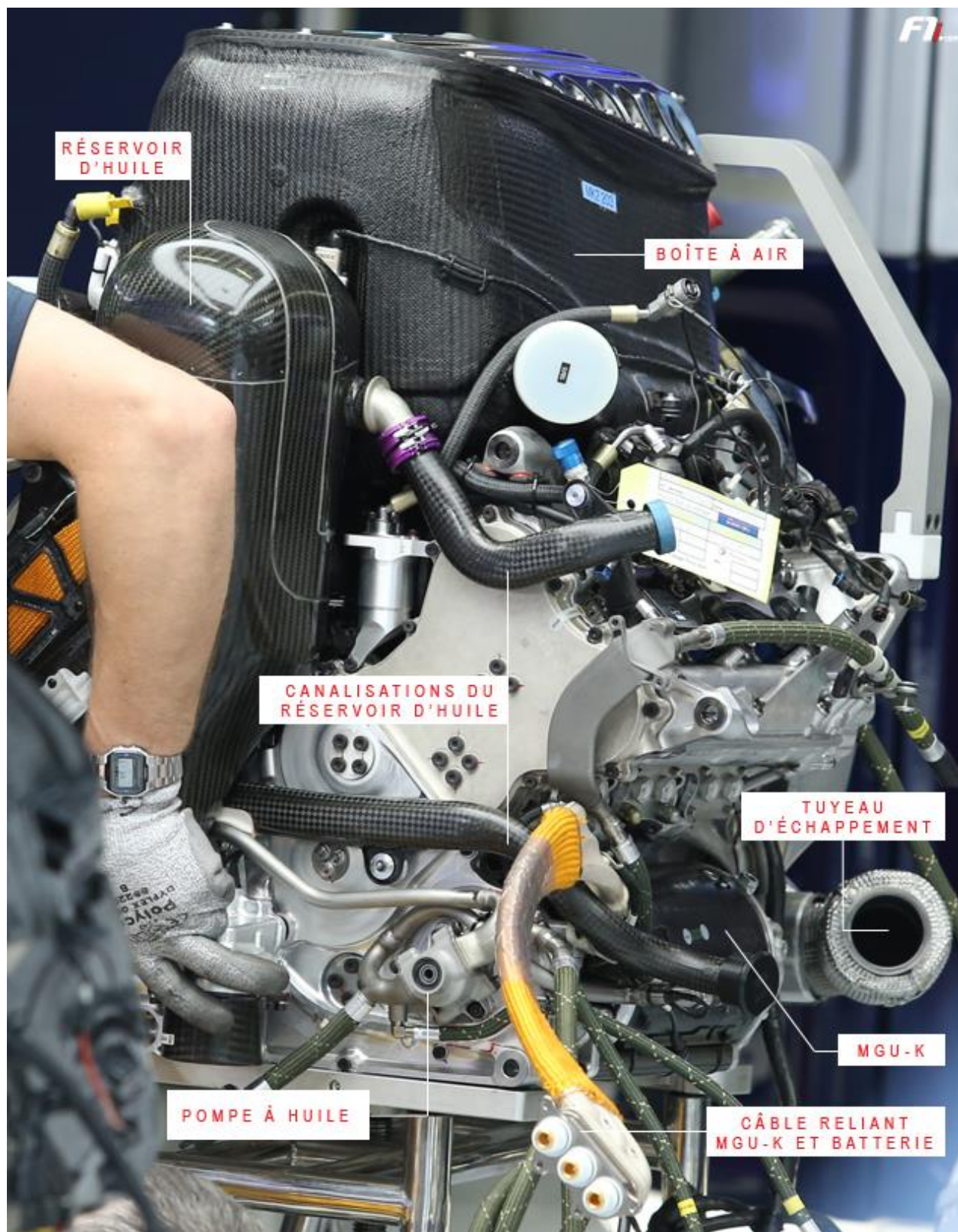
Sur le groupe propulseur français, le turbocompresseur forme un ensemble compact, situé à l'arrière du moteur. Comme on le voit sur l'image ci-dessus, la face avant est donc dépourvue de toute pièce liée à la compression, contrairement au bloc Mercedes, qui sépare le compresseur (installé à l'avant) de la turbine (située à l'arrière), comme on le voit dans la comparaison ci-dessous.

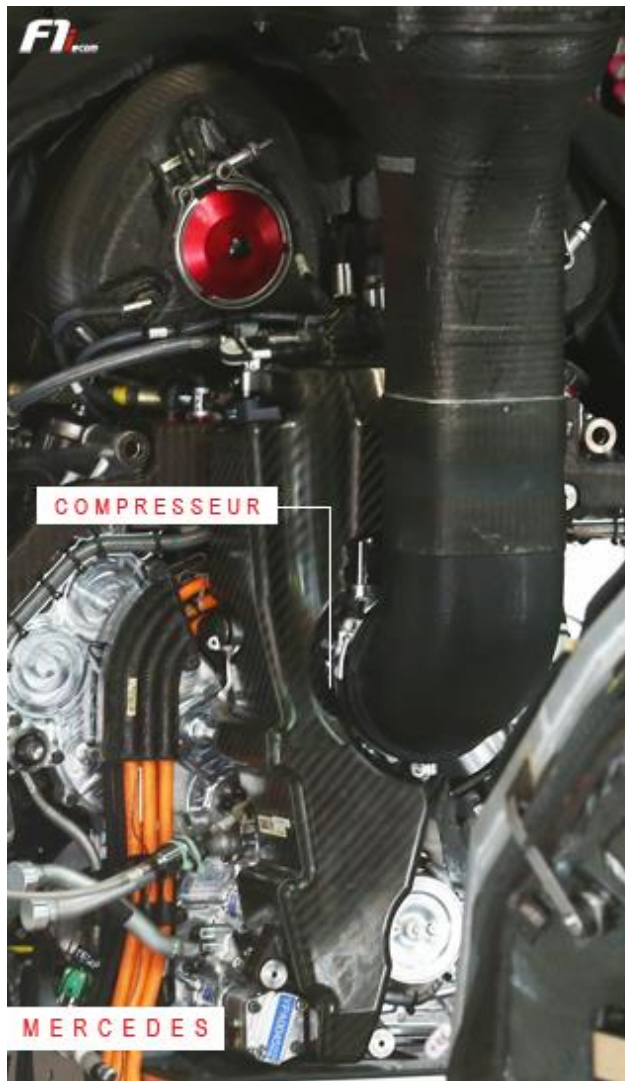
Sur la face avant du V6 français est uniquement fixé le réservoir d'huile, dont on distingue les canalisations (l'aspiration de l'huile se fait par le tube inférieur).

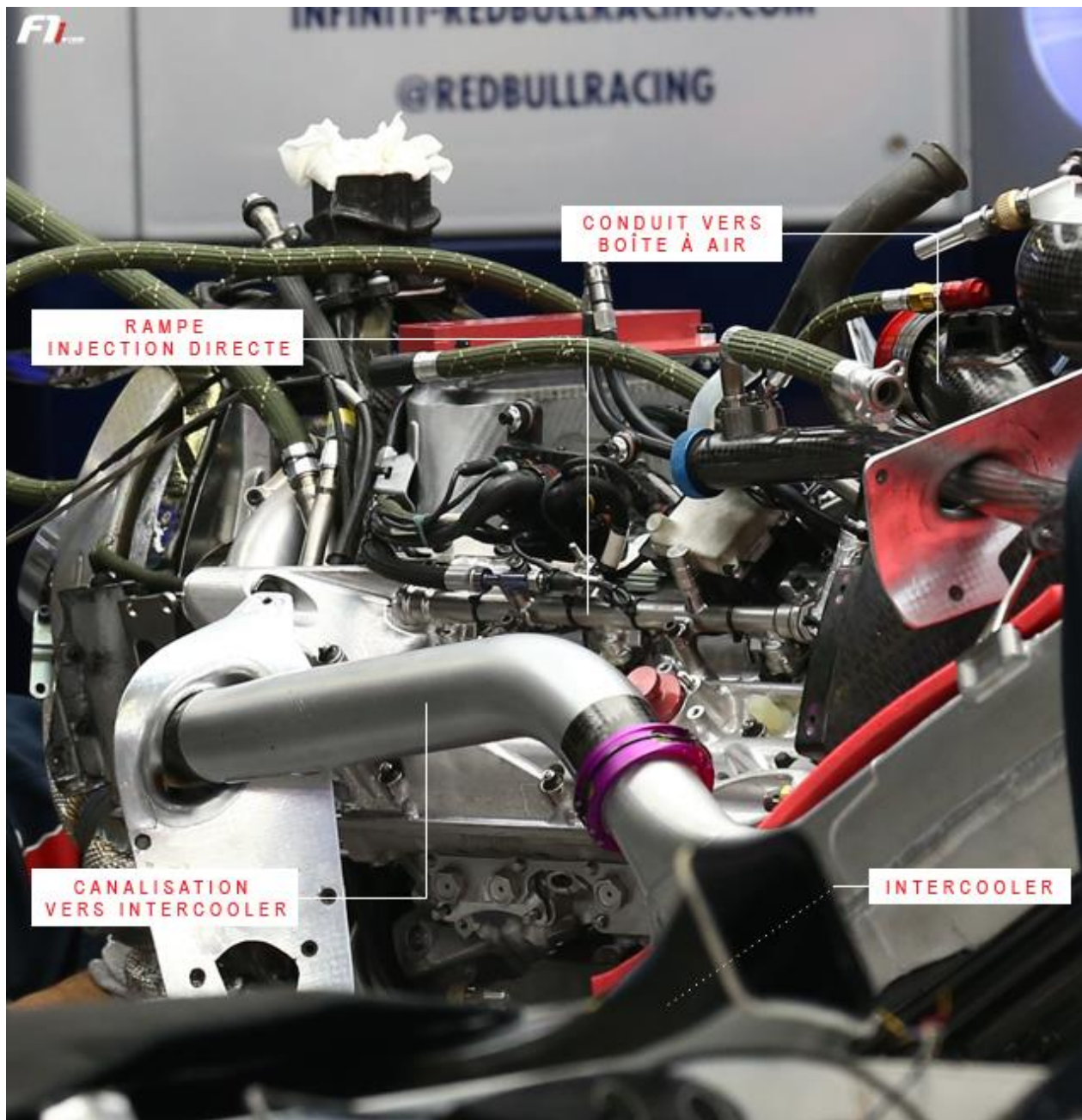
La face avant du V6 Renault est dépourvue de toute pièce liée à la compression, contrairement au bloc Mercedes, qui sépare le compresseur de la turbine

À droite de l'image, à la base du bloc moteur, se trouve le MGU-K (qui récupère l'énergie cinétique déployée au freinage). On aperçoit dans son prolongement vers l'avant ce qui doit sans doute être la pompe à huile (d'où partent et arrivent les tuyaux verts), ainsi que le câble électrique triphasé (orange) qui relie le système de récupération d'énergie à la batterie.

Invisible sur l'image, le MGU-H – qui récupère l'énergie produite par la rotation de l'arbre – est installé à l'intérieur du "V" formé par les deux rangées de cylindres.







LONGUEURS DES CONDUITS ET TEMPS DE RÉPONSE

Par rapport à l'implantation retenue par Mercedes, la position du compresseur à l'arrière du bloc entraîne des conduits plus longs.

D'abord, parce que l'air entré par la boîte à l'air met un certain temps à atteindre le compresseur, puisque celui-ci est situé derrière le V6.

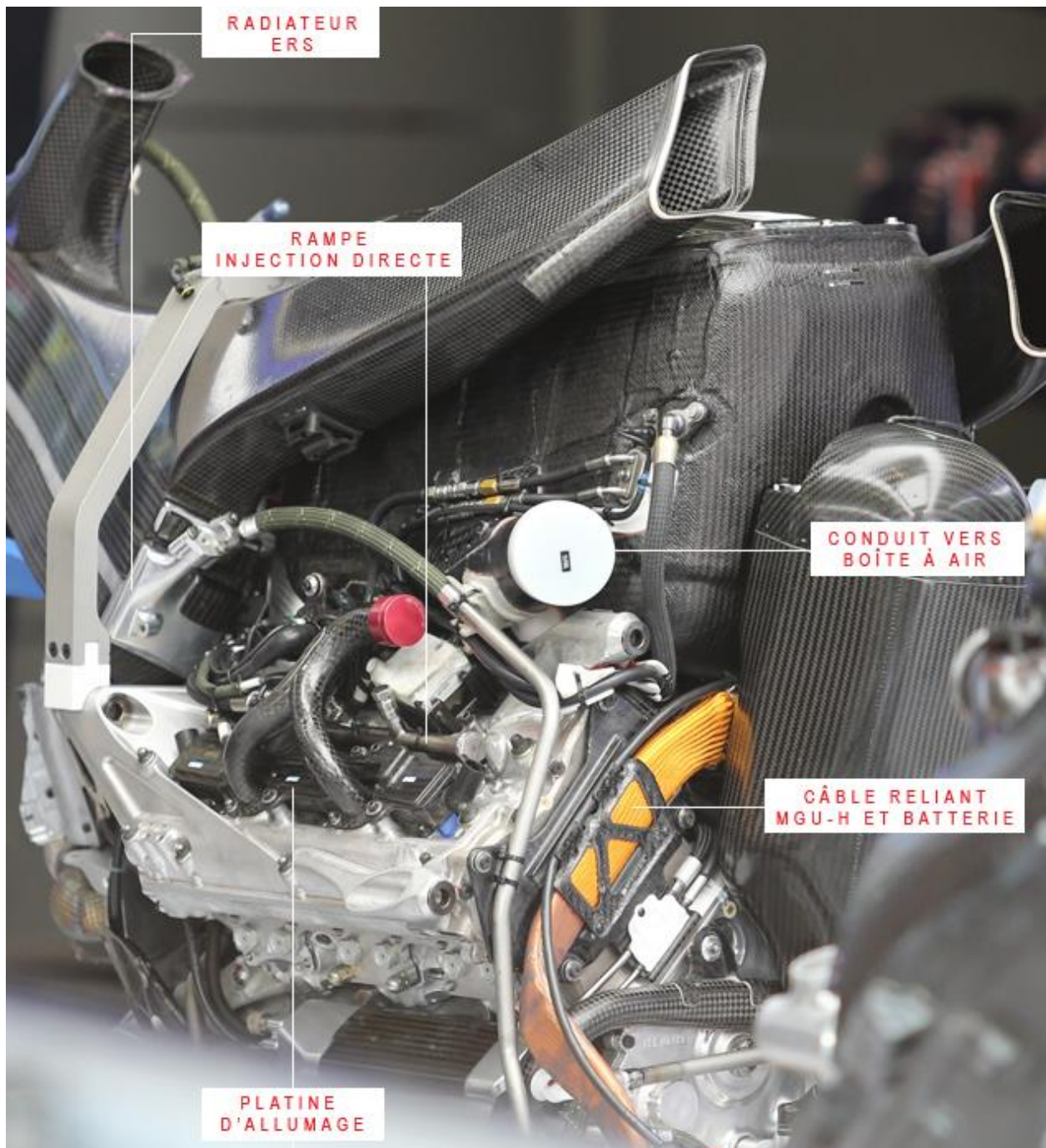
Ensuite, parce que le chemin que doit parcourir l'air comprimé pour atteindre l'échangeur est plus long que sur le PU106B tel qu'il est installé dans la Mercedes W06. Comme on le voit sur

l'image ci-dessus, le gros tube argenté (avec une bague violette) qui conduit l'air comprimé vers l'échangeur est relativement long. En théorie, sur le moteur Renault, il faut donc davantage de puissance pour faire circuler l'air comprimé. Le temps de réponse serait aussi plus important.

Red Bull a divisé son échangeur en deux : un élément dans chaque ponton. L'air refroidi par cet échangeur thermique est ensuite guidé par un tube vers la boîte à air (identifié ci-dessus), qui fonctionne sous pression, puis vers la chambre d'admission.

Chez Mercedes et Ferrari, l'échangeur unique est installé dans la monocoque sur la Flèche d'argent et à l'intérieur du V6 sur la monoplace italienne, ce qui permet de dégager les pontons et de réduire le blocage du flux d'air.

On reconnaît enfin, bien visible, la rampe d'injection directe à haute pression.



INJECTION DIRECTE

Sur l'image ci-dessus, on retrouve la rampe d'injection directe. Les systèmes d'injection "common rail" utilisent en général des injecteurs piézoélectriques, qui commandent très précisément la quantité et le timing de l'injection de carburant dans chaque cylindre.

En dessous, on aperçoit la rampe d'allumage, qui contient trois bobines (une bobine par cylindre). La culasse est refroidie par un liquide hydraulique canalisé par le tuyau en carbone dont l'embout est recouvert d'un capuchon rouge.

En haut du bloc, on remarque la boîte à air, ainsi qu'un conduit recouvert d'un capuchon blanc, vraisemblablement destiné à convoyer l'air comprimé puis refroidi vers la chambre d'admission. Un conduit identique se retrouve au même niveau de l'autre côté du bloc, étant donné que les échangeurs sont répartis dans les deux pontons de la RB11.

Le câble orange est probablement le câble électrique triphasé qui relie le MGU-H (situé au milieu du V du moteur) à la batterie.

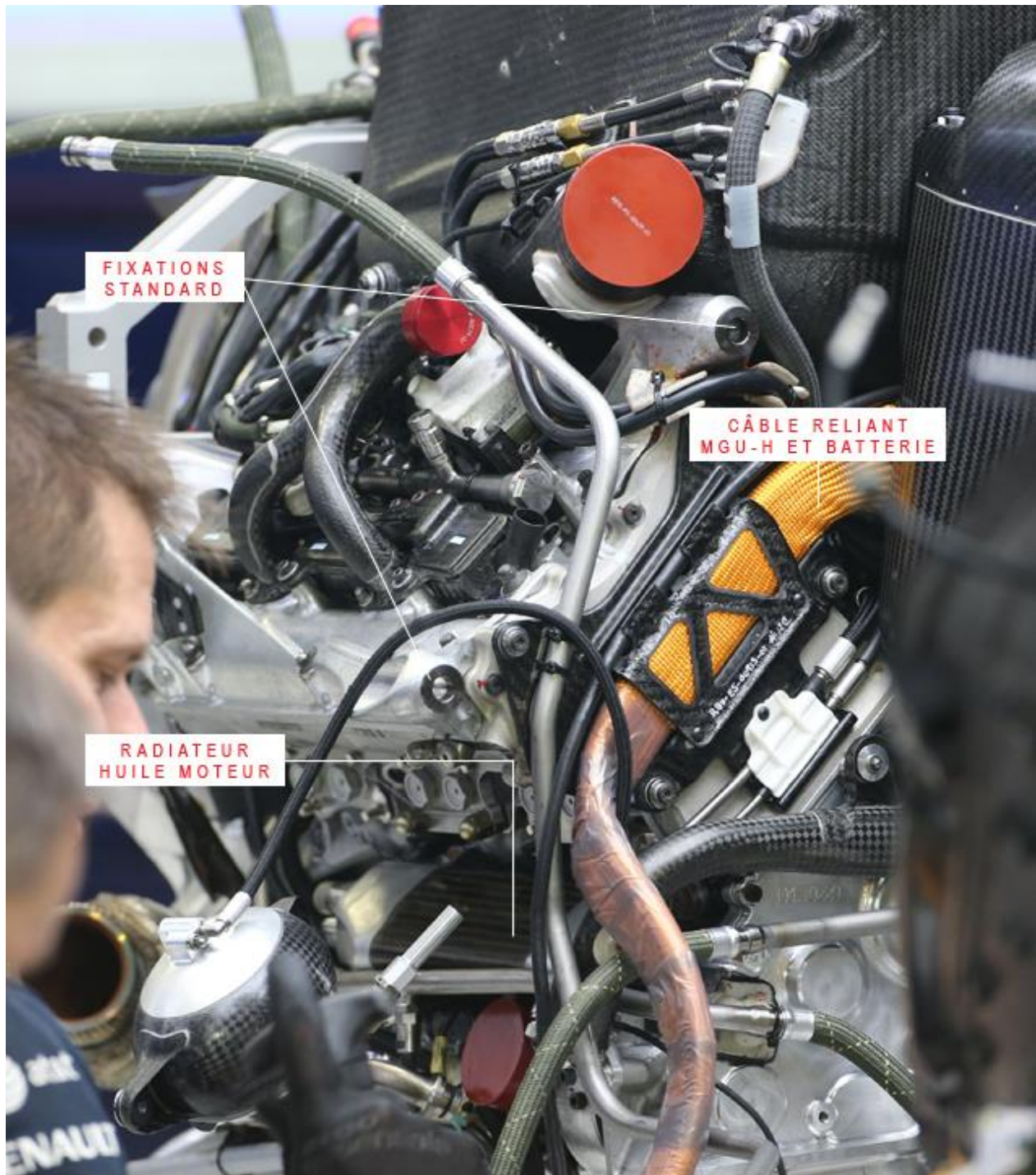


INJECTION DIRECTE

Sur l'image ci-dessus, on discerne le conduit alimentant le moteur en air frais et comprimé, évoqué à la page précédente.

Accolé à la turbine, le compresseur se trouve dans une zone extrêmement chaude : 1000°C. Or un moteur tolère mal un air supérieur à 50°C. Il faut dès lors refroidir davantage l'air que sur le V6 Mercedes (où compresseur et turbine sont très espacés), au moyen d'un imposant échangeur, ce qui pénalise l'aérodynamisme... du moins sur le papier.

En effet, une architecture ne détermine pas à elle seule la compétitivité d'un moteur. Un dessin, aussi astucieux soit-il, doit être parfaitement mis en œuvre – y compris au niveau électronique – pour apporter les avantages escomptés. Ainsi les mêmes choix d'architecture peuvent-ils être des réussites ou des ratages : Mercedes et Honda ont décidé de séparer le compresseur de la turbine. Dans un cas, la solution marche, dans l'autre pas...



ORANGE ÉLECTRIQUE

À la base de la boîte à air, on discerne deux tuyaux de haute pression hydraulique qui actionnent peut-être les papillons de gaz, ainsi que les fixations standard imposées par la FIA.

On le sait, le système de récupération d'énergie rassemble cinq éléments : le MGU-H, le MGU-K, la batterie, deux boîtiers électroniques et deux câbles.

La batterie stocke l'énergie accumulée par les deux systèmes de récupération d'énergie, MGU-K et MGU-H. Étant donné que la batterie stocke l'électricité en courant continu et que les deux générateurs (MGU-H et -K) utilisent un courant alternatif triphasé, une conversion électrique doit être opérée entre les deux systèmes : c'est le rôle du boîtier électronique de contrôle ("control electronics" – CE – selon la terminologie de la FIA).

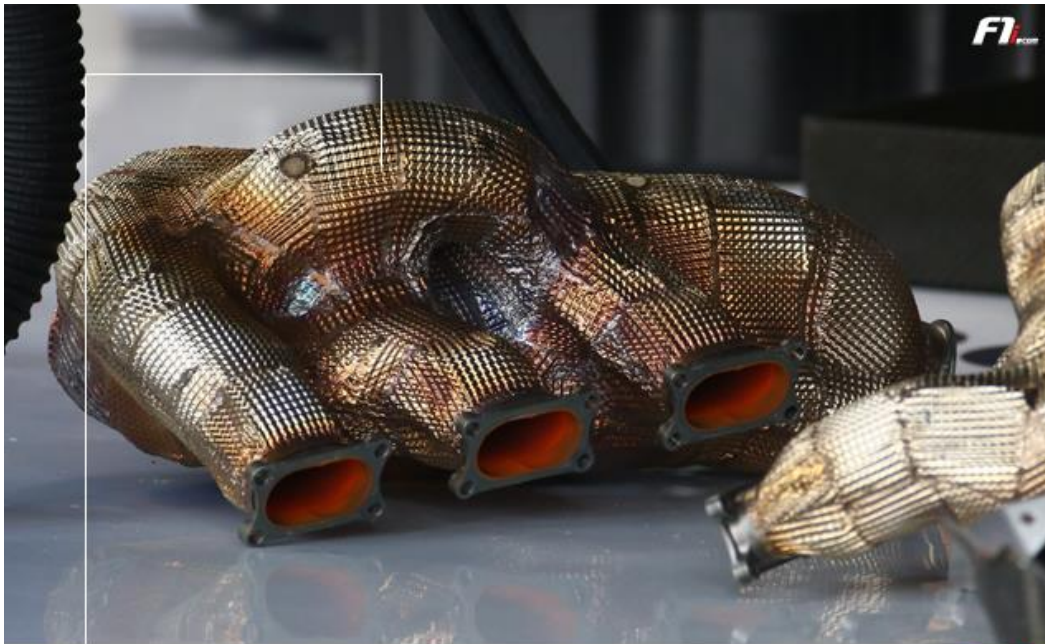
Quand il récupère de l'énergie, le générateur électrique envoie, via trois câbles haute tension, un courant alternatif vers l'ensemble boîtier électronique-batterie. Il est possible que ce soient ces câbles orange que l'on distingue sur l'image page précédente.

TUBULURES CONVENTIONNELLES

Dès 2014, Renault a adopté des tubulures conventionnelles pour évacuer les gaz échappements et les mener jusqu'à la turbine (contrairement à Mercedes, qui avait privilégié un collecteur unique, avant d'opter pour les tubulures classiques). Dans ce dessin, chaque cylindre possède son propre tuyau, qui fusionne avec les deux autres tubes au niveau du collecteur. Sur l'image ci-dessus, on voit clairement les trois ouvertures correspondant à une rangée de cylindres du V6.

La longueur et le diamètre de la tuyauterie, l'angle des coudes du collecteur, etc. déterminent la bonne respiration du moteur. Le diamètre d'un même tube peut ainsi varier afin de créer des ondes de choc qui résonnent en retour et améliorent la compression. En tenant compte de la dynamique des fluides, des problèmes vibratoires de la colonne gazeuse, les ingénieurs aboutissent à des tuyauteries enchevêtrées, au tracé très complexe, optimisées pour l'efficacité du turbocompresseur.

On remarquera qu'en raison de la minceur des feuilles métalliques utilisées pour fabriquer les tubulures (qui provoque une déperdition de chaleur des gaz), tous les motoristes – Renault y compris – emballent les tuyaux avec une sorte de couverture isolante (comme sur l'image page suivante), afin de conserver la chaleur dans les tubulures et permettre aux gaz de bien se dilater.



7. Sous le Capot de Toutes les F1 2015

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]



MERCEDES : LA LOI DE L'ÉVOLUTION

La Formule 1 ne s'arrête jamais. Au moment de concevoir leur monoplace 2015, les écuries et les motoristes ont tiré les leçons de leur première saison avec le propulseur hybride.

Si le règlement technique n'a guère évolué, le développement des V6 est permis (contrairement à l'époque des V8 complètement gelés), alors que les ingénieurs châssis ont pu prendre davantage de risques pour améliorer les performances – y compris l'écurie Mercedes, pourtant largement dominatrice l'an passé.

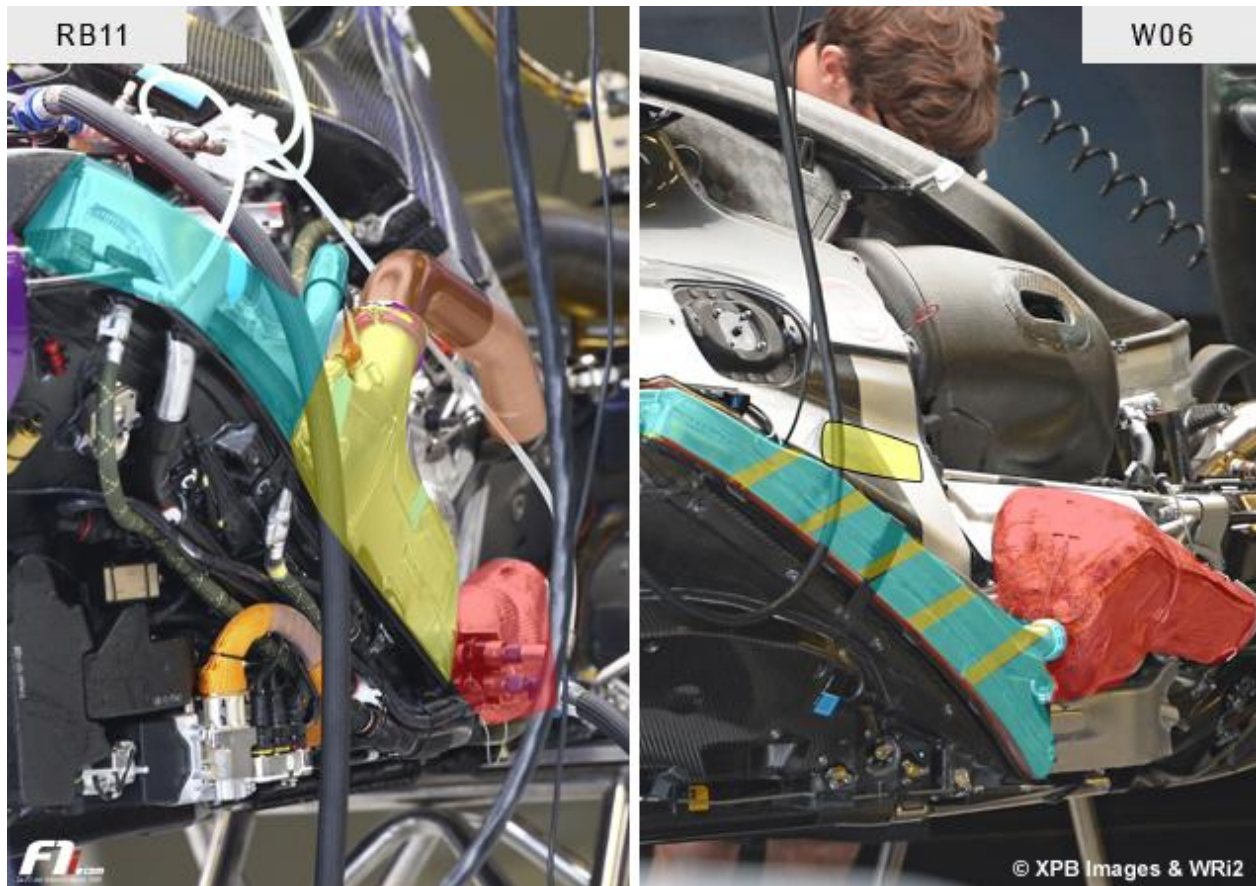
Charles Darwin – que l'on ne peut soupçonner d'ignorance en matière d'évolution – ne disait-il pas : *"Ce n'est pas le plus fort de l'espèce qui survit, ni le plus intelligent. C'est celui qui sait le mieux s'adapter au changement"* ?



Comme on le voit sur en comparant les deux images ci-dessus, Mercedes a préféré installer sur la version 2015 de son V6 des tubulures d'échappement traditionnelles plutôt que le collecteur unique vu l'an passé sur la W05 (comparez les échappements en rouge), pour des raisons expliquées [ici](#).

Les parois isolantes (flèches bleu foncé) ont été conservées, alors que la forme des radiateurs, soulignés ci-dessus en bleu, a peu évolué. Ce qui n'est pas le cas de la boîte à air – chargée de l'admission d'air à destination du moteur – sensiblement plus volumineuse (examinez les parties en vert). Sans doute pour abriter le système de trompettes d'admission à longueur variable, autorisé cette saison.

On relèvera la compacité de l'ensemble et le carénage de la plupart des composants électroniques, qui suggère une intégration optimale.

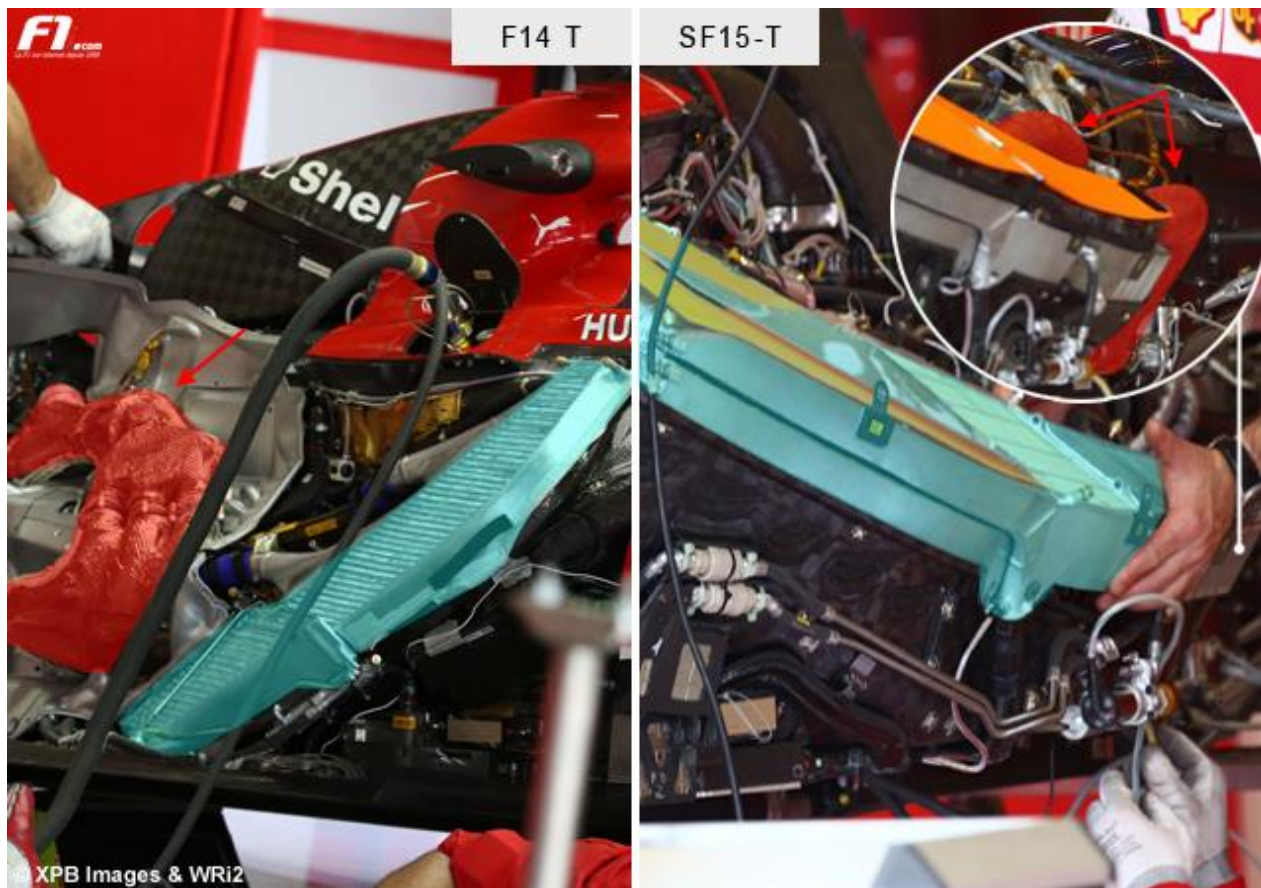


MERCEDES-RED BULL : QUESTION D'ÉCHANGEUR

L'échangeur de la Flèche d'argent n'est pas visible sur ces images, car il est logé dans la monocoque, à l'avant du V6 thermique, près du compresseur (grosso modo dans la zone signalée en jaune). Cette installation permet de réduire la longueur des conduits (limitant ainsi le "temps de réponse" du turbo) et de dégager les pontons afin d'améliorer l'aérodynamique interne.

Mercedes est la seule écurie à utiliser un échangeur air/eau (plus compact qu'un système air/air et ne devant pas être situé dans le passage du flux d'air), dont l'eau est refroidie par un radiateur situé dans le ponton gauche.

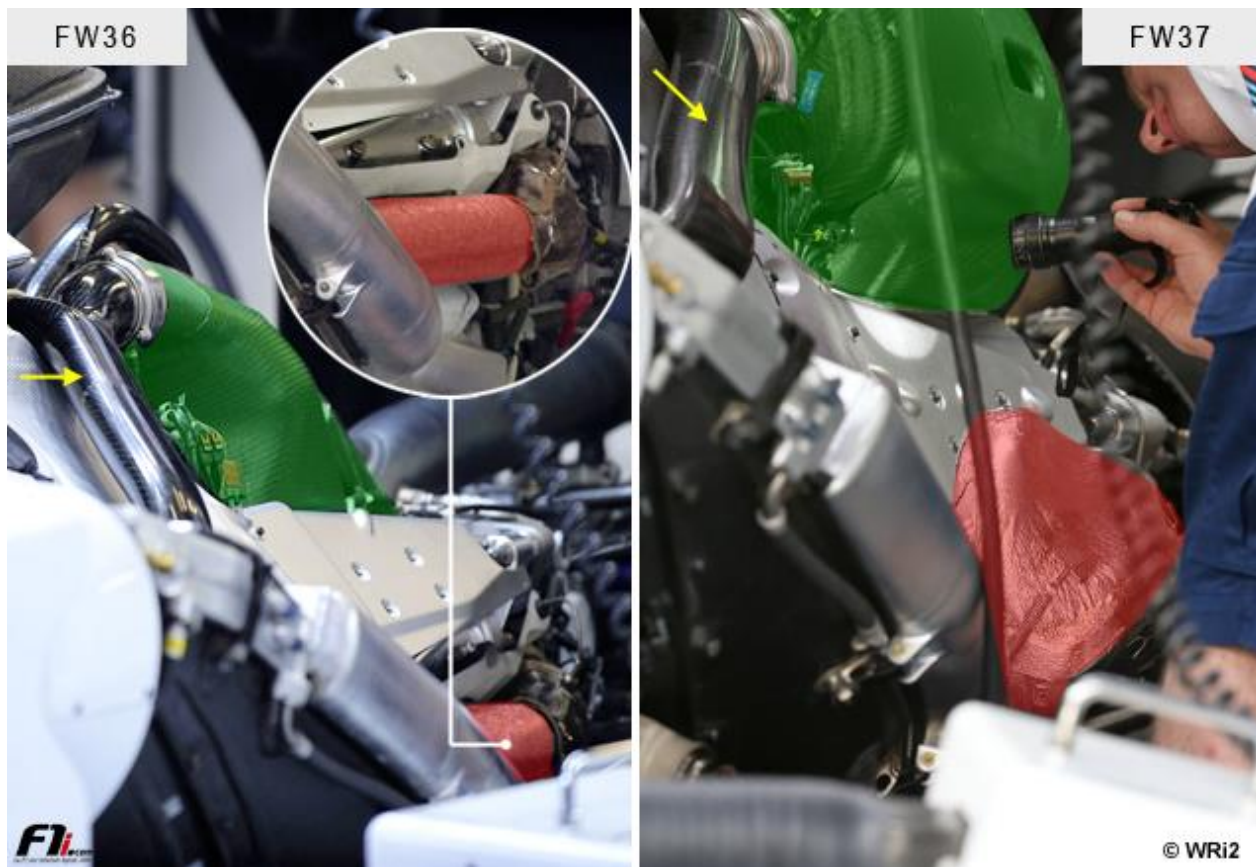
Sur la Red Bull-Renault (à gauche), en revanche, l'échangeur (en jaune) et les autres radiateurs (en bleu) sont placés côte à côte, à l'intérieur les pontons. Le conduit menant de l'échangeur à l'admission du six cylindres est relativement long (en orange), alors que les tubulures du V6 Renault sont situées plus bas que sur la Mercedes (comparez les éléments soulignés en rouge).



FERRARI : ÉCHAPPEMENTS COMPACTS

La F14 T possédait des tubulures d'échappement très longues, qui remontaient le long du bloc thermique en l'enveloppant. Sur la SF15-T, les conduits sont plus courts et plus compacts (comparez les zones en rouge). Ils restent proches du fond plat et atteignent la turbine par le bas. Celle-ci a sans doute été abaissée, alors que la soupape de décharge a été placée ailleurs.

Les radiateurs sont installés de façon plus horizontale et disposent d'un astucieux système de persiennes qui guide l'air de manière optimale, à l'entrée et à la sortie des radiateurs.

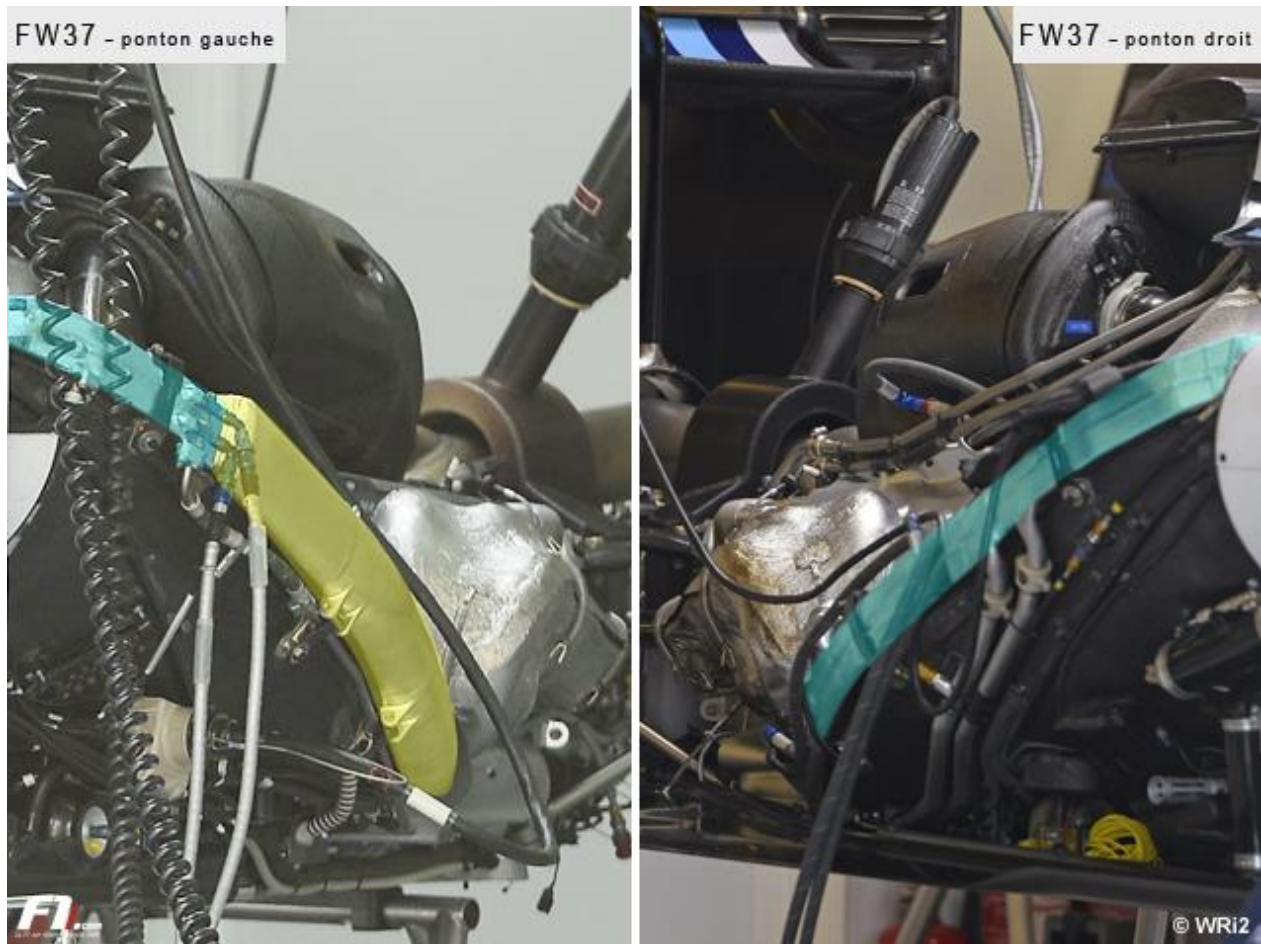


WILLIAMS : ADAPTATION AU PU106B

Propulsée par le bloc Mercedes PU106B (la version 2014 était baptisée "A"), la Williams affiche les mêmes changements que sa rivale de Brackley quant à l'installation du V6 hybride : modification de la boîte à air (en vert) et disparition du collecteur unique ("log manifold" dans le jargon) au profit de tubulures plus classiques (en rouge).

Le volume des radiateurs a été condensé, ce qui a permis d'amincir les pontons (les fortes chaleurs, semblables à celles rencontrées en Malaisie, imposent toutefois davantage d'ouïes d'aération).

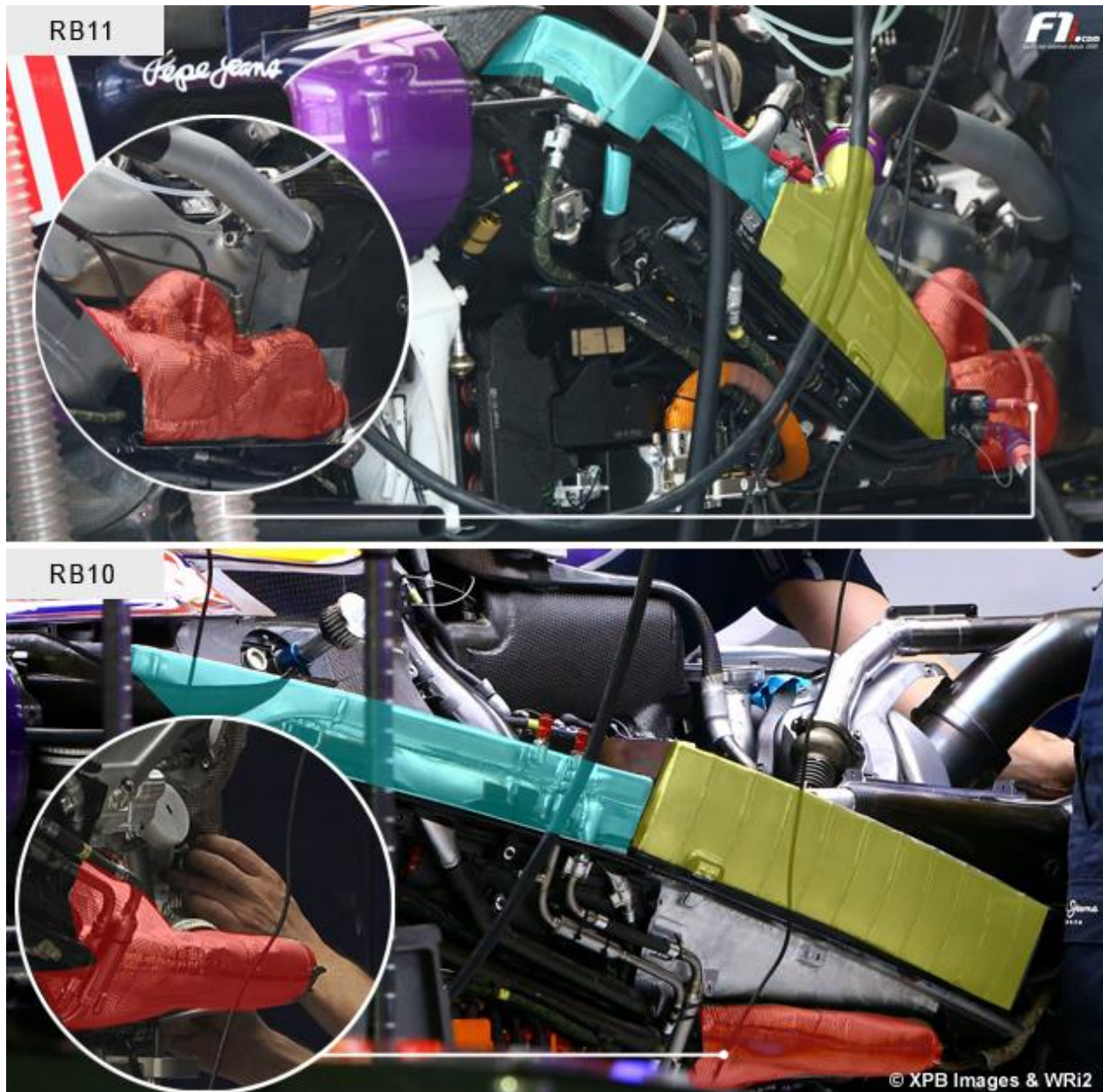
Le refroidissement de la FW37 est différent de celui de la W06, dont l'échangeur est logé dans la monocoque, comme nous allons le voir à la page suivante.



WILLIAMS : À GAUCHE TOUTE

Toutes les écuries clientes de Mercedes utilisent un échangeur air/air, situé dans un des pontons. Chez Williams, c'est le ponton gauche qui abrite l'échangeur (en jaune, à gauche) ainsi qu'un petit radiateur d'huile, alors que le ponton droit accueille un radiateur plus volumineux.

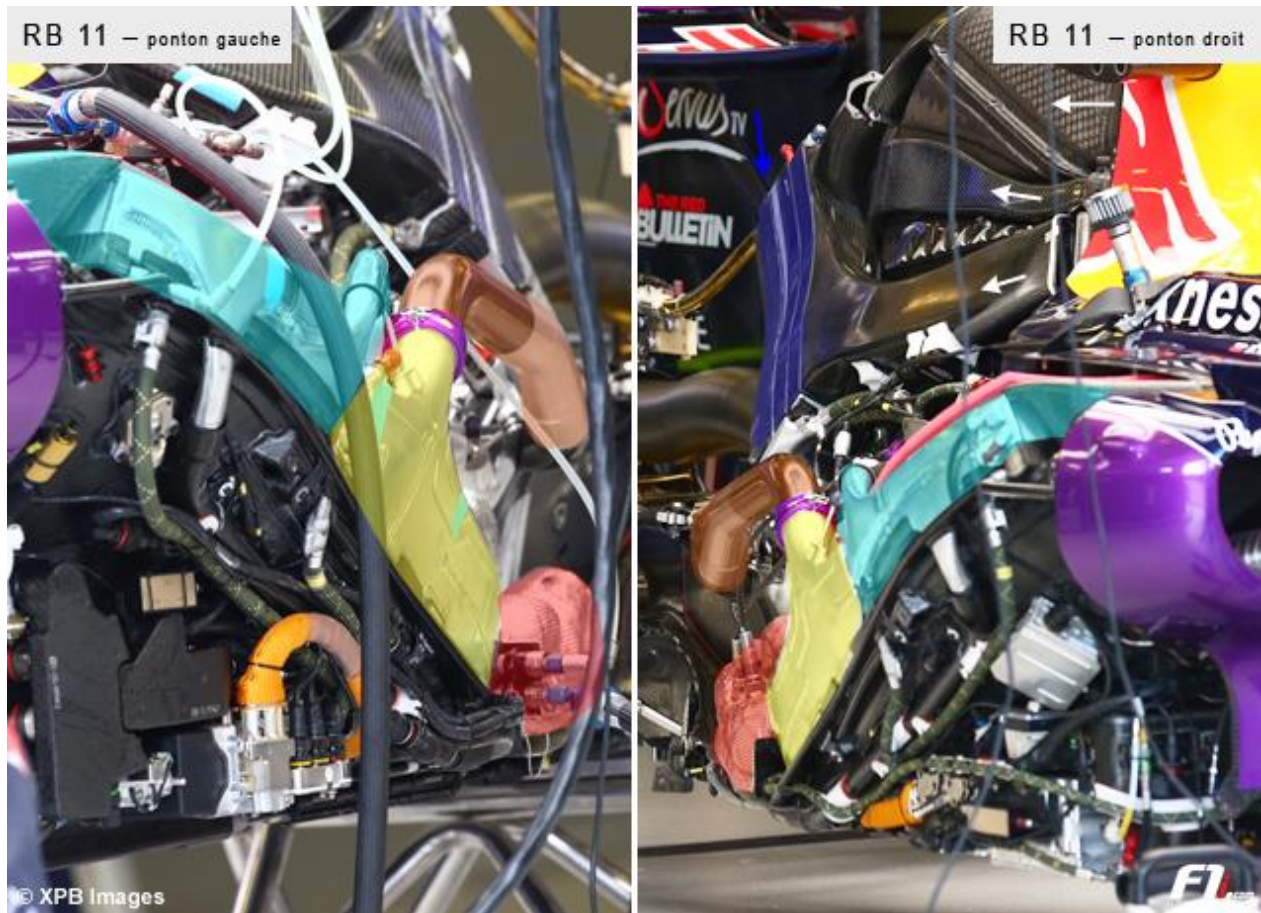
Cette disposition asymétrique entre les deux pontons suppose d'évaluer soigneusement les différents niveaux de blocage du flux d'air, à gauche et à droite.



RED BULL-RENAULT : PLUS COURT, PLUS VERTICAL

Sur la RB10 (en bas), le radiateur (en bleu) et l'échangeur (en jaune) étaient volumineux et avaient été disposés quasiment à l'horizontale, depuis le cockpit jusqu'à la boîte de vitesses. Du coup, les tubulures d'échappement (en rouge) se trouvaient sous l'échangeur, ce qui n'était pas idéal du point de vue thermique (mais permettait de diminuer la longueur du trajet de l'air comprimé vers l'échangeur).

La RB11 reprend le dessin vu sur la Toro Rosso 2014 : radiateur et échangeur ont été raccourcis et peuvent dès lors être placés plus verticalement, ce qui permet de dégager l'arrière du châssis et de ne plus loger les tubulures d'échappement sous l'échangeur mais derrière lui.

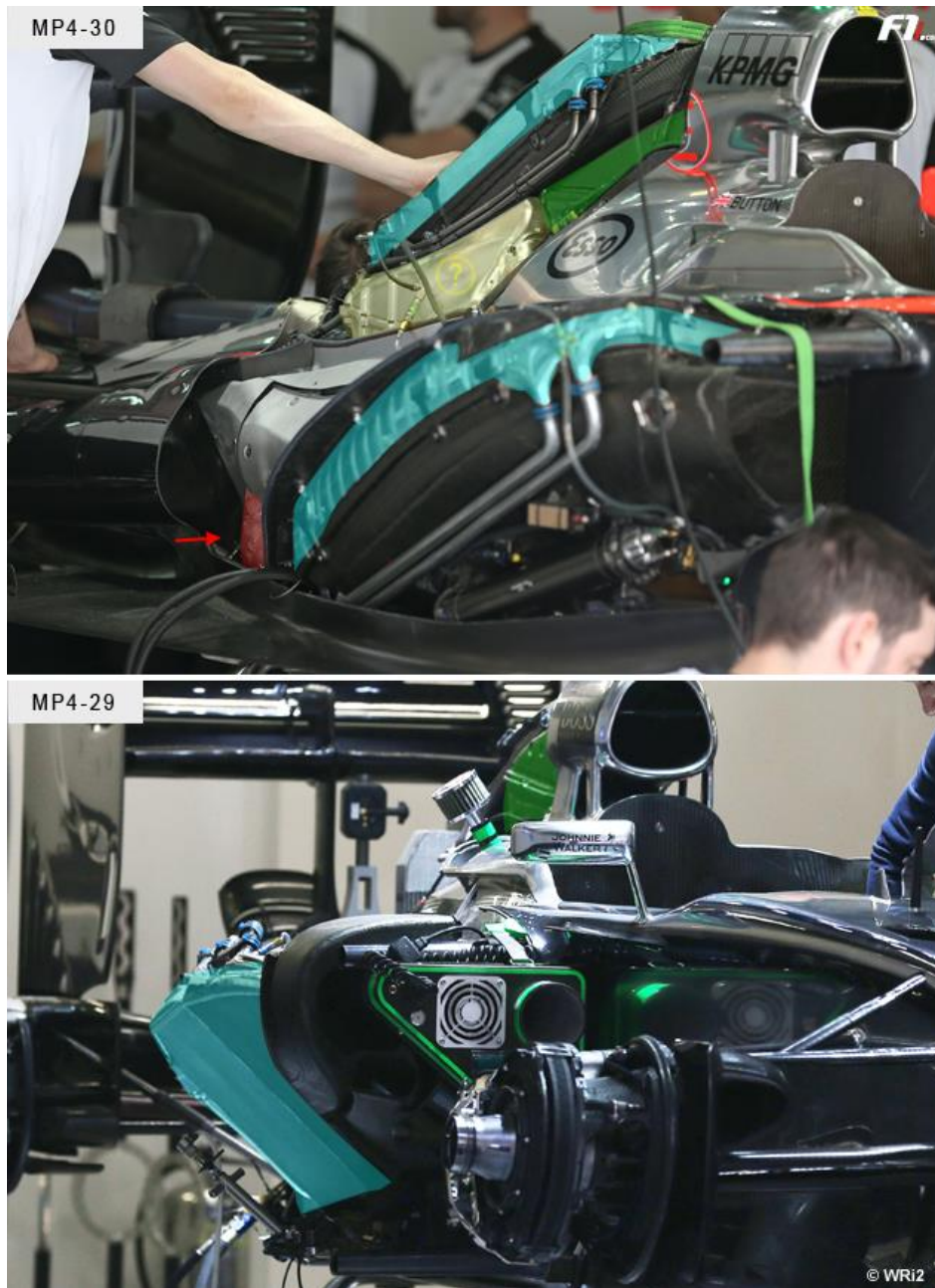


RED BULL : DE LA SYMÉTRIE AVANT TOUTE CHOSE

La symétrie entre les pontons gauche et droit est un aspect essentiel des F1, puisqu'une différence de blocage d'un des deux côtés entraînerait un déséquilibre néfaste. La taille et le rôle des radiateurs peuvent ne pas être absolument identiques (comme sur la Williams) à condition que les contraintes et les effets sur la circulation aérodynamique interne de chaque côté aient été pondérés et égalisés.

Red Bull, elle, a divisé son échangeur en deux : un élément dans chaque ponton. Comme on le voit ci-dessus, les deux flancs sont symétriques afin de minimiser tout différentiel dans la traînée ou la performance aérodynamique entre les deux côtés de la monoplace.

Enfin, pour raccourcir et avancer les radiateurs (voir page précédente), la RB11 comporte un imposant radiateur à eau monté au-dessus de la transmission (en bleu foncé, voyez la flèche), alimenté par l'un des trois conduits émanant de la prise d'air (flèches blanches).



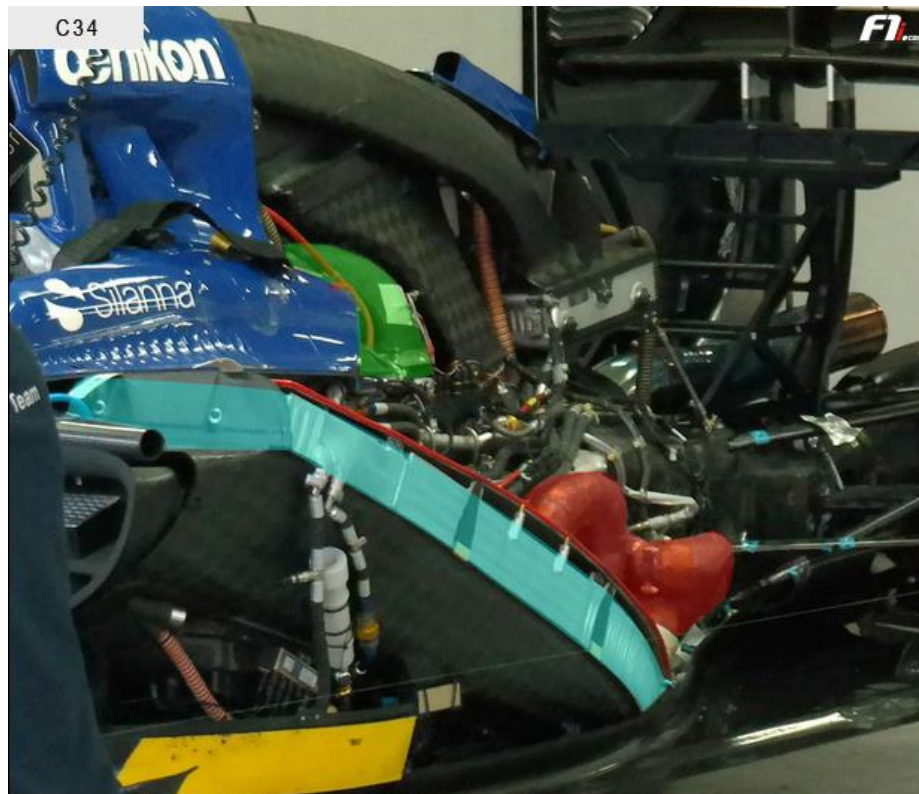
McLAREN : INNOVATIONS ET INTERROGATIONS

Alors que les radiateurs étaient placés en oblique sur la MP4-29 Mercedes, ils sont installés de manière plus conventionnelle, à l'horizontale, sur la MP4-30 propulsée par le V6 Honda.

L'originalité existe cependant sur la McLaren à travers l'emplacement d'un petit radiateur sur le conduit supérieur émanant de la prise d'air (celle-ci est divisée en deux conduits distincts : l'un pour refroidir ce radiateur destiné à refroidir l'ERS, l'autre pour alimenter en air le compresseur du V6 japonais).

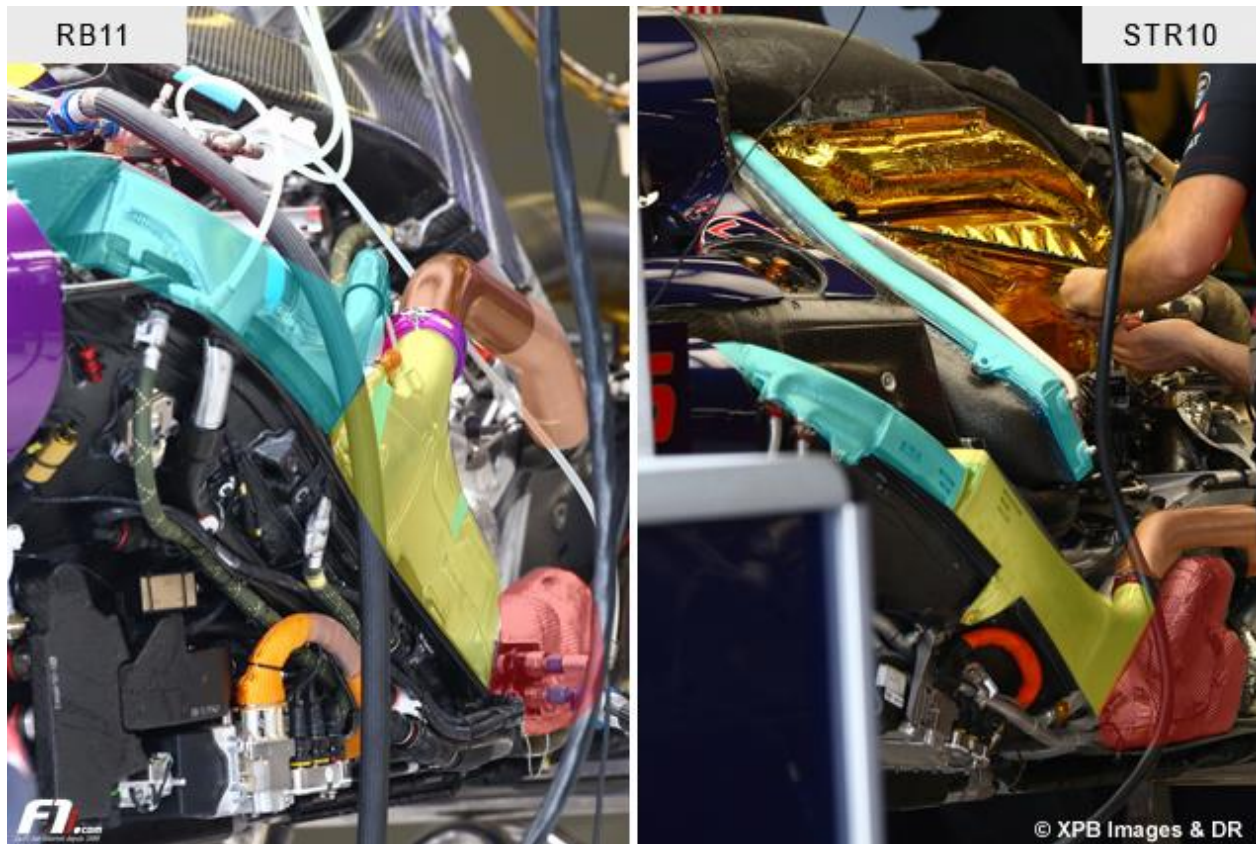
On ignore pour le moment la position exacte de l'échangeur : soit dans le ponton gauche, soit peut-être au-dessus du bloc thermique. D'autres images devraient permettre de trancher plus tard.

On aperçoit enfin un bout des tubulures d'échappement du six cylindres japonais (flèche rouge), dont la position évoque celle des V6 Renault et Ferrari (les tubulures du moteur Mercedes étant situées plus haut, voir la première image).



SAUBER : À L'HORIZONTALE

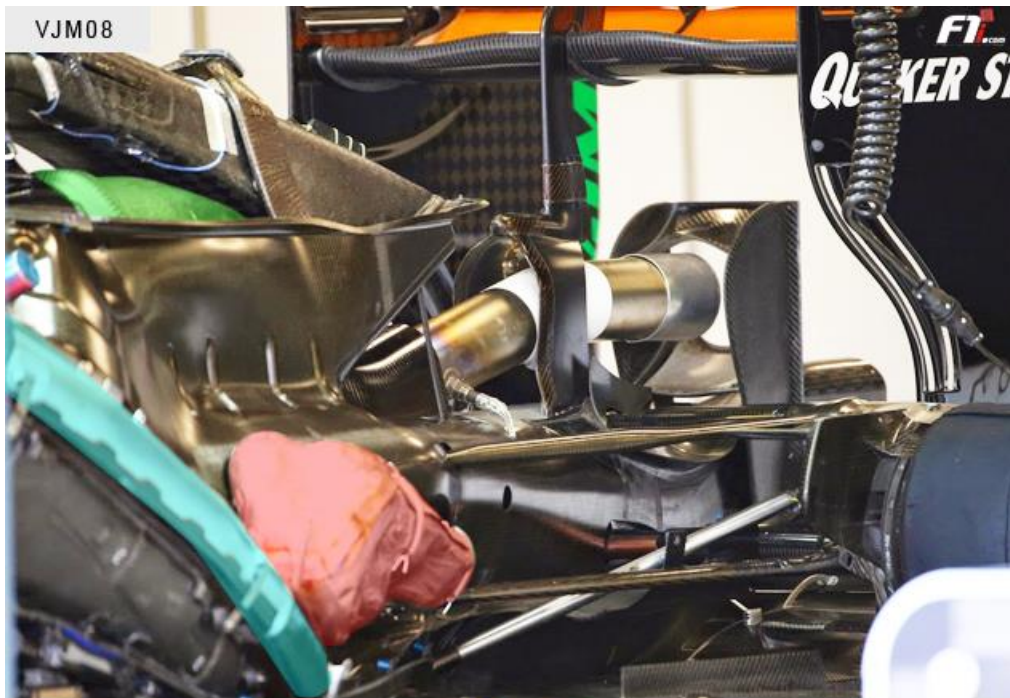
Propulsée par le moteur Ferrari 059/4, la C34 est équipée de tubulures d'échappement (en rouge) plus courtes et plus basses que sur sa devancière, comme sur la Ferrari SF15-T. Ses radiateurs adoptent également une forme (carrée) et une position (horizontale), plus classiques.



TORO ROSSO : VERSION ORIGINALE

L'installation du V6 Renault et de ses périphériques est assez similaire sur la Red Bull (à gauche) et sur la Toro Rosso (à droite) : radiateur (en bleu), échangeur (en jaune) et tubulures (en rouge) sont implantées de la même manière sur la STR10 et la RB11.

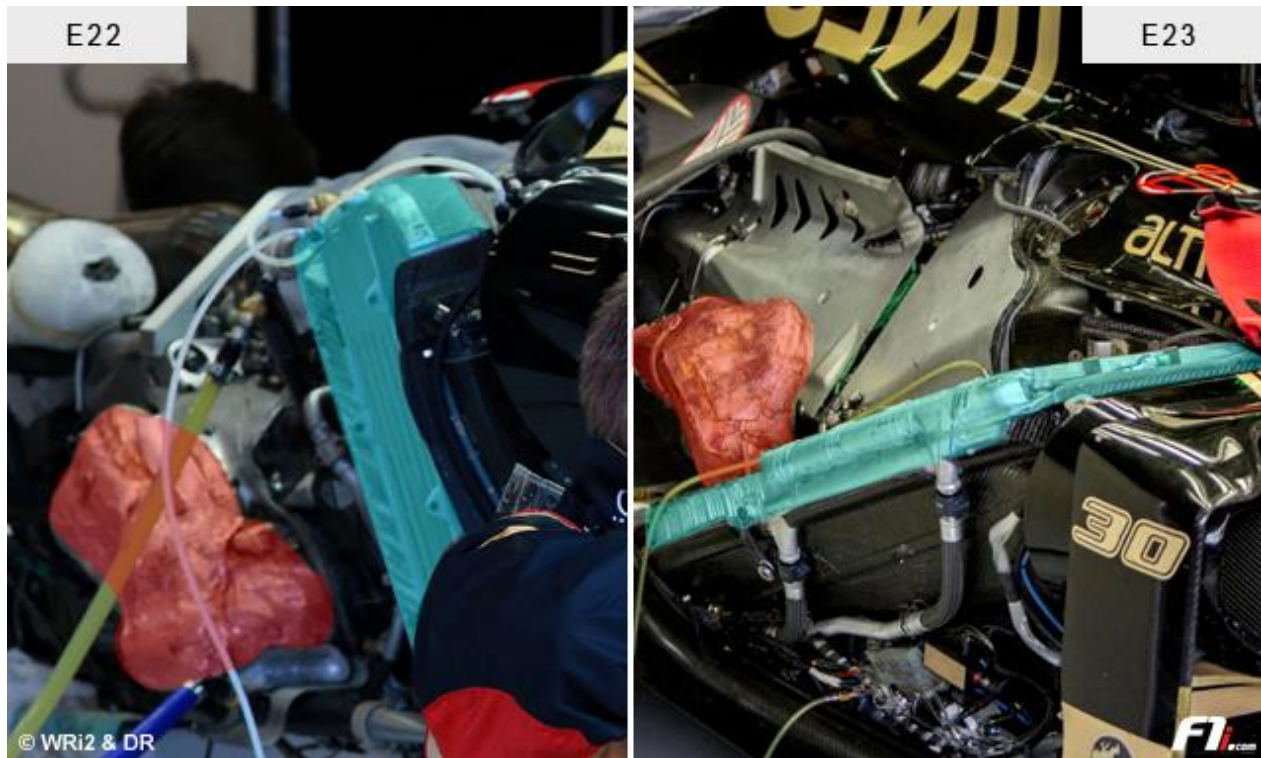
Deux différences, toutefois : la présence d'un radiateur d'huile de chaque côté de la prise d'air sur la monoplace italienne, et la hauteur du conduit menant à l'échangeur, surligné en orange (il est bas sur la Toro Rosso et en hauteur sur la Red Bull, donc loin des échappements brûlants).



FORCE INDIA : CHANGEMENT DANS LA CONTINUITÉ

La VJM08 affiche les mêmes changements que les autres bolides propulsés par le V6 Mercedes PU106B quant à l'installation du propulseur hybride : une boîte à air (en vert) plus encombrante, des tubulures "spaghetti" standard au lieu d'un collecteur unique (en rouge).

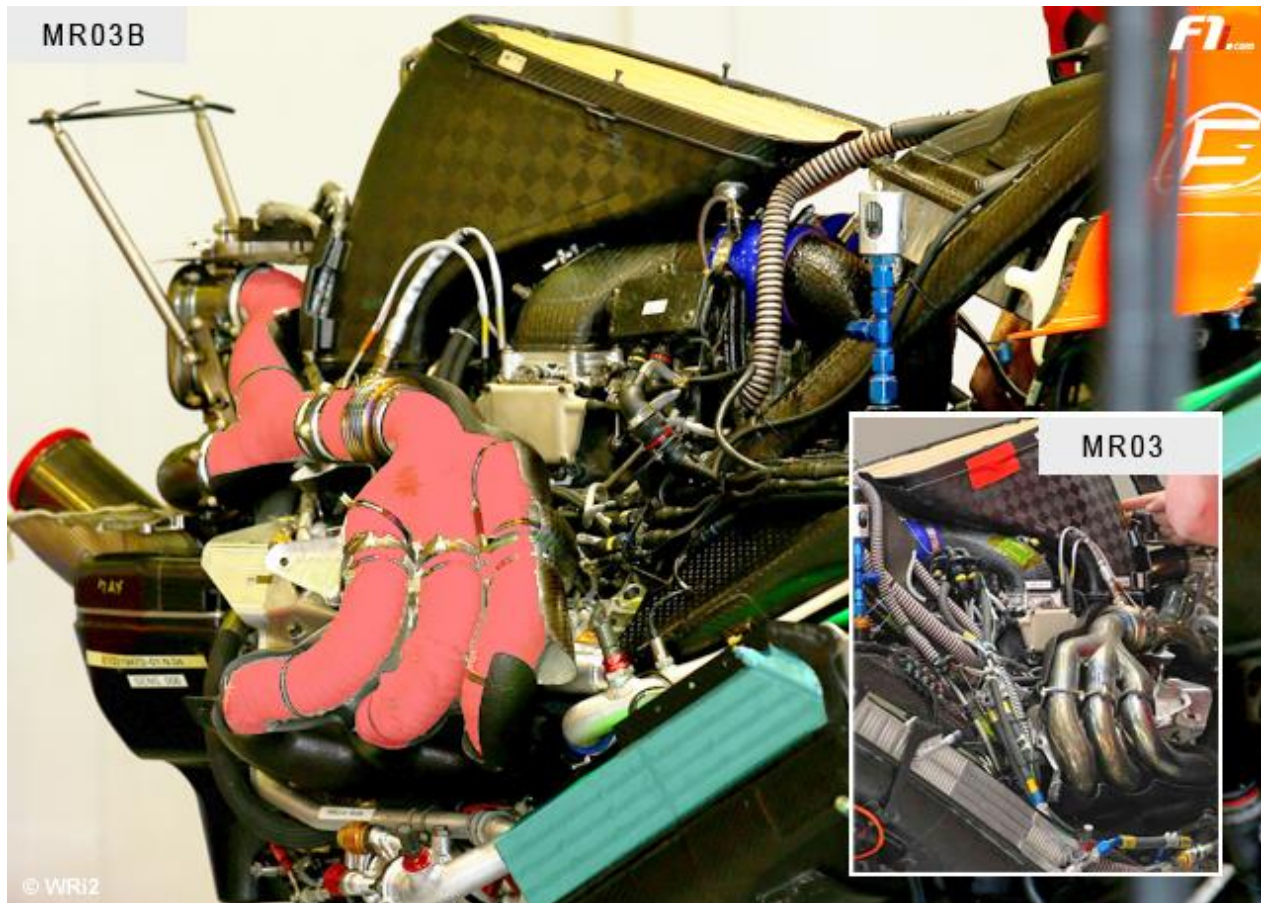
Les ingénieurs de Force India ont conservé un carénage très couvrant et disposé l'échangeur dans l'un des pontons (comme chez Williams).



LOTUS : RETOUR AU CLASSICISME

Passé du V6 Renault au six cylindres Mercedes, Lotus a revu l'implantation des radiateurs sur sa E23. Comme Sauber et McLaren, Enstone a abandonné la position verticale au profit d'une installation horizontale.

L'écurie retrouve les tubulures classiques, une nouveauté pour Mercedes cette année, qui existaient déjà sur le V6 Renault.



MANOR : COPIE CARBONE

Manor utilisant le même châssis que l'an dernier (sauf au niveau du capot avant allongé pour respecter le règlement), il n'y a aucune différence entre la MR3 et la MR3B quant à l'installation du moteur.

Toujours équipée du V6 Ferrari millésime 2014 (059/3), la monoplace britannique conserve les tubulures "grimpeuses" vues l'an passé.

8. Le Refroidissement des Moteurs Hybrides de Formule 1

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]



Outre la consommation d'essence et la fiabilité des systèmes électroniques associés au moteur, l'un des défis posés aux ingénieurs de Formule 1 cette saison est le refroidissement du groupe propulseur.

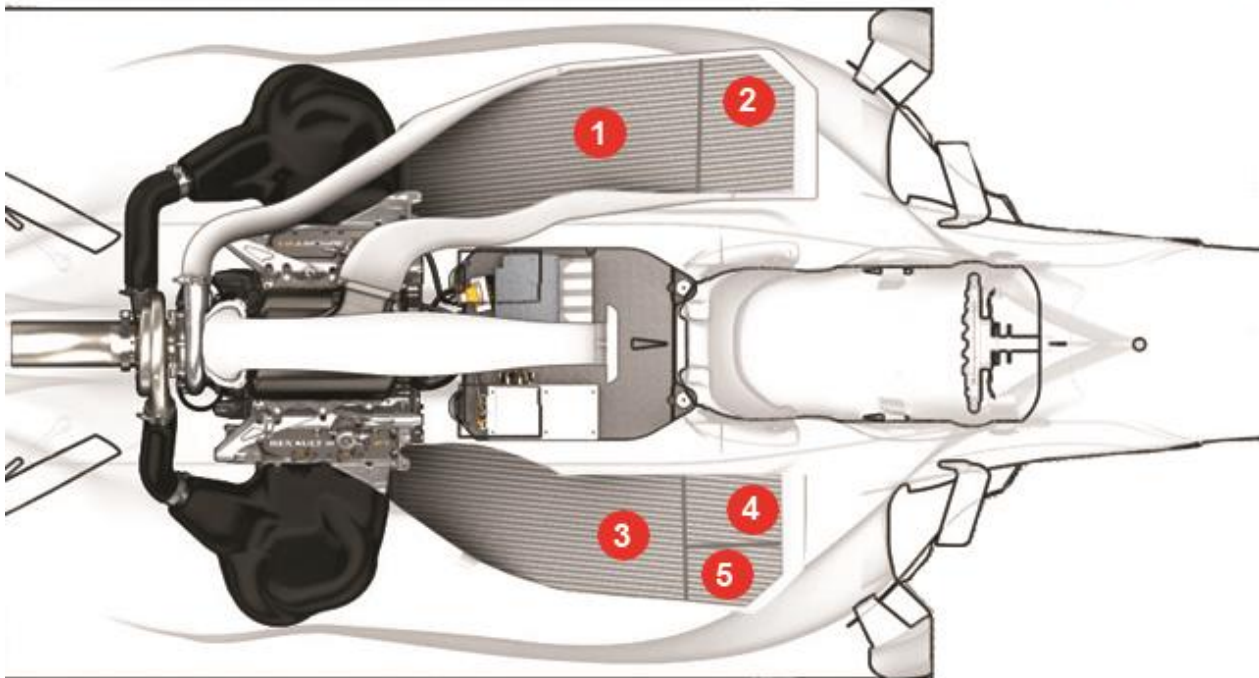
“Les besoins en refroidissement sont nettement plus élevés qu’avec les V8, confirme Nick Chester, le directeur technique de Lotus. Les systèmes sont beaucoup plus compliqués. Il faut non seulement parvenir à une solution efficace avec le liquide de refroidissement, mais aussi prévoir un bon niveau de refroidissement par air, afin que les pièces qui se trouvent sous le capot moteur ne soient pas soumises à des températures trop élevées. Nous avons réfléchi à chaque détail autour du moteur pour préserver les composants.”

En plus de l'eau, de l'huile et de l'hydraulique, il faudra en effet refroidir de nouveaux éléments : les systèmes de récupération d'énergie, les 25 kg de batteries qui y sont associées, sans oublier l'air passé par le turbo avant son admission dans le V6. De l'air plus froid, et dès lors plus dense, contient en effet davantage d'oxygène, ce qui améliore la combustion et, par conséquent, augmente la puissance. Ces différents besoins impliquent la présence de pas moins de cinq radiateurs dans les pontons : l'échangeur du turbo (n° 1 sur l'image ci-dessous), celui

pour l'ERS (2), le radiateur d'eau pour le moteur thermique (3), le radiateur d'huile pour le V6 (4) et pour la boîte (5).

Deux écoles

En général, les écuries utilisent des échangeurs (échangeurs) pour refroidir l'air chargé par le turbo : l'air chaud circule dans de petits tubes en forme d'ailettes, qui accumulent la chaleur par conduction thermique ; ces ailettes se refroidissent grâce au passage à haute vitesse de l'air externe, entré par les pontons. Il s'agit d'un échange thermique air/air.



F1.com
La F1 Air libérée depuis 1990

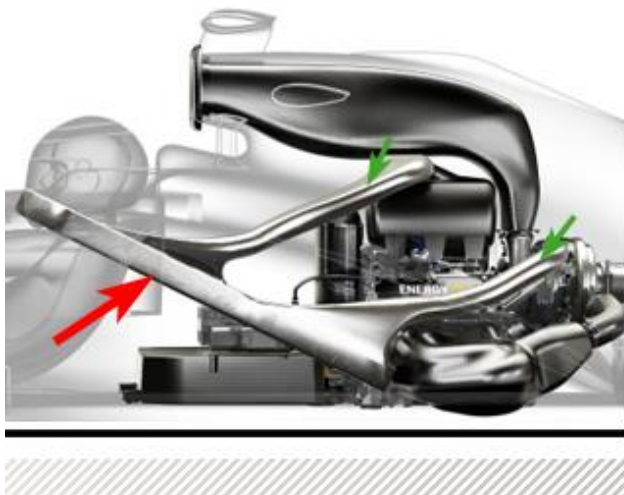
© D'après Renault F1

Ce système est efficace et léger. Mais il est relativement encombrant : les échangeurs actuels sont de trois à quatre fois plus volumineux que les radiateurs conventionnels à eau et remplissent un ponton entier (image 1 ci-dessous). Ce qui pénalise l'aérodynamique, en créant de la traînée.

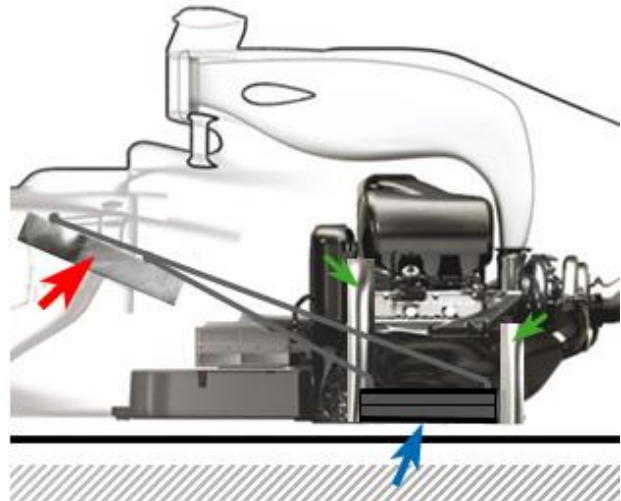
Une autre méthode consiste à utiliser l'eau comme moyen de refroidissement (image 2 ci-dessus). Un échangeur eau/air ajoute au système une "chemise d'eau" : c'est l'eau – plus exactement un liquide de refroidissement – qui refroidit l'air chargé et non plus l'air externe. L'eau absorbe la chaleur des tubes avant d'être elle-même refroidie par un radiateur. Cette méthode, plus efficace d'un point de vue thermique, nécessite un échangeur de dimensions réduites (comparez les flèches rouges) et un petit radiateur à eau (flèche bleue). Intérêt du système : l'échangeur ne doit pas être situé dans le passage de l'air externe, mais peut être

placé là où il perturbe le moins le flux aérodynamique interne puisqu'il est plus compact. En outre, les conduits véhiculant l'air chargé sont plus courts (comparez les flèches vertes).

1



2



© D'après Renault F1



Ferrari et Mercedes Vs Renault ?

Cette solution, utilisée par le motoriste Hart au début des années 1980, présente toutefois quelques désavantages : la complexité des canalisations, ainsi que le surpoids d'une pompe et d'un radiateur à eau.

Cela n'aurait pas empêché Ferrari, Marussia et Sauber d'utiliser un échangeur eau/air, tout comme Mercedes sur sa W05, selon plusieurs sources. Les deux écuries de pointes seraient parvenues à construire des installations relativement légères, au profit de l'aérodynamique interne et de la production d'appui. Car plus les pontons et les ouvertures pratiquées à l'arrière de la carrosserie sont petites, mieux l'air s'écoule. Un échangeur air/eau permet d'avoir des pontons compacts sans sacrifier le refroidissement.

Tout l'enjeu est en effet de trouver le meilleur compromis entre refroidissement et performance aérodynamique. Sur la Red Bull RB10 (dont les problèmes de surchauffe ne se sont pas résolus à Bahreïn, comme on le voit ci-dessous), Adrian Newey a manifestement favorisé le second facteur au détriment du premier. A la question de savoir si Lotus s'était laissé plus de marge d'erreur que sa rivale Red Bull, elle aussi motorisée par Renault, le directeur technique de Lotus Nick Chester a répondu : *"Je pense que oui. Dès la conception de la voiture, nous avions prévu de nous laisser un peu de marge dans ce domaine, en partie parce que nous savions que nous n'allions pas avoir beaucoup de temps avant Melbourne et qu'il est très difficile de résoudre un problème de refroidissement quelques semaines avant la première course..."*

Avec leur solution originale, Ferrari et Mercedes ont-elles mis le doigt sur un avantage significatif ?



9. Évolution des Moteurs de F1 en 2015 : Mode d'Emploi

[Source : <http://www.f1i.com> – Nicolas Carpentiers]

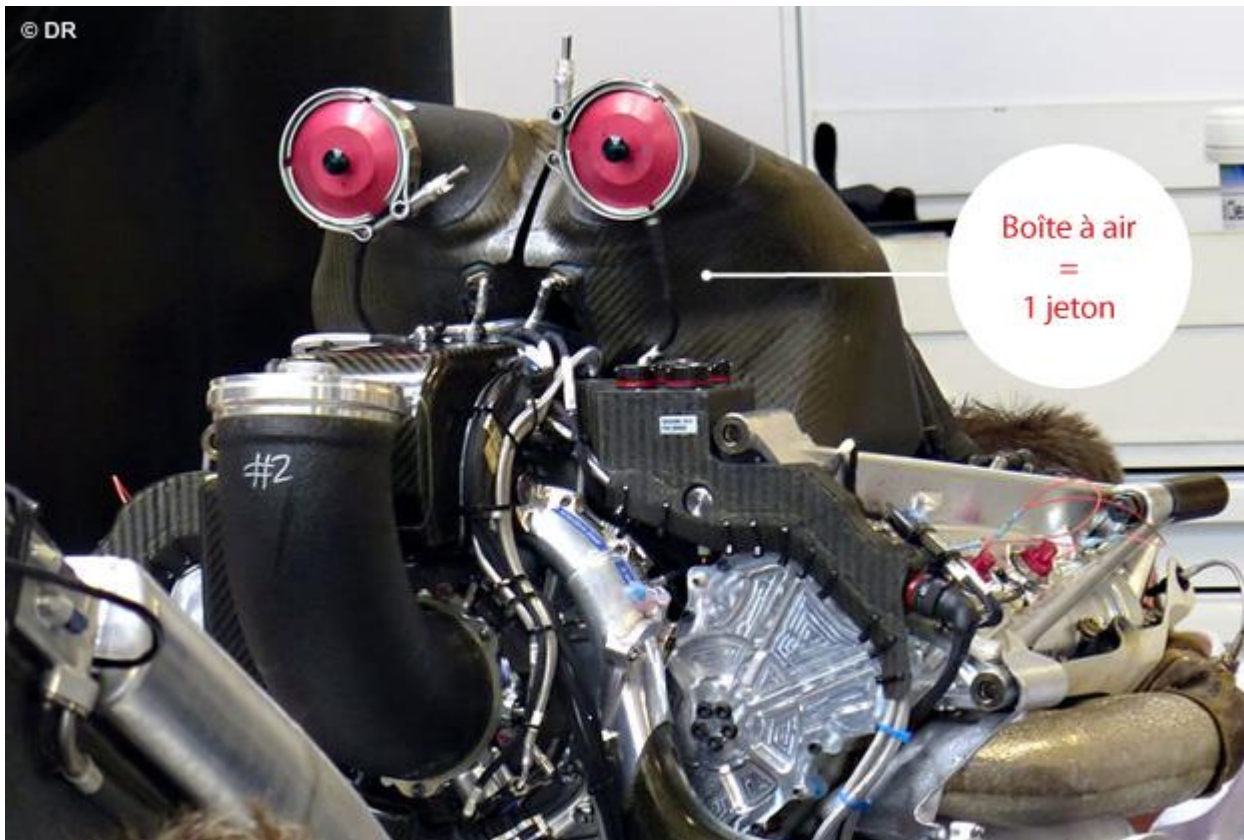
“Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ?” Tel pourrait être l’adage de la Formule 1, discipline à la complexité toute byzantine.

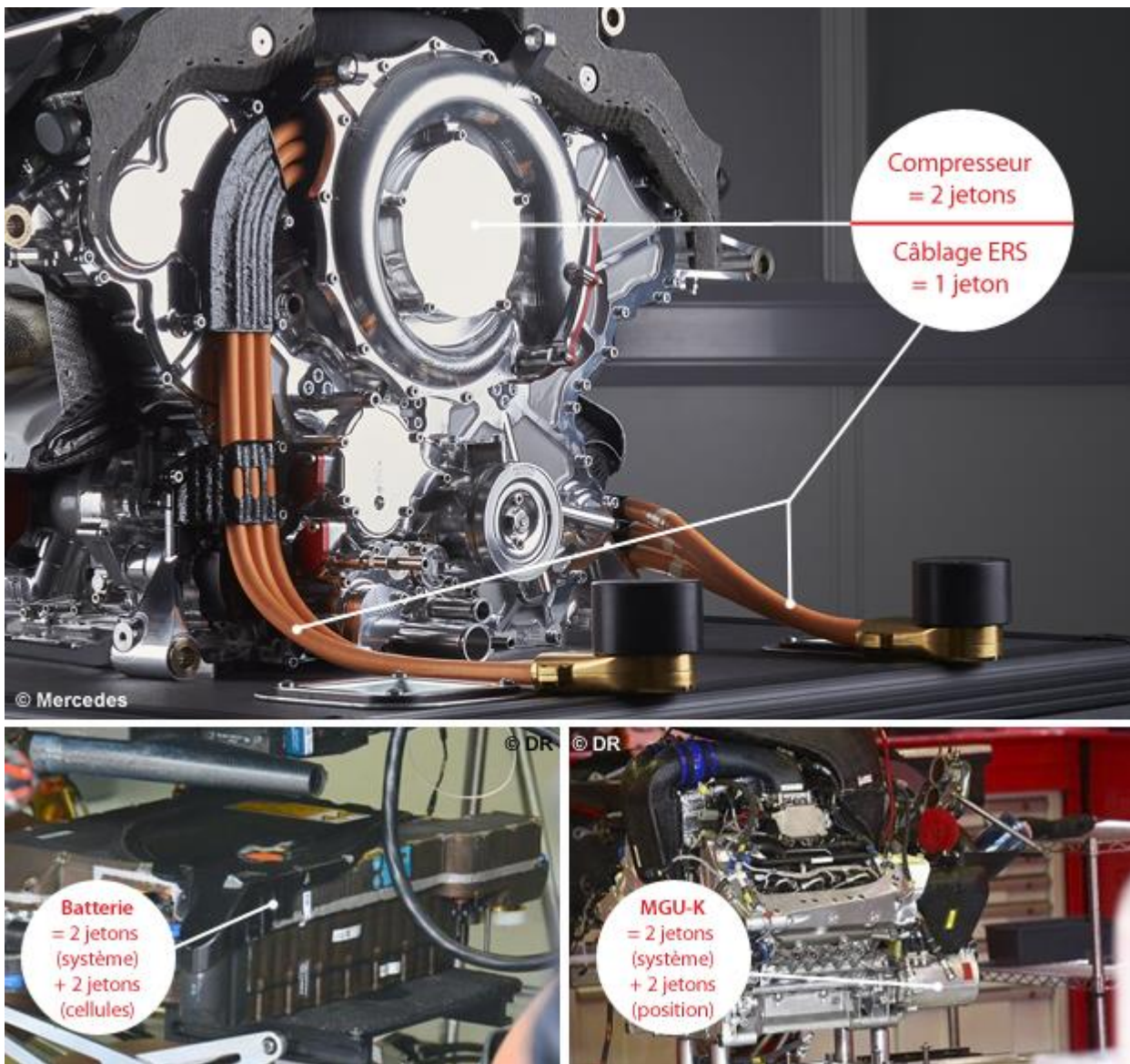
En 2014, homologation des moteurs avant le premier Grand Prix oblige, Renault et Ferrari n’ont pu modifier leur V6 en cours de championnat pour d’autres raisons que la fiabilité. Pour 2015, par contre, les motoristes ont eu le droit de modifier leurs unités de puissance. Mais avec quelle marge de manœuvre ?

Développement décroissant

Pour réduire les coûts tout en permettant des mises à jour, la FIA a imaginé un cycle de développement décroissant. Chaque saison, un certain nombre de pièces peuvent être modifiées – quantité qui décroît d’année en année. Dans l’annexe 4 du règlement technique, la Fédération a décomposé le moteur en plusieurs groupes, couvrant des domaines plus ou moins vastes : “Pièces intervenant dans la combustion : têtes de piston, chambres”, “Pompe à huile”, “Système d’allumage”, “Soupapes”, “Vilebrequin”, “MGU-H (système)”, “MGU-H (emplacement)”... (voyez la liste simplifiée ci-dessous). Chacun de ces éléments possède une valeur plus ou moins grande, étalonnée de 1 à 3 jetons. Dans le turbocompresseur, par exemple, le compresseur vaut 2 jetons, la turbine 2 également, alors que la bride d’échappement allant du moteur à l’entrée de la turbine n’en vaut qu’un. Modifier la pompe à huile coûte un jeton, toucher à la courroie de distribution en coûte trois, etc. La somme totale des jetons couvrant le moteur s’élève à 66.

Pour 2015, le règlement stipule que le gel portera obligatoirement sur trois éléments précis, d’une valeur totale de 5 jetons : le vilebrequin (2), le système d’admission d’air (1) et certains aspects du bloc moteur (écart entre les cylindres, disposition des bancs, distance entre haut du piston et haut de la chemise au point mort haut) (2). Ces trois éléments, qui représentent grosso modo 8 % du propulseur, seront gelés sur tous les V6.





La moitié du moteur modifiable

Le reste du moteur, en revanche, pourra être modifié, mais dans des proportions assez faibles. Le périmètre de changement potentiel des motoristes se chiffre à 61 jetons. Or, sur ces 61 jetons virtuellement modifiables, seuls 32 pourront effectivement être corrigés en 2015, soit environ 48 % du total. Chaque motoriste choisira les domaines du propulseur qu'il souhaite rectifier, la limite correspondant donc à un total de 32 jetons. Dans ce cadre, par exemple, il est théoriquement possible pour Renault et Ferrari d'adopter l'architecture imaginée par Mercedes (qui scinde compresseur et turbine), en mesurant les effets d'une telle réorientation technologique.

Si l'on envisage les choses du point de vue opposé, soit la partie figée du moteur, on s'aperçoit que cette partie gelée se compose d'une part commune (le gel imposé par la FIA sur trois

éléments fixés : 5 jetons ou 8 %) et d'une part qui découlera des choix faits par chaque motoriste en matière d'évolutions (un ensemble d'éléments représentant 29 jetons ou 44 %).

La proportion d'éléments pouvant être changés décroîtra d'année en année. De 48 % en 2015, elle passera à 41 % en 2016, et ainsi de suite : 32 % du moteur pourra être révisé en 2017 ; en 2018, 23 % ; et en 2019 et 2020, seulement 5 %...

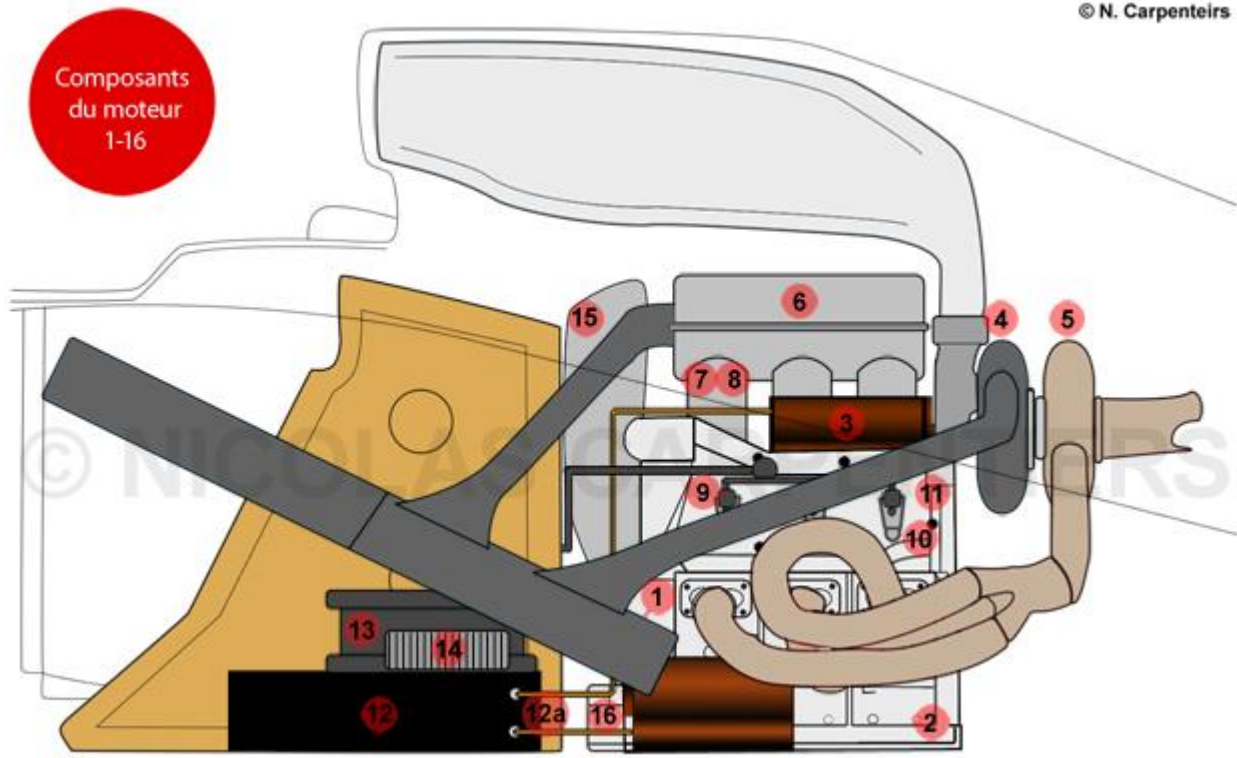
Si une marge de développement est autorisée pour l'an prochain, des limites sont donc posées de facto, puisque les challengers dépenseront leurs jetons dans l'espoir de rattraper Mercedes, qui s'en servira pour progresser sur d'autres fronts. Même s'il ne permettra à Honda de remanier que 41 % de son moteur en 2016 (tout comme ses rivaux), ce système ne désavantage pas complètement le constructeur japonais, qui a pu recruter du personnel expérimenté chez ses concurrents et profiter des informations recueillies par McLaren auprès de son précédent fournisseur.

On le voit, l'équilibre n'est pas simple à trouver entre maîtrise des dépenses et ouverture de la compétition !

Quelle valeur pour chaque composant ?

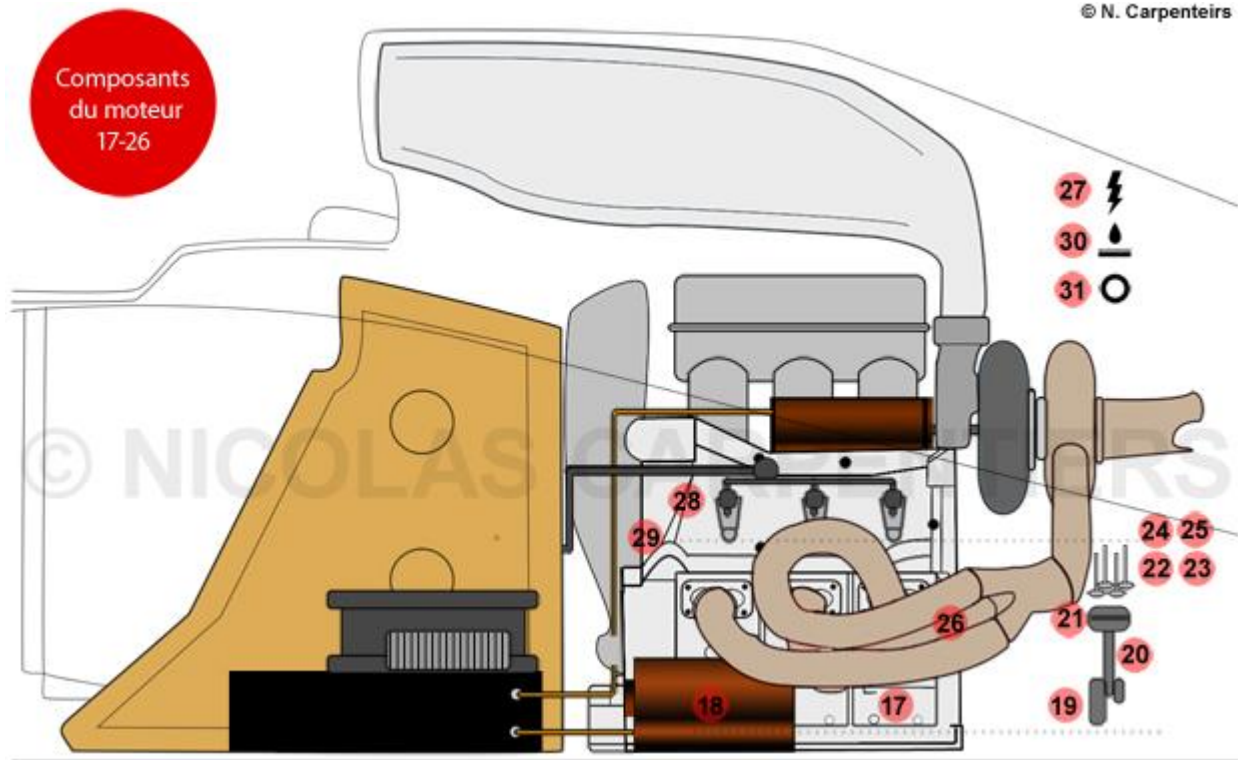
Dans les pages suivantes figurent la liste simplifiée des éléments constituant un propulseur hybride, accompagnés de leur valeur en jetons dans le barème mis au point par la FIA.

© N. Carpentiers



Numéro	Pièce	Valeur
1	Pompe à eau	1 jeton
2	Système de lubrification huile	1 jeton
3	Système MGU-H	2 jetons
3	Position MGU-H	2 jetons
4	Turbo – compresseur	2 jetons
5	Turbo – turbine	2 jetons
6	Boîte à air	1 jeton
7	Trompettes d'admission	1 jeton
8	Collecteur d'admission	1 jeton
9	Système d'injection	2 jetons
10	Système d'allumage	1 jeton
11	Culasse	2 jetons
12	Batterie	2 jetons
12	Système de gestion batterie	2 jetons
12	Refroidissement/lubrification ERS	1 jeton
12a	Câblage ERS	1 jeton
13	Boîtier électronique MGU-H	1 jeton
14	Boîtier électronique MGU-K	1 jeton
15	Bâche à huile	1 jeton
16	Pompe à huile	1 jeton
16	Toutes les pièces où circule l'huile sous pression	1 jeton

© N. Carpentiers



Numéro	Pièce	Valeur
17	Carter : écart entre cylindres, disposition des	2 jetons
17	Carter : toutes les autres dimensions	3 jetons
18	MGU-K	2 jetons
18	MGU-K – position, transmission	2 jetons
19	Vilebrequin : manivelle, paliers d'appui	2 jetons
19	Vilebrequin	2 jetons
20	Bielles	2 jetons
21	Pièces définissant la combustion : tête de piston,	3 jetons
21	Pistons	2 jetons
22	Soupapes	2 jetons
22	Système d'entraînement des soupapes	2 jetons
23	Système de distribution pneumatique	1 jeton
24	Système d'entraînement des soupapes : arbres à	1 jeton
25	Soupapes : transmission par engrenages	2 jetons
26	Système d'échappement	1 jeton
26	Soupape de décharge	1 jeton
27	Système électrique	1 jeton
28	Protections diverses (couvre-culasse, etc.)	1 jeton
29	Courroie de distribution	3 jetons
30	Revêtements antifriction	1 jeton
31	Joints rotatifs/coulissants	1 jeton
	Total :	66 jetons