



Communication Presse et Relations Publiques

Gregory Delepine

Tel.: 03 23 73 56 94

E-Mail: gregory.delepine@audi.fr

Juillet 2014

## **Audi TDI – Dossier de presse**

### **Tech Workshop 2014**

Le TDI a 25 ans !	2
La mise au point du TDI En un coup d'œil	5
Le nouveau 1.4 TDI	8
Le nouveau 2.0 TDI à montage longitudinal	10
Le nouveau 3.0 TDI	12
La Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition	15
Le 4.2 TDI	17
Les modèles ultra d'Audi	19
Les moteurs de course	21
Biturbo électrique et hybridation	25
L'e-diesel d'Audi	28
Les showcars d'Audi à moteur TDI	30
Les jalons technologiques	33
Glossaire TDI	37

Annexe : Caractéristiques techniques

**Les équipements et données indiqués concernent la gamme de modèles proposés en Europe. Sous réserve de modifications et d'erreurs.**

## **Le TDI a 25 ans !**

En 2014, Audi fête un anniversaire très spécial - les 25 ans du TDI. En automne 1989, AUDI AG dévoilait au salon de l'automobile de Francfort l'Audi 100 équipée d'un moteur 2.5 TDI, un moteur diesel à turbocompresseur, injection directe et régulation entièrement électronique. Depuis, Audi a continué à creuser son avance technologique dans ce domaine et a posé de nouveaux jalons.

« Les 25 ans du TDI signifient un quart de siècle de progrès et d'efficience, de dynamique et de puissance », déclare Prof. Dr. Ulrich Hackenberg, Membre du Directoire de AUDI AG en charge du Développement technique chez AUDI AG. « Nous nous souvenons de cette période avec fierté. De fait, le TDI, qu'Audi a été le premier constructeur automobile à commercialiser, est aujourd'hui la technologie d'efficience qui rencontre le plus de succès dans le monde. Il a donc contribué à l'établissement de notre marque dans le segment haut de gamme. »

Depuis 1989, la technologie TDI a permis le succès fulgurant du moteur diesel. Cette évolution s'est déroulée en plusieurs étapes avec la mise en place de la suralimentation, de l'injection et de la dépollution des gaz d'échappement en tant que « moteurs » essentiels. Au cours de ces 25 dernières années, le TDI a vu sa puissance et son couple augmenter de plus de 100 % par rapport à la cylindrée, tandis que ses émissions polluantes ont chuté pendant la même période de 98 %.

Audi a produit jusqu'à présent environ 7,5 millions d'automobiles à moteur TDI, dont 600 000 unités pour la seule année 2013. Ces moteurs ont aussi fortement contribué à ce qu'au cours des dernières années, Audi a réussi une réduction annuelle de 3 % des émissions moyennes de CO<sub>2</sub> de flotte de véhicules neufs dans l'Union européenne. 58 des 156 modèles TDI actuellement proposés au programme d'Audi affichent des émissions de CO<sub>2</sub> comprises entre 85 et 120 grammes. L'Audi A3 ultra avec son TDI de 1,6 litre se contente en moyenne sur cycle mixte de 3,2 litres de carburant aux 100 kilomètres. La désignation « ultra » est synonyme ici de durabilité dans tous les domaines de l'entreprise. Actuellement, Audi développe à grands pas sa palette de modèles ultra d'une grande efficience énergétique.

Tous les moteurs TDI proposés de nos jours par Audi allient efficacité, propreté, silence de marche, confort et puissance. À l'exception de l'Audi R8, ils propulsent des modèles de toutes les gammes avec une cylindrée allant de 1,6 à 4,2 litres et une puissance s'échelonnant de 90 ch (66 kW) pour le 1.6 TDI à 385 ch (283 kW) pour le 4.2 TDI. Dans les statistiques de vente, le 2.0 TDI a clairement pris la tête des moteurs les plus prisés. Il s'est vendu à ce jour à 3 millions d'exemplaires, dont presque 370 000 en 2013.

La technologie TDI d'Audi est une histoire à succès impressionnante, mais a aussi un avenir très prometteur. Le 3.0 TDI clean diesel à faibles émissions a été révisé de fond en comble et fixe de nouvelles références. Dans les modèles compacts, le nouveau 1.4 TDI clean diesel à trois cylindres va bientôt faire son apparition. Dans les moteurs V6 TDI, un compresseur électrique supplémentaire assurera à l'avenir un déploiement spontané de la puissance dès la plage des bas régimes, favorisant une conduite pleine d'émotions et sportive.

Avec le biturbo électrique, Audi se lance dans l'électrification du TDI. Les nouveaux composants d'hybridation sont sur le point d'être lancés sur le marché. À l'avenir, Audi proposera des solutions sur mesure pour répondre aux exigences de chacun de ses clients, allant même jusqu'à des TDI à technologie plug-in hybride rechargeable. En ce qui concerne les carburants, la marque mise sur l'e-diesel d'Audi, un gazole produit durablement, qui permet une conduite au bilan carbone neutre.

D'ici 2020, Audi compte réduire la consommation de sa flotte automobile à une valeur moyenne de 95 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre. C'est pourquoi les motoristes planchent à haut régime non seulement sur l'hybridation rechargeable, mais aussi sur les domaines techniques classiques. Citons notamment la réduction de la friction, la gestion thermique et le procédé de combustion considéré sous l'angle de l'injection et de la suralimentation. Audi mise sur une stratégie visant à équiper chaque automobile d'un moteur de taille idéale plutôt que sur le sous-dimensionnement (« downsizing »). Ainsi, les moteurs TDI à six et huit cylindres s'avèrent d'une efficacité remarquable dans la pratique, car ils présentent un fonctionnement régulier à des régimes très faibles.



La compétition automobile fait partie du patrimoine génétique d'Audi. Le circuit de course constitue le laboratoire d'essai le plus sévère pour les nouvelles mises au point qui doivent être transférées à la série. En 2006, le moteur TDI faisait ses débuts aux 24 Heures du Mans. Depuis cette année-là, Audi a engrangé huit victoires sur neuf courses sur ce circuit. En principe, les exigences en course sont les mêmes que pour la série, l'objectif étant de tirer toujours plus de chaque goutte de carburant.

Les succès en compétition démontrent de manière impressionnante le potentiel de la technologie TDI d'Audi. Dernier succès en date : la double victoire au Mans, la plus importante épreuve d'endurance qui soit.

## **La mise au point du TDI**

La suralimentation, l'injection et la dépollution des gaz d'échappement sont les trois facteurs essentiels de la mise au point des moteurs TDI. Les ingénieurs planchent en permanence sur la réduction de la consommation, l'augmentation de la puissance et du couple ainsi que l'amélioration de la régularité de fonctionnement.

D'autres prescriptions proviennent de la législation et du secteur économique, par exemple les normes antipollution ou les exigences formulées vis-à-vis de la qualité et de la composition du gazole sur les marchés du monde entier. En Europe, l'ajout de biogazole et les futurs cycles d'essai reflétant les conditions réelles d'utilisation (RDE) figurent au premier plan. Le nouveau 3.0 TDI présente d'ores et déjà un système de recyclage des gaz d'échappement refroidi sur deux niveaux pour répondre à la norme ULEV II en vigueur dans certains états des États-Unis. Lorsque la Chine, un pays dans lequel la qualité du carburant varie encore fortement aujourd'hui, adoptera le gazole en force, des critères comme l'altitude et la teneur en oxygène de l'air joueront un rôle croissant.

## **La suralimentation par turbocompresseur**

Les chiffres qui décrivent les turbocompresseurs Audi actuels sont impressionnants. Le compresseur du nouveau 3.0 TDI produit une pression relative jusqu'à 2,0 bars ; théoriquement, il est en mesure de comprimer en pleine charge 1 200 mètres cubes d'air (1,2 tonne) par heure. Sa puissance avoisine 35 kW et son régime dépasse 200 000 tours par minute.

Lors de la mise au point de la technique par turbocompresseur encore et toujours perfectionnée par Audi, les thèmes dominants sont le rendement, le déploiement du couple, les reprises, l'acoustique et la construction allégée. Le progrès se traduit par d'innombrables mesures individuelles et s'évalue en millièmes de millimètre. Le meilleur exemple est celui des futures roues de compresseur. Fraisées dans la masse, elles sont encore plus précises que celles qui sont moulées aujourd'hui.

Le turbocompresseur du nouveau 3.0 TDI se sert d'actionneurs électriques pouvant régler les pales de la roue de turbine en moins de 200 millisecondes. Les actionneurs sont logés dans une cartouche inédite dont les deux moitiés sont rivetées entre elles. Les minces rivets font moins obstacle aux flux de gaz que les raccords coulés de l'ancien composant.

La température des gaz d'échappement, qui peut atteindre 830 degrés Celsius, met notamment les pièces mobiles à rude épreuve ; chaque augmentation supplémentaire de la température force ici à passer à d'autres matériaux.

### **L'injection**

Grâce à l'installation d'injection par rampe commune, une pression maximale de 2 000 bars est produite dans la plupart des moteurs. Le prochain objectif est 2 500 bars, et il ne sera pas le dernier objectif visé par les ingénieurs. Le moteur TDI de la voiture de course Audi R18 e-tron quattro donne ici l'exemple : le V6 de quatre litres atteint à une pression d'injection de plus de 2 800 bars une puissance spécifique d'environ 100 kW par litre. Des pistons en acier – une autre possibilité pour la série – absorbent les pressions d'allumage qui surpassent de plus de 200 bars celles des moteurs TDI destinés à la route.

Les piézo-injecteurs mis en œuvre par Audi dans ses moteurs en V présentent des trous d'un diamètre de 0,1 millimètre seulement afin de pouvoir vaporiser le carburant même à faible charge. Plus la pression est élevée et plus la formation du mélange est précise, ce dont profitent non seulement la puissance et le couple, mais aussi la régularité de fonctionnement et les émissions polluantes.

L'installation à rampe commune du nouveau 3.0 TDI peut réaliser neuf injections individuelles par temps de travail. Les injections préliminaires assurent un fonctionnement régulier du moteur surtout à faible vitesse et les post-injections servent à régénérer le filtre à particules et à désulfater le futur catalyseur à accumulation pour les oxydes d'azote. Les installations d'injection d'Audi doivent conserver leur précision de l'ordre du milligramme pendant des dizaines de milliers de kilomètres, car les plus petits écarts peuvent conduire à de mauvais résultats lors du contrôle des gaz d'échappement.

### **La dépollution des gaz d'échappement**

En ce qui concerne le post-traitement des gaz d'échappement, les ingénieurs ont dû au cours des dernières années se concentrer de plus en plus sur une réponse précoce. Du fait de l'efficacité croissante des moteurs TDI, la température des gaz d'échappement baisse toujours plus. En cycle européen, il leur faut deux minutes et demie pour atteindre 150 degrés Celsius à la sortie du catalyseur à oxydation ; sous ce seuil, aucun traitement n'a lieu.

C'est pourquoi, sur le nouveau 3.0 TDI, les deux catalyseurs, le catalyseur à oxydation de taille accrue et le filtre à particules diesel avec revêtement à réduction catalytique sélective (SCR), sont très proches du moteur ; la pompe refroidie à l'eau injecte la solution AdBlue dans le court tube de raccordement coudé qui les relie. Sur la version de 160 kW (218 ch) du nouveau V6 diesel, dans le nouveau V6 biturbo et dans le 4.2 TDI, les catalyseurs à oxydation ont par ailleurs un chauffage électrique.

La prochaine étape sera franchie en 2015 par Audi sur le 3.0 TDI : le catalyseur à oxydation sera remplacé par un nouveau catalyseur à accumulation pour les oxydes d'azote. Ce nouveau catalyseur appelé NOC (NO<sub>x</sub>-Oxidation Catalyst) est en mesure de stocker les oxydes d'azote jusqu'à saturation, après quoi l'épuration se fait par enrichissement du mélange dans le moteur. Afin de réduire autant que possible la consommation de carburant, le catalyseur NOC est uniquement activé lorsque la température des gaz d'échappement est faible – après le démarrage et à faible charge. Dans toutes les autres situations, le filtre à particules diesel avec revêtement à réduction catalytique sélective (SCR) se charge d'éliminer les oxydes d'azote. Cette technologie recèle un fort potentiel grâce auquel Audi est parée pour affronter les futures prescriptions relatives aux gaz d'échappement.

## **Le nouveau 1.4 TDI**

Parallèlement au quatre cylindres de deux litres, le nouveau 1.4 TDI est le deuxième moteur du système diesel modulaire (MDB) du groupe Volkswagen. Le trois cylindres est conçu pour le montage transversal et sera bientôt fabriqué en série. Sa cylindrée est de 1 422 cm<sup>3</sup> : la course de 95,5 millimètres est celle du 2.0 TDI, tandis que l'alésage a été raccourci et passe de 81,0 à 79,5 millimètres. L'écart entre les cylindres est de 88,0 millimètres.

Contrairement à son prédécesseur, qui équipait l'Audi A2 jusqu'en 2005, le nouveau 1.4 TDI présente un carter-moteur léger réalisé dans un alliage d'aluminium et de silicium, un choix très inhabituel sur le marché. Le carter a été moulé en coquille par gravité, ce qui lui confère une résistance, une densité et une homogénéité remarquables. Le nervurage ciblé et des mesures détaillées à la périphérie du moteur minimisent le rayonnement acoustique.

Le carter-moteur ne pèse que 17 kilogrammes, soit 12 de moins que le prédécesseur en fonte grise. Le poids total du moteur s'élève à 132 kilogrammes. Les chemises à paroi fine en fonte grise ont été assemblées par un procédé thermique, et le poids des pistons et des bielles a été réduit. Le jeu des pistons, le dessin des segments et leur précontrainte ont été optimisés en vue de minimiser la friction.

Un arbre d'équilibrage tourne en sens inverse du vilebrequin ; son entraînement est intégré à la pompe dite duo. La pompe à huile et la pompe à vide sont logées dans le même carter. La pompe à huile peut varier la pression sur deux niveaux selon les besoins. Une autre technologie améliorant l'efficacité énergétique est la dissociation des circuits de refroidissement pour le bloc-cylindres et la culasse. Pendant la phase de mise en température, le circuit de refroidissement peut être désactivé dans le bloc-cylindres ; celui des culasses alimente également l'échangeur thermique du chauffage de l'habitacle. Grâce à cette gestion thermique, le 1.4 TDI atteint rapidement sa température de service après le démarrage à froid.

Des roulements à aiguilles sophistiqués sont intégrés à l'entraînement des arbres à cames. Les arbres sont montés dans un cadre indépendant et leur assemblage se fait dans celui-ci pendant la fabrication du moteur. Le nouveau module de commande des soupapes associe une grande rigidité et un faible poids.



L'installation d'injection par rampe commune produit une pression de 2 000 bars et des électrovannes ouvrent et ferment les aiguilles des buses dans les injecteurs à sept trous. Cette pression élevée permet une vaporisation encore plus fine du carburant dans les chambres de combustion et donc une combustion encore plus efficace et moins polluante.

Le turbocompresseur du 1.4 TDI présente un réglage pneumatique des pales de la roue de turbine. Le refroidisseur d'air de suralimentation, qui dispose de son propre circuit d'eau de refroidissement, est monté au niveau de la culasse. Le système de recyclage des gaz d'échappement (EGR) à basse pression, lui aussi refroidi par eau, est monté juste en amont du turbocompresseur. Il réduit les émissions d'oxydes d'azote lorsque le moteur est chaud pendant les charges moyennes à élevées, tandis que le système EGR à haute pression, qui n'est pas refroidi, intervient surtout après le démarrage à froid. Le nouveau moteur est conforme à la norme antipollution Euro 6 ; l'ensemble de l'installation de dépollution compacte est conçu pour minimiser les pertes lors du transfert des gaz.

Le 1.4 TDI délivre 66 kW (90 ch) et fournit un couple de 230 Nm entre 1 500 et 2 500 tr/min.

## **Le nouveau 2.0 TDI à montage longitudinal**

Le 2.0 TDI est le moteur polyvalent dans la gamme de modèles Audi. En effet, de l'Audi A1 à l'Audi A6, on retrouve le 4 cylindres de deux litres dans les modèles les plus divers. Dans l'Audi Q5, le 2.0 TDI a été conçu pour un montage longitudinal et convainc dans sa version la plus récente par des émissions de substances conformes à la norme Euro 6.

Deux variantes de 110 kW (150 ch) et 140 kW (190 ch) sont proposées au choix ; le couple maximal s'élève respectivement à 320 et 400 Nm. L'Audi Q5 équipée de la variante de 110 kW accélère de 0 à 100 km/h en 10,9 secondes ; sa vitesse maximale s'élève à 192 km/h et la consommation moyenne à 4,9 litres de carburant aux 100 kilomètres (129 g de CO<sub>2</sub> /km). Avec la variante plus puissante du moteur, l'accélération se fait en 8,4 secondes pour une vitesse de pointe de 210 km/h et une consommation moyenne de 5,7 litres de carburant (149 g de CO<sub>2</sub> /km).

Le 2.0 TDI d'une cylindrée de 1 968 cm<sup>3</sup> (alésage x course 81,0 x 95,5 mm) est conçu pour minimiser les pertes de rendement. La courroie crantée entraînant les arbres à cames et les organes auxiliaires tourne en douceur et sans bruit. Les deux arbres d'équilibrage, remontés du carter d'huile dans le carter-moteur, sont posés sur roulement à billes et sont lubrifiés par brouillard d'huile. Les pignons d'entraînement des arbres à cames présentent également un roulement à aiguilles.

Les arbres à cames sont insérés dans un cadre de paliers indépendant ; le nouveau module de commande des soupapes se distingue par son extrême rigidité et son faible poids. L'étoile que forment les soupapes dans la culasse est tournée de 90 degrés ; chaque arbre à cames commande une soupape d'admission et une soupape d'échappement par cylindre. L'arbre à cames d'admission présente un réglage hydraulique sur un angle allant jusqu'à 50 degrés. Les temps de commande variables améliorent le remplissage des chambres de combustion, la turbulence, la compression effective et la durée de détente.

L'installation d'injection par rampe commune produit une pression allant jusqu'à 2 000 bars et le carburant est vaporisé par des injecteurs à huit trous commandés par électrovanne. Dans l'injecteur, une mini-rampe constitue un tampon supplémentaire de carburant. Elle minimise les ondes de pression sur l'aiguille de l'injecteur et veille à l'exactitude des quantités injectées.

Un capteur situé dans l'une des bougies d'allumage analyse la pression lors de la combustion et communique ces données à la gestion moteur qui en tient compte.

Au niveau des pistons, la tension réduite exercée sur les segments contribue à une plus grande douceur de fonctionnement ; lors de la fabrication du moteur, un dispositif de rodage spécial garantit une haute précision lors de la finition des chemises de cylindre. La pompe à huile régulée sur deux niveaux ne consomme que peu d'énergie. La gestion thermique est d'une grande souplesse - le circuit de refroidissement du bloc-cylindres peut être désactivé par une pompe pendant la phase de mise en température afin de réchauffer plus vite l'huile moteur. Le micro-circuit de la culasse est entraîné par une pompe électrique et alimente le chauffage de l'habitacle ainsi que le recyclage des gaz d'échappement (EGR) à basse pression.

Le nouveau 2.0 TDI de l'Audi Q5, avec son installation de dépollution comprenant un catalyseur à oxydation et un filtre à particules diesel avec revêtement à réduction catalytique sélective (SCR) à proximité du moteur, est conforme à la norme antipollution Euro 6. Le système de recyclage des gaz d'échappement (EGR) à haute pression, qui n'est pas refroidi et est activé après le démarrage à froid et à de très faibles charges, traverse transversalement la culasse. Le système EGR à basse pression, très compact, est placé juste à côté du moteur et refroidi. Il couvre la majeure partie des plages de fonctionnement et est conçu afin de réduire les pertes de charge lors du transfert des gaz.

La géométrie variable du turbocompresseur (VTG) est commandée par un système pneumatique. Le refroidisseur d'air de suralimentation refroidi par eau est intégré à la tubulure d'admission – une conception permettant de raccourcir les transferts des gaz tout en obtenant une excellente qualité de régulation et un rendement très élevé.

## **Le nouveau 3.0 TDI**

Le 3.0 TDI représente l'état le plus récent de la technique. Le moteur le plus vendu par Audi dans les gammes supérieures est devenu encore plus propre et satisfait aux exigences de la norme antipollution Euro 6. Les performances ont également été améliorées : la puissance s'élève à 200 kW (272 ch), le couple maximal de 580 Nm est disponible dans la plage de 1 250 à 3 250 tr/min.

L'Audi A7 Sportback restylée, dans laquelle le nouveau V6 diesel est mis en œuvre pour la première fois, accélère en association avec la transmission quattro de 0 à 100 km/h en 5,7 secondes, sa vitesse maximale est limitée par l'électronique à 250 km/h. En moyenne, elle se contente de 5,2 litres de carburant aux 100 kilomètres, soit des émissions de CO<sub>2</sub> de 136 grammes par kilomètre. Le nouveau 3.0 TDI améliore son bilan carbone de 13 % par rapport au modèle précédent.

Dans le modèle ultra, le nouveau V6 diesel est encore plus efficient et établit de nouveaux records : avec sa puissance de 160 kW (218 ch) et son couple de 400 Nm, il propulse le véhicule du départ arrêté à 100 km/h en 7,3 secondes et lui permet d'atteindre une vitesse de pointe de 239 km/h. Il se contente en moyenne de 4,7 litres de carburant aux 100 kilomètres (122 grammes de CO<sub>2</sub> par km).

Par rapport aux deux dernières générations, le nouveau 3.0 TDI, dont la pression d'allumage grimpe jusqu'à 180 bars, a des dimensions inchangées : l'alésage de 83,0 millimètres et la course de 91,4 millimètres donnent une cylindrée de 2 967 cm<sup>3</sup>. L'angle d'ouverture des rangées de cylindres est de 90 degrés, et un arbre d'équilibrage se trouve dans le carter-moteur. Ce dernier est réalisé en fonte au graphite vermiculaire très résistante tout en étant très légère ; le soin apporté aux détails se traduit par des économies de poids, le moteur ne pesant au total que 192 kilogrammes.

Le vilebrequin forgé au poids également optimisé et à manetons décalés garantit la régularité de fonctionnement. Les manetons des pistons opposés sont incurvés de 30 degrés et l'écart d'allumage est donc uniforme.

Des conduits coulés dans le vilebrequin assurent l'alimentation en huile destinée à refroidir par projection les pistons en aluminium. Afin de réduire la friction, les axes de piston comportent un revêtement en carbone adamantin ; de même, le premier segment présente un revêtement très dur haut de gamme. Les segments ont été redessinés, leur tension tangentielle a baissé de plus de 25 % et ils glissent plus facilement dans les chemises. Le rapport de compression s'élève à 16,0:1.

Lors de la fabrication du 3.0 TDI, un dispositif spécial est mis en œuvre pendant le rodage. Une plaque vissée sur le carter-moteur avant de procéder au rodage mécanique des chemises permet de simuler la tension qui sera ensuite exercée par la culasse en cours de fonctionnement et qui est responsable d'écarts de rotondité de l'ordre du millième de millimètre.

Le V6 diesel bénéficie d'une gestion thermique sophistiquée. Le carter-moteur et les culasses présentent des circuits de refroidissement indépendants mais reliés entre eux par une vanne. Pendant la phase de mise en température, le liquide de refroidissement ne recircule pas dans le bloc-cylindres, l'huile moteur se réchauffant alors plus rapidement. Afin d'économiser l'énergie, la recirculation du liquide est souvent arrêtée à faible charge. Le liquide de refroidissement du circuit de la culasse réchauffe l'habitacle et alimente le refroidisseur du système de recyclage des gaz. Pour réduire les pertes de pression, les chemises d'eau des culasses sont subdivisées en une partie supérieure et une partie inférieure.

Dans l'installation d'injection par rampe commune, la pression peut atteindre 2 000 bars. Les piézo-injecteurs ultrarapides dotés de buses à huit trous peuvent procéder à huit injections par temps de travail. Le volet de turbulence central, qui est situé à l'entrée de la tubulure d'admission, réduit les pertes de pression ; dans la plage des bas régimes, la fermeture du conduit de remplissage produit une forte turbulence qui favorise le déploiement du couple. Dans la plage des régimes élevés, par contre, le conduit ouvert assure un meilleur degré de remplissage des chambres de combustion.

Le turbocompresseur refroidi par eau se présente dans sa nouvelle évolution. Le mécanisme de réglage à actionnement électrique côté turbine (VTG) est encore plus précis et favorise encore davantage l'écoulement, et le moteur réagit encore plus vite aux coups d'accélérateur.

La pression de suralimentation relative maximale est passée de 1,6 à 2 bars. Le collecteur d'échappement a été lui aussi modifié. La nouvelle pompe à huile est asservie à la charge et au régime, et a donc un fonctionnement très variable dans de vastes plages de sa cartographie. Le radiateur d'huile est intégré au circuit par un bypass à régulation thermostatique.

Grâce au système de dépollution des gaz d'échappement conforme à la norme Euro 6, toutes les variantes du 3.0 TDI peuvent se targuer de la désignation supplémentaire « clean diesel ». Les composants sont montés aussi près que possible de la face arrière du moteur et autorisent donc un démarrage rapide. Le catalyseur à oxydation agrandi sur le V6 de 160 kW (218 ch) est situé en position coaxiale en aval de la sortie de turbine du turbocompresseur. Il est immédiatement suivi du filtre à particules diesel dont les parois sont pourvues d'un revêtement permettant la conversion des oxydes d'azote contenus dans les gaz d'échappement par réduction catalytique sélective (SCR). Un module de dosage se charge d'injecter l'additif AdBlue.

La nouvelle configuration des composants impliqués dans la dépollution a conduit à des modifications au niveau de la distribution par chaîne. Les pompes à huile/à vide et la pompe haute pression de l'installation d'injection par rampe commune ont chacune leur propre entraînement. Dans le cas de l'entraînement de l'arbre à cames, des pignons intermédiaires montés sur roulement à aiguilles et des étages de démultiplication remplacent les grands pignons dentés pour chaîne. Les arbres à cames creux et donc très légers commandent les soupapes par des culbuteurs à galet d'une rigidité extrême. Le diamètre réduit des paliers des arbres à cames a permis de réduire le frottement.

## **La Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition**

L'Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition fait appel à un moteur 3.0 TDI biturbo clean diesel d'une cylindrée de 2 967 cm<sup>3</sup>. Des modifications apportées au système de suralimentation et aux arbres à cames permettent de surenchérir de 5 kW (7 ch) sur le modèle de série pour atteindre une puissance maximale de 240 kW (326 ch). Lorsque le conducteur appuie à fond sur la pédale d'accélérateur, il bénéficie en plus de 15 kW (20 ch) supplémentaires fournis pendant un court instant par le boost, une fonction d'assistance du moteur thermique. Le couple maximum s'élève à 650 Nm et est disponible dans une plage comprise entre 1 400 et 2 800 tr/min. Le moteur répond à la norme antipollution Euro 6.

Vu son dynamisme, l'Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition est livrée avec le pack sport S line qui comprend une carrosserie surbaissée de 20 millimètres. Les roues de style 5 branches en W arborent des flancs peints en noir. Très imposantes avec leurs 20 pouces de diamètre, elles sont chaussées de pneus de taille 265/35. Des étriers de frein rouges et des disques de 17 pouces sur l'essieu avant et l'essieu arrière soulignent la sportivité du modèle limité.

Le pack extérieur S line et le pack brillance noir confèrent à la carrosserie une élégance dynamique, complétée par l'emblème V6 T sur les ailes, les boîtiers de rétroviseur noirs et les embouts de sortie d'échappement noir brillant. Le modèle produit en édition limitée est commercialisé dans les coloris gris Daytona, rouge Misano, gris Nardo et bleu Sepang.

Avec le pack sport S line, l'habitacle de l'Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition est habillé de noir. Les sièges sport sont revêtus d'un cuir fin Valcona noir ou argent lunaire et rehaussés par des emblèmes S line gaufrés. Audi propose en option les sièges sport S avec des surpiqûres contrastantes rouge Misano ou gris agate ; les accoudoirs de portière sont alors également gainés de cuir et pourvus de surpiqûres contrastantes. Les applications décoratives sont en style aluminium/bois Beaufort noir, une association métal/bois haut de gamme. Les baguettes de seuil comportent des monogrammes « quattro ». À l'aide des palettes logées derrière le volant multifonctions sport, le conducteur peut commander manuellement la boîte de vitesses tiptronic à huit rapports.

Le modèle en édition limitée possède tous les équipements dont bénéficie déjà la gamme A7\* restylée. À cela s'ajoutent les projecteurs à LED de série et les clignotants à allumage dynamique. En option, Audi propose des projecteurs à faisceau matriciel à LED, le système de navigation MMI plus aux performances améliorées et des systèmes d'aide à la conduite perfectionnés tels que l'assistant de conduite nocturne.

Les clients pourront commander l'Audi A7 Sportback 3.0 TDI competition à partir de début août, la livraison des véhicules commencera en automne.



## **Le 4.2 TDI**

Le 4.2 TDI est le moteur présentant le couple le plus élevé de la gamme de moteurs d'Audi. Dans sa version la plus récente montée dans l'Audi A8, il dispose d'un couple de 850 Nm entre 2 000 et 2 750 tr/min et délivre sa puissance de 283 kW (385 ch) dès 3 750 tr/min.

Cette puissance immense confère au véhicule une conduite sportive et sereine. Lorsque le V8 diesel est associé à une boîte de vitesses tiptronic à huit rapports et à la transmission quattro, la berline de prestige accélère de 0 à 100 kilomètres en 4,7 secondes, sa vitesse maximale étant bridée à 250 km/h.

Le TDI haut de gamme d'Audi tire cette puissance d'une cylindrée de 4 134 cm<sup>3</sup> (alésage x course 83,0 x 95,5 mm). Son carter-moteur en fonte au graphite vermiculaire contribue de manière notable à réduire le poids total du moteur, qui s'élève à environ 250 kilogrammes. Quatre arbres à cames commandés par chaîne actionnent les 32 soupapes par des culbuteurs à galet.

Les ingénieurs ont révu le 4.2 TDI de fond en comble avant son intégration à l'Audi A8. Les pistons en aluminium ont des fonds renforcés sur le pourtour, qui - tout comme les nouvelles soupapes d'échappement - accroissent encore la résistance aux températures élevées. L'installation d'injection par rampe commune produit une pression allant jusqu'à 2 000 bars et de nouveaux piézo-injecteurs en ligne avec de toutes nouvelles buses à huit trous injectent le carburant dans les chambres de combustion.

Les deux turbocompresseurs à géométrie variable ont eux aussi été perfectionnés, surtout en ce qui concerne les paliers des roues de compresseur. Les deux turbocompresseurs, qui produisent une pression de suralimentation relative pouvant atteindre 1,7 bar, alimentent chacun une rangée de cylindres via un refroidisseur d'air de suralimentation en aval. Grâce à la géométrie variable, le développement de la puissance débute juste au-delà du régime au ralenti.

C'est pourquoi le moteur diesel peut tourner à un régime de 800 tr/min seulement lorsque le mode efficiency est sélectionné dans le système Audi drive select, tout en conservant sa régularité de fonctionnement. La consommation baisse considérablement grâce aux faibles régimes. En cycle européen, l'Audi A8 4.2 TDI clean diesel se contente de 7,4 litres de carburant aux 100 kilomètres (194 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre).

Le 4.2 TDI clean diesel de l'Audi A8 est conforme aux exigences de la norme antipollution Euro 6. Deux catalyseurs à oxydation chauffants sont situés près du moteur, tandis que les deux filtres à particules diesel dotés d'un revêtement à réduction catalytique sélective sont logés à l'arrière. Une pompe dose et injecte l'additif AdBlue chargé de décomposer les oxydes d'azote. La solution est stockée dans deux réservoirs d'une contenance totale de 27 litres.

## **Les modèles ultra d'Audi**

La désignation « Audi ultra » est réservée au modèle le plus efficient de chaque gamme ; elle correspond à une mobilité à la fois adaptée au quotidien et durable. Actuellement, Audi propose au total 23 modèles ultra dans les gammes A3, A4, A5, A6 et A7, dont 15 équipés de moteurs TDI. Présentant une consommation moyenne comprise entre 3,2 et 4,9 litres aux 100 kilomètres et des émissions de CO<sub>2</sub> entre 85 et 122 grammes par kilomètre, les modèles ultra d'Audi comptent parmi les automobiles les plus efficientes de leurs catégories respectives sans sacrifier pour autant la dynamique de marche ni le confort.

Avec 3,2 litres de carburant aux 100 kilomètres, soit l'équivalent de 85 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre, l'Audi A3 ultra est le modèle le plus efficient de tout le programme de véhicules Audi. Son moteur est un 1.6 TDI de 81 kW (110 ch) et d'un couple de 250 Nm conçu pour minimiser la friction. Quant à l'Audi A3 Sportback ultra à cinq portes et l'A3 Berline ultra, elles se contentent de 3,3 litres de carburant aux 100 kilomètres (88 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre). L'Audi A3 Cabriolet ultra consomme 4,9 litres de carburant aux 100 kilomètres (114 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre).

Les nouveaux modèles A4 et A5 ultra sont quant à eux mus par un 2.0 TDI revu de fond en comble. Selon la version, il délivre 100 kW (136 ch) ou 120 kW (163 ch) et un couple respectif de 320 ou 400 Nm. L'A4 Berline de 100 kW (136 ch) se contente en moyenne de 4,0 litres de carburant aux 100 kilomètres (104 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre). Quant à l'A4 Avant et l'A5 Sportback, toutes deux d'une puissance de 100 kW (136 ch), elles affichent une consommation de 4,2 litres aux 100 kilomètres (109 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre). L'A4 Berline et l'A5 Coupé ont une puissance de 120 kW (163 ch). L'A5 Sportback de même puissance consomme 4,3 litres (111 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre) et l'A4 Avant, elle aussi de 120 kW (163 ch), 4,4 litres aux 100 kilomètres (114 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre).

Les modèles ultra de la gamme A6 sont animés par le 2.0 TDI le plus puissant de 140 kW (190 ch) et de 400 Nm. Leurs valeurs dans le détail : A6 Berline avec boîte de vitesses S tronic 4,4 litres aux 100 kilomètres (114 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre), A6 Berline avec boîte de vitesses manuelle 4,5 litres aux 100 kilomètres (117 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre), A6 Avant avec boîte de vitesses S tronic ou manuelle 4,6 litres aux 100 kilomètres (119 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre).

Les modèles ultra sont équipés de série d'une boîte de vitesses manuelle dont les rapports supérieurs présentent une démultiplication plus longue. La boîte de vitesses S tronic proposée en option dans la gamme A6 a été totalement reconfigurée. Le système d'information du conducteur avec programme d'efficacité et système Start/stop contribuent eux aussi à l'efficacité. Pour les modèles des gammes A3 et A4, des modifications au niveau de l'aérodynamique et une carrosserie surbaissée parachèvent le tout. Tous les modèles ultra se distinguent par une inscription discrète sur la partie arrière.

## **Les moteurs de course**

Audi considère la compétition automobile comme un terrain d'essai idéal pour la série - et l'épreuve des 24 Heures du Mans est le meilleur banc d'essai qui soit. En 2006, Audi aligne pour la première fois une voiture à moteur TDI sur la ligne de départ. Au total, Audi a participé 15 fois à la course et a remporté 13 victoires dont huit avec des automobiles à moteur TDI. C'est aussi le cas lors de la double victoire du 15 juin dernier. Les prototypes sport participant au Mans et au Championnat du monde d'endurance de la FIA (WEC) doivent répondre aux mêmes exigences que les automobiles de série : tirer toujours plus de chaque goutte de carburant et améliorer l'efficacité énergétique tout en réduisant continuellement la consommation.

Au cours des années, le règlement du Mans a imposé aux moteurs TDI des limites toujours plus étroites. Le diamètre prescrit pour le limiteur de débit d'air, par exemple, a subi une réduction de 34 % depuis 2006, la cylindrée de presque 33 %. De ce fait, la puissance absolue a baissé d'environ 25 %, chutant de plus de 478 kW (650 ch) en 2006 à quelque 360 kW (490 ch) en 2013.

En même temps, Audi a réduit la cylindrée tout en augmentant fortement la puissance spécifique. Cette dernière est passée de 87 kW (118 ch) par litre de cylindrée en 2006 à 107 kW (146 ch) en 2011, soit une augmentation de presque 24 %. La puissance développée par chacun des cylindres a même grimpé pendant la même période de 40 kW (54 ch) à 66 kW (90 ch), soit plus de 65 %. Tandis que la vitesse a encore augmenté, Audi a réussi à réduire sur une grande échelle la consommation au Mans.

### **2006 à 2008 : le V12 TDI dans l'Audi R10 TDI**

Avec la R10 TDI et son moteur à 12 cylindres TDI, Audi écrit un nouveau chapitre de l'histoire de la compétition automobile. Depuis ses débuts, cette voiture de course à moteur diesel va de triomphe en triomphe. Avec son couple de plus de 1 100 Nm, le gros TDI de 5,5 litres surpasse largement tous les moteurs à essence. Le biturbo au fonctionnement très silencieux délivre environ 480 kW (plus de 650 ch) au régime nominal ; dès 5 000 tr/min, les pilotes peuvent passer la vitesse supérieure. Deux filtres à particules épurent les gaz d'échappement. Le couple est transmis à l'essieu arrière par une boîte de vitesses séquentielle à cinq rapports.

En 2006, la consommation relativement faible et la grande autonomie de la R10 TDI lui ouvrent la voie du succès au Mans. Frank Biela, Emanuele Pirro et Marco Werner ne font que 27 arrêts au box. La même équipe répète sa victoire en 2007 avec l'Audi R10 TDI malgré des conditions météorologiques défavorables et malgré la diminution de 10 % du volume de réservoir admissible par les organisateurs. En 2008, Rinaldo Capello, Allan McNish et Tom Kristensen réalisent le triplé avec l'Audi R10 TDI.

## **2009 à 2010 : le V10 TDI dans l'Audi R15 TDI**

Dans la R15 TDI, la cylindrée de 5,5 litres est obtenue avec deux cylindres de moins. Le V10 TDI développe une puissance de quelque 440 kW (environ 600 ch) et un couple de plus de 1 050 Nm. Il est plus court et plus léger que le douze cylindres, ce qui profite à l'agilité du nouveau prototype sport.

En 2010, Audi fête une triple victoire avec le prototype sport ouvert. Timo Bernhard, Romain Dumas et Mike Rockenfeller améliorent le record de distance établi 39 ans plus tôt par Porsche en y ajoutant cinq tours ou 75,4 kilomètres sur une distance totale de 5 410,713 kilomètres.

La puissance du 10 cylindres TDI est quasi inchangée malgré les nouvelles restrictions imposées par le règlement du Mans à la pression de suralimentation et au débit d'air. Pour la première fois, Audi recourt pour le V10 TDI à des compresseurs à géométrie variable (VTG) qui améliorent nettement la réactivité. Dans ce cas, la température des gaz d'échappement atteignant 1 050 degrés dans la turbine met le matériau à rude épreuve. Par ailleurs, des pistons en acier déjà testés dans le V12 sont mis en œuvre pour la première fois dans le V10 TDI. Ceux-ci permettent un fonctionnement à des pressions encore plus élevées et donc une efficacité encore meilleure.

## **2011 à 2013 : le V6 TDI dans les Audi R18 TDI, R18 ultra et R18 e-tron quattro**

En 2011, Audi prend le départ aux 24 Heures du Mans avec la R18 TDI, le premier prototype sport fermé de la marque depuis la R8C de 1999. Le nouveau règlement réduit la cylindrée du moteur à 3,7 litres. Entièrement nouveau, le V6 TDI léger et compact avec un angle d'ouverture de 120 degrés délivre plus de 397 kW (540 ch) et un couple supérieur à 900 Nm, qui est transmis aux roues par une boîte à six vitesses elle aussi nouvelle. L'installation d'injection par rampe commune produit une pression pouvant atteindre 2 600 bars.

Audi innove également au niveau de la configuration et du refroidissement des culasses ; le côté admission est tourné vers l'extérieur et le côté échappement vers l'intérieur. Le monoturbo est logé dans l'ouverture en V et est alimenté en air frais dans la visière réalisée dans le toit. Le gros compresseur à géométrie variable, qui produit une pression relative jusqu'à 2,0 bars (2011 : pression absolue de 2 960 mbars, 2012 à 2013 : pression absolue de 2 800 mbars), présente des entrées opposées pour les flux de gaz d'échappement dans le système d'échappement novateur à deux voies ainsi que deux sorties du côté compresseur ; l'air comprimé passe par deux refroidisseurs d'air de suralimentation indépendants avant d'atteindre les deux collecteurs d'admission. Les 24 Heures du Mans prennent une tournure dramatique. Marcel Fässler, André Lotterer et Benoît Tréluyer gagnent de justesse au volant de la dernière Audi R18 TDI en course avec 13,854 secondes d'avance sur les quatre Peugeot qui les talonnent.

Avec l'unité moteur-alternateur (MGU) située sur l'essieu avant, qui délivre un pic de puissance allant jusqu'à 170 kW, l'Audi R18 e-tron quattro dispose d'une transmission intégrale temporaire. La triple victoire d'Audi en 2012 avec Fässler, Lotterer et Tréluyer est aussi la première victoire d'une voiture de course hybride au Mans. L'année suivante, c'est au tour de Tom Kristensen, Loïc Duval et Allan McNish de monter sur le podium.

## **2014 : le nouveau V6 TDI dans l'Audi R18 e-tron quattro**

La nouvelle Audi R18 e-tron quattro placée par Audi en juin 2014 sur la grille de départ des 24 Heures du Mans est animée par un nouveau V6 TDI d'une cylindrée de 4,0 litres. Ses caractéristiques : puissance de 395 kW (537 ch), couple supérieur à 800 Nm et pression d'injection de plus de 2 800 bars. Suite au soin apporté aux détails, ce moteur est de loin le moteur de course diesel le plus léger et le plus efficient d'Audi. Par rapport au moteur de 3,7 litres, sa consommation a baissé de plus de 25 %. Le système hybride, l'unité moteur-alternateur à l'avant et le volant d'inertie à côté du conducteur, délivre plus de 170 kW. Lors des 24 Heures du Mans, Audi prend le départ dans la catégorie jusqu'à deux mégajoules d'énergie récupérée. Le nouveau règlement limite l'énergie disponible par tour, mais donne plus de libertés pour d'autres paramètres.

L'Audi R18 e-tron quattro qui porte le numéro 2 remporte la victoire au terme d'une course dramatique où de nombreux pilotes se relayent en tête. Le trio Marcel Fässler, André Lotterer et Benoît Tréluyer accomplissent 379 tours au total. Tom Kristensen, Luca di Grassi et Marc Gené, qui pilotent la voiture numéro 1, arrivent en deuxième position et complètent le triomphe d'Audi.

La voiture gagnante consomme 22 % de carburant en moins par rapport à sa devancière en 2013. Depuis l'avènement du TDI en 2006, la consommation des voitures Audi a baissé de 38 % aux 24 Heures du Mans.



## **Biturbo électrique et hybridation**

Le moteur TDI tire sa puissance de la pression de suralimentation fournie par le turbocompresseur. Ce dernier, à son tour, tire l'énergie des gaz d'échappement. Le biturbo électrique met fin à cette dépendance : son compresseur électrique supplémentaire permet de produire rapidement la pression de suralimentation et un couple élevé même à faibles régimes. 25 ans après l'invention du TDI, Audi franchit à nouveau un grand pas ; grâce à Audi, le moteur diesel gagne en sportivité tout en faisant davantage appel aux émotions.

En plus du turbocompresseur classique, le biturbo électrique dispose d'un second compresseur monté en série. Au lieu de la roue de turbine, il comporte un petit moteur électrique qui, avec sa puissance maximale de 7 kW, accélère la roue de compresseur au régime maximal en l'espace de 250 millisecondes.

Le compresseur électrique est placé en aval du refroidisseur d'air de suralimentation. À de très faibles régimes, lorsque les gaz d'échappement dans le turbocompresseur ne fournissent que peu d'énergie, le bypass se ferme et l'air est dirigé vers le compresseur électrique. Ce dernier est compact et peut être intégré de manière flexible à différents systèmes de suralimentation.

Audi a réalisé deux études techniques avec biturbo électrique. L'Audi A6 TDI concept fonctionne avec le nouveau 3.0 TDI monoturbo, l'Audi RS 5 TDI concept avec le 3.0 TDI biturbo. À l'état stationnaire, sans poussée supplémentaire, le moteur monoturbo délivre 240 kW (326 ch) et un couple de 650 Nm, ce dernier étant disponible entre 1 500 et 3 500 tr/min. Le compresseur électrique étoffe le déploiement du couple en dessous de cette plage, assurant ainsi des réponses rapides et d'excellentes reprises ; lors de l'accélération de 60 à 120 km/h en sixième, par exemple, 8,3 secondes sont nécessaires au lieu de 13,7 secondes.

Le V6 biturbo modifié est encore plus impressionnant dans l'Audi RS 5 TDI concept ; il développe 283 kW (385 ch) et son couple maximal s'élève à 750 Nm dans la plage de 1 250 à 2 000 tr/min. Au démarrage, le compresseur électrique fournit un couple musclé. Si le conducteur laisse le pied enfoncé sur la pédale d'accélérateur, la barre des 100 km/h est franchie après environ quatre secondes. Directement après chaque changement de vitesse, la pression de suralimentation est à nouveau disponible grâce à l'interaction intelligente des deux turbocompresseurs.

L'aspect le plus impressionnant des deux études techniques est toutefois le déploiement rapide et presque sans retard de la puissance même aux bas régimes. Le biturbo électrique présente des atouts bien utiles lors de l'utilisation quotidienne. Il évite de rétrograder souvent et maintient de ce fait le régime à bas niveau. Les conducteurs sportifs apprécieront tout particulièrement les reprises lors des dépassements et le déploiement spontané de la puissance à la sortie des virages. Le biturbo électrique convient à la mise en œuvre dans de nombreuses gammes d'Audi, aussi en association avec un moteur à essence. Il sera bientôt fabriqué en série pour les moteurs TDI.

L'énergie nécessaire à l'entraînement du compresseur électrique est obtenue sans consommation supplémentaire en récupérant l'énergie cinétique en poussée. Pour l'alimentation électrique, le compresseur se sert d'un réseau de bord de 48 volts indépendant avec sa propre batterie lithium-ion située dans le coffre à bagages et une électronique de puissance. Un convertisseur CC/CC assure la connexion au réseau de bord de 12 volts.

Le nouveau réseau partiel de 48 volts présente des avantages de taille. Il pourra alimenter les futurs consommateurs électriques plus puissants, tels que des éléments chauffants thermoélectriques, les freins arrière électromécaniques ou les organes auxiliaires du moteur comme les pompes à huile et à eau, avec davantage d'énergie que le réseau de 12 volts. La tension supérieure signifie également que l'intensité du courant diminue, ce qui a pour conséquence des sections de câble inférieures et donc un gain de poids. Audi va bientôt lancer sur le marché le réseau de bord partiel de 48 volts dans plusieurs gammes de modèles.

En parallèle, les ingénieurs d'Audi planchent sur l'électrification de la chaîne cinématique. Une solution sur mesure sera proposée à chaque client. Les technologies modulaires hybrides offrent de nombreuses solutions - du biturbo électrique au TDI à technologie plug-in hybride rechargeable. L'interaction avec un moteur électrique ouvre de nouvelles perspectives et permet de repousser les points de charge, ce qui bénéficie aussi bien à la consommation qu'aux émissions polluantes. En ville, le moteur électrique permet un fonctionnement sans émissions directes.

Une autre possibilité intéressante dans le cadre de l'électrification est la transmission intégrale permanente électrique quattro, l'e-quattro. Audi l'a déjà présentée dans de nombreux véhicules conceptuels. Dans ce cas, le moteur TDI et le moteur électrique entraînent les roues avant, un second moteur électrique à l'arrière agissant sur les roues arrière. La batterie peut être logée en partie dans le tunnel de transmission.

## **L'e-diesel d'Audi**

Audi veut faire progresser le gazole de l'avenir et entreprend une approche inédite en coopération avec l'entreprise américaine Joule. Cette société de biotechnologie fondée en 2007, dont le siège est implanté à Bedford (état du Massachusetts/États-Unis) réalise des recherches sur la production de carburants synthétiques à base de microorganismes spécifiques : l'e-diesel et l'e-éthanol d'Audi. Tous deux ont un bilan carbone quasiment neutre, car lors de la combustion, seule la quantité de CO<sub>2</sub> liée pendant la phase de production est rejetée. Une voiture fonctionnant avec le carburant e-diesel d'Audi atteindrait, d'après les estimations actuelles, un bilan carbone équivalent à celui d'une voiture électrique dont la batterie fonctionnerait avec de l'électricité produite par des sources d'énergie renouvelables.

Pour obtenir l'e-diesel et l'e-éthanol d'Audi, il suffit de disposer d'eau, de CO<sub>2</sub>, d'énergie solaire et de microorganismes unicellulaires qui mesurent environ trois millièmes de millimètre. À l'instar des plantes, ces organismes recourent à la photosynthèse oxygénique : ils se servent de la lumière du soleil et du CO<sub>2</sub>, par exemple celui des gaz d'échappement, pour la production de glucides et pour leur croissance. En ce qui concerne leur milieu, ils n'ont pas besoin d'eau potable, mais se contentent d'eau de mer ou d'eau non potable. Lors de la photosynthèse oxygénique, de l'oxygène est libéré.

Les spécialistes de Joule ont modifié le processus de photosynthèse de telle sorte que les microorganismes produisent directement des alcanes - des composants importants du gazole - ou de l'éthanol à partir du dioxyde de carbone. Le carburant est ensuite séparé de l'eau et purifié.

L'e-diesel d'Audi présente l'avantage d'être très pur ; il est exempt de soufre et d'aromates, contrairement au gazole d'origine minérale, qui est un mélange de différents composés hydrocarbures. Du fait de son indice de cétane élevé, ce nouveau carburant s'enflamme facilement ; sa composition chimique permet de le mélanger dans un rapport quelconque avec le gazole d'origine fossile. L'e-diesel d'Audi peut être utilisé par les moteurs clean diesel d'Audi sans modification importante.



Audi et Joule ont construit en 2012 une installation de démonstration dans l'état du Nouveau-Mexique (États-Unis), une région ne convenant pas à l'agriculture et présentant un fort ensoleillement annuel. Leur coopération a débuté en 2011. L'entreprise américaine a déposé des brevets pour protéger cette technologie et coopère exclusivement avec la marque aux quatre anneaux dans le secteur automobile. Grâce à leur savoir-faire dans le domaine des essais des carburants et des moteurs ainsi que de l'analyse du cycle de vie (LCA), les ingénieurs Audi les aident à développer des carburants commercialisables et dont la production pourrait démarrer dans les années à venir.

Au-delà de sa coopération avec Joule, Audi s'engage activement dans la mise au point de carburants au bilan carbone neutre. L'installation de méthanisation de Werlte en Basse-Saxe (Allemagne), qui est la première installation « Power-to-Gas » industrielle dans le monde, produit du méthane synthétique, permettant ainsi le stockage de grandes quantités d'énergie éolienne et solaire. Pour cela, elle a uniquement besoin d'électricité renouvelable, d'eau et de CO<sub>2</sub>. Conjointement avec l'entreprise française Global Bioenergies, Audi s'intéresse actuellement à la synthétisation de l'essence (e-essence).

## **Les showcars d'Audi à moteur TDI**

Les études conceptuelles vont de 2005 à aujourd'hui. Elles mettent en œuvre des moteurs TDI à quatre, six, huit, dix et douze cylindres.

### **2007 : l'Audi Q7 coastline**

Une puissance de 368 kW (500 ch) et un couple de 1 000 Nm : l'étude conceptuelle Q7 V12 TDI présentée par Audi en janvier 2007 au salon automobile de Detroit annonce le modèle de série commercialisé en 2008. Avec ses performances, l'étude SUV relève de la catégorie des voitures de sport : l'accélération de 0 à 100 km/h se fait en 5,5 secondes et la vitesse est limitée par l'électronique à 250 km/h.

Côté technique, le TDI de six litres correspond à l'état de la série. L'installation d'injection par rampe commune avec ses piézo-injecteurs produit une pression allant jusqu'à 2 000 bars. Les deux turbocompresseurs à géométrie variable produisent une pression de suralimentation relative pouvant atteindre 1,6 bar. Le carter-moteur est en fonte au graphite vermiculaire, les rangées de cylindres présentent un angle d'ouverture idéal de 60 degrés. Le V12 diesel d'Audi fascine également par sa remarquable régularité de fonctionnement.

### **2008 : les Audi R8 V12 concept et la R8 TDI Le Mans**

Début 2008, Audi dévoile l'Audi R8 V12 TDI concept à Detroit ; quelques semaines plus tard, la R8 TDI Le Mans de construction identique est exposée au salon de l'automobile de Genève. Avec ces deux études, la marque se réfère aux victoires remportées en 2006 et 2007 par l'Audi R10 TDI aux 24 H du Mans.

Tout comme sur la voiture de course, un V12 TDI d'une cylindrée de six litres anime le véhicule conceptuel. Le moteur central est placé directement derrière le conducteur et le passager avant, l'espace de rangement pour sacs de golf de l'Audi R8 étant supprimé. La puissance de 368 kW (500 ch) et un couple de 1 000 Nm disponible à 1 750 tr/min permettent à la biplace d'accélérer de 0 à 100 km/h en 4,2 secondes et d'atteindre une vitesse maximale supérieure à 100 km/h. D'après les calculs, la consommation est inférieure à 10 litres aux 100 kilomètres.

### **2008 : l'Audi A3 TDI clubsport quattro**

L'Audi A3 TDI clubsport quattro est présentée pour la première fois en mai 2008. Elle délivre 165 kW (224 ch) et un couple de 450 Nm à 1 750 tr/min. Elle accélère de 0 à 100 km/h en 6,6 secondes et sa vitesse de pointe s'élève à 240 km/h.

La puissance volumétrique du diesel de deux litres s'élève à 83,8 kW (113,8 ch), son couple spécifique à 228,7 Nm. Un turbocompresseur agrandi à géométrie variable comprime l'air dans les chambres de combustion et l'installation d'injection par rampe commune produit une pression de 1 800 bars. Des chambres de résonance activables dans les embouts du système d'échappement confèrent au 2.0 TDI sa belle sonorité.

### **2010 : l'Audi e-tron Spyder**

L'Audi e-tron Spyder, l'une des vedettes du salon de l'automobile de Paris en 2010, est un roadster décapotable d'une longueur de quatre mètres. Elle présente une structure en aluminium de construction Audi Space Frame, une enveloppe extérieure en matière plastique renforcée par fibres de carbone et une propulsion hybride rechargeable.

Le TDI de trois litres avec suralimentation par biturbo et propulsion arrière affiche une puissance de 221 kW (300 ch) et un couple de 650 Nm. Deux moteurs électriques de 64 kW et 352 Nm entraînent les roues avant ; ils peuvent être commandés indépendamment pour une meilleure répartition du couple entre les roues. L'alimentation électrique se fait par une batterie lithium-ion de 9,1 kWh. L'autonomie en mode électrique s'élève à 50 kilomètres ; l'Audi e-tron Spyder consomme 2,2 litres de carburant aux 100 kilomètres (59 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre). Les caractéristiques techniques : de 0 à 100 km/h en 4,4 secondes, vitesse maximale 250 km/h (limitation par l'électronique)

### **2013 : Audi nanuk quattro concept**

Au salon de l'automobile de Francfort, Audi présente l'étude technique Audi nanuk quattro concept. Ce crossover d'un coupé à deux places associe la dynamique d'une voiture de sport hautes performances à la compétence quattro d'Audi – sur route, sur circuit et en tout-terrain.

Le moteur est un V10 TDI à montage longitudinal devant l'essieu arrière. À partir d'une cylindrée de 5,0 litres, le puissant diesel tire une puissance de plus de 400 kW (544 ch) et déploie un couple de 1 000 Nm dès 1 500 tr/min. Il utilise une suralimentation par biturbo à registres ainsi que l'Audi valvelift system (AVS), des technologies qu'Audi a entre-temps encore perfectionnées. L'installation d'injection par rampe commune fournit une pression pouvant atteindre 2 500 bars. L'Audi nanuk quattro concept accélère de 0 à 100 km/h en 3,8 secondes et sa vitesse de pointe s'élève à 305 km/h. Sa consommation moyenne est de 7,8 litres de carburant aux 100 km.

### **2005 à 2009 : les autres showcars à moteur TDI**

Outre les véhicules conceptuels décrits plus haut, Audi a présenté d'autres études à moteur TDI. Au salon de Detroit de 2005, l'Audi allroad quattro concept présente le nouveau V8 diesel de l'époque, qui sera fabriqué peu après en série. En 2008, c'est le tour de la Cross Coupé quattro à Shanghai et de la Cross Cabriolet quattro à Los Angeles. La deux portes fermée est animée par un 2.0 TDI, le cabriolet par un diesel de trois litres. Début 2009, la Sportback concept est exposée sur le stand d'Audi à Detroit. Le prédécesseur de l'Audi A7 Sportback est animé par le 3.0 TDI clean diesel avec catalyseur SCR (réduction catalytique sélective).



## **Les jalons technologiques**

Depuis sa première présentation en 1989, Audi n'a cessé de perfectionner le moteur TDI. Au cours de ces 25 années, la marque aux anneaux a creusé son avance tout en posant de multiples jalons.

### **Les années 1970 : la pression créée par la crise pétrolière**

Chez AUDI AG, le développement du TDI commence au milieu des années 1970. Dans le contexte de la crise pétrolière, l'ordre est donné de créer un moteur sobre. Pendant le pré-développement, une équipe formée de 10 ingénieurs Audi opte pour le procédé multijet. Le fournisseur Bosch met au point une pompe d'injection à piston axial et régulation électronique produisant une pression jusqu'à 900 bars.

Dans ce système, des supports à deux ressorts ouvrent les aiguilles des injecteurs sur deux niveaux de course différente. Ceci permet de pré-injecter de faibles quantités de carburant, ce qui améliore la combustion et le niveau sonore.

### **1989 : le 2.5 TDI**

En 1989, Audi présente au salon de l'automobile de Francfort un jalon de la technique : le moteur 2.5 TDI monté dans une Audi 100. Le cinq cylindres en ligne d'une cylindrée de 2 461 cm<sup>3</sup> est un turbodiesel à injection directe et gestion entièrement électronique – le premier TDI du monde. À l'époque, personne ne sait qu'il va permettre au moteur diesel de s'imposer dans la série en Europe et marquer le début d'une nouvelle ère.

Affichant une puissance de 88 kW (120 ch) et un couple de 265 Nm disponible à 2 250 tr/min, son déploiement de puissance fixe la nouvelle référence face à la concurrence. L'Audi 100 2.5 TDI atteint une vitesse de pointe de presque 200 km/h, mais ne consomme en moyenne, selon la norme de l'époque, que 5,7 litres de carburant aux 100 kilomètres. À partir de 1994, le cinq cylindres associé à une nouvelle pompe à piston radial, un catalyseur à oxydation et un système de recyclage des gaz d'échappement développe 103 kW (140 ch) dans l'Audi A6. Une version de 85 kW (115 ch) est disponible au choix.

### **1991 : le 1.9 TDI avec compresseur à géométrie variable (VTG)**

Les moteurs TDI d'Audi partent aussi à la conquête de la catégorie moyenne. En 1991, l'Audi 80 est équipée du 1.9 TDI à quatre cylindres d'une puissance de 66 kW (90 ch) et d'un couple de 182 Nm. Quatre ans plus tard, une variante perfectionnée de 81 kW (110 ch) suit dans l'Audi A4. Le surplus de puissance est dû surtout au nouveau turbocompresseur à pales réglables du côté échappement. Le compresseur à géométrie variable permet un déploiement harmonieux et précoce du couple dès 1 700 tr/min.

### **1997 : le premier V6 TDI du monde**

En 1997, Audi fait à nouveau figure de pionnier avec le premier V6 TDI du monde. Cette fois-ci, l'innovation dans le domaine des moteurs diesel pour automobiles consiste à associer un V6 TDI et une culasse à quatre soupapes. Le moteur de 2,5 litres présente une puissance de 110 kW (150 ch) et un couple de 310 Nm. Il se distingue par des solutions comme les conduits de turbulence et tangentiels dans l'admission ainsi qu'une pompe d'injection à piston radial pouvant produire une pression jusqu'à 1 850 bars. Le 2.5 TDI dans sa dernière variante en date de 132 kW (180 ch) est mis en œuvre dans l'A4, l'A6 et l'A8.

### **1999 : le V8 TDI**

Une cylindrée de 3 328 cm<sup>3</sup>, quatre arbres à cames en tête, 32 soupapes et deux compresseurs à géométrie variable : le V8 TDI, qui équipe de série l'Audi A8 depuis octobre 1999, est un concentré de haute technologie. Son carter-moteur est réalisé en fonte au graphite vermiculaire légère et très résistante et l'air de suralimentation et les gaz d'échappement recyclés sont refroidis par eau. Une installation à rampe commune – à l'époque, une innovation chez Audi – procède à l'injection du carburant à une pression de 1 350 bars. Avec 165 kW (225 ch) et un couple de 480 Nm, le V8 TDI est un moteur au fonctionnement régulier et silencieux ; il établit un nouveau record en atteignant une vitesse maximale de 242 km/h.

## **2001 : le 1.2 TDI**

En 2001, Audi monte de nouveau la barre plus haut. L'Audi A2 1.2 TDI affiche une consommation moyenne de 2,99 litres aux 100 kilomètres (81 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre). La carrosserie résolument aérodynamique en aluminium est animée par un trois cylindres d'une cylindrée de 1,2 litre, d'une puissance de 45 kW (61 ch) et d'un couple de 140 Nm. Le moteur à deux soupapes par cylindre est associé à un compresseur à géométrie variable et à une injection injecteur-pompe fournissant une pression de 2 050 bars – une technologie développée par le groupe Volkswagen et introduite l'année précédente par Audi. À ce jour, l'A2 1.2 TDI est la seule automobile à cinq portes du monde à ne consommer que trois litres.

## **2004 : le 3.0 TDI**

Le 3.0 TDI, qui fait ses débuts en 2004, est le premier membre des nouveaux moteurs en V d'Audi présentant un angle d'ouverture de 90 degrés, un écart de 90 millimètres entre les cylindres et un entraînement par chaîne à l'arrière du moteur. Comme sur tous les gros moteurs diesel Audi, son carter-moteur est réalisé en fonte au graphite vermiculaire légère et très résistante. Un filtre à particules diesel – une nouveauté chez Audi – épure les gaz d'échappement.

Autre nouveauté : les piézo-injecteurs en ligne. Ils sont en mesure d'injecter d'infimes quantités de carburant et de réaliser plusieurs injections de suite grâce à leur ouverture et leur fermeture ultrarapides. Grâce à eux, la pression peut être finement dosée jusqu'à 1 600 bars maximum et la combustion se déroule en douceur, permettant ainsi un fonctionnement silencieux. Le V6 TDI existe en trois versions de 150 kW (204 ch), 165 kW (224 ch) et 171 kW (233 ch). Il est mis en œuvre dans de nombreux modèles de la gamme Audi. En 2009, la seconde génération est commercialisée.

## **2008 : le V12 TDI**

Le douze cylindres mis en œuvre fin 2008 dans la Q7 constitue le couronnement de la technologie TDI d'Audi. Il s'agit de la plus puissante automobile de série à moteur diesel du monde. Elle est caractérisée par une installation d'injection par rampe commune produisant une pression de 2 000 bars et deux compresseurs à géométrie variable. L'angle d'ouverture de 60 degrés assure une excellente compensation des masses et donc un fonctionnement très régulier.

Le V12 TDI d'une cylindrée de 6,0 litres délivre 368 kW (500 ch) et un couple de 1 000 Nm disponible de 1 750 à 3 250 tr/min. Grâce à lui, le grand SUV accélère de 0 à 100 km/h en 5,5 secondes, comme une voiture de sport, et atteint une vitesse maximale limitée à 250 km/h par l'électronique.

## **2009 : le 3.0 TDI clean diesel**

Face aux prescriptions toujours plus sévères concernant les gaz d'échappement, surtout aux États-Unis, Audi réagit en 2009 en commercialisant la technologie clean diesel.

Le 3.0 TDI clean diesel présente une installation d'injection par rampe commune d'une pression de 2 000 bars et de nouveaux capteurs de chambre de combustion. La fine vaporisation du carburant et sa combustion précise garantissent de faibles émissions brutes. Un catalyseur SCR (réduction catalytique sélective) réduit les oxydes d'azote dans le système d'échappement. L'additif AdBlue à base aqueuse injecté se transforme au contact des gaz d'échappement très chauds en ammoniac qui réagit avec les oxydes d'azote pour donner de l'eau et de l'azote.

En 2013, un nouvel ensemble réunit les deux composants : le filtre à particules diesel avec revêtement à réduction catalytique sélective. Ici, des substrats céramiques – du titanate d'aluminium ou du carbure de silicium – sur les parois du filtre assurent la conversion des oxydes d'azote. Un catalyseur de rétention (ASC) destiné à éviter les rejets d'ammoniac en aval décompose les molécules résiduelles d'ammoniac qui peuvent se présenter aux charges élevées.

## **Glossaire TDI**

De A comme Audi 100 à T comme turbocompresseur à gaz d'échappement – Audi maîtrise à fond l'alphabet de la technologie diesel.

### **Audi 100 TDI (1989)**

En 1989, Audi présente au salon automobile de Francfort un jalon de la technique. Le cinq cylindres de l'Audi 100, avec sa cylindrée de 2 461 cm<sup>3</sup>, est le premier turbodiesel à injection directe et gestion entièrement électronique – le premier TDI. Affichant une puissance de 88 kW (120 ch) et un couple de 265 Nm disponible à 2 250 tr/min, le moteur à deux soupapes par cylindre est à la fois musclé et sobre.

Côté admission, des conduits de turbulence font tourbillonner l'air. La pompe d'injection à distributeur produit une pression jusqu'à 900 bars et les injecteurs à cinq trous assurent une vaporisation d'une grande précision. Le porte-buse à deux ressorts - l'une des grandes inventions dans le développement du TDI – rend possible une injection préliminaire qui confère plus de souplesse à la combustion et réduit le niveau acoustique. Le refroidisseur d'air de suralimentation abaisse la température de l'air comprimé.

### **Biturbo**

Le 3.0 TDI biturbo est le plus puissant V6 diesel d'Audi. Les deux compresseurs sont montés en série et reliés par une valve d'inversion. À bas régimes, cette valve reste fermée, le plus petit des deux turbocompresseurs à géométrie variable fournissant l'essentiel du travail et le plus gros assurant la précompression. À partir de 2 500 tr/min environ, la valve commence à s'ouvrir et le petit turbocompresseur délègue l'essentiel du travail à l'organe plus grand. Dans la plage entre 3 500 et 4 000 tr/min, la valve s'ouvre à fond et seul le gros turbocompresseur tourne.

Audi a continué à améliorer de nombreux détails du moteur et de ses organes sur la base de sa conception haute performance. Un volet logé dans le système d'échappement confère au moteur diesel une riche sonorité qui rappelle celle d'un huit cylindres. Le 3.0 TDI biturbo anime, entre autres, l'Audi SQ5 TDI, le premier modèle S d'Audi à moteur diesel.

### **Biturbo électrique**

Le biturbo électrique est une technologie inédite d'Audi. Le turbocompresseur à gaz d'échappement coopère ici avec un compresseur supplémentaire à entraînement électrique. La roue de turbine est remplacée par un petit moteur électrique qui accélère très vite la roue de compresseur à un régime très élevé.

Le compresseur électrique est situé en aval du refroidisseur d'air de suralimentation ; dans la plupart des états de fonctionnement, un bypass permet de l'éviter. Lorsque l'énergie contenue dans les gaz d'échappement est faible, aux bas régimes, le volet du bypass se ferme et le nouveau composant est activé. Cette nouvelle technologie rend possible un développement spontané de puissance au démarrage et aux bas régimes.

### **Catalyseur à réduction catalytique sélective (SCR)**

La réduction catalytique sélective décompose les oxydes d'azote contenus dans les gaz d'échappement. L'AdBlue, une solution contenue dans un réservoir, est injectée dans le catalyseur à réduction catalytique sélective. Au contact des gaz d'échappement brûlants, l'additif aqueux se transforme en ammoniac qui réagit avec les oxydes d'azote pour donner de l'azote non toxique et de l'eau. Dans le nouveau 3.0 TDI, Audi associe le catalyseur à réduction catalytique sélective et le filtre à particules diesel.

### **clean diesel**

Afin de satisfaire aux valeurs limites de la nouvelle norme antipollution Euro 6, Audi adapte tous ses moteurs TDI à la technologie clean diesel pour réduire fortement les émissions d'oxydes d'azote. Dans la plupart des cas, cela exige des mesures au niveau du moteur et du système d'échappement ; sur les moteurs et modèles plus compacts, il suffit d'ajouter un catalyseur DeNo<sub>x</sub>.

La technologie est un peu plus complexe pour les modèles et moteurs de grande taille. Le nouveau 3.0 TDI, par exemple, présente un catalyseur à oxydation agrandi ; dans la version de 160 kW (218 ch), il a un chauffage électrique. Le catalyseur à oxydation agrandi se trouve en position coaxiale en aval de la sortie de turbine du turbocompresseur. Pour la première fois dans la construction automobile, Audi combine dans un seul et même composant un catalyseur à accumulation pour les oxydes d'azote et un filtre à particules diesel avec injection déclenchant une réduction catalytique sélective (SCR). Un module de dosage injecte l'additif AdBlue.

### **e-diesel d'Audi**

L'e-diesel d'Audi est un carburant synthétique et à bilan carbone neutre de l'avenir. Il est produit lorsque des microorganismes vivant dans l'eau produisent par photosynthèse des alcanes à longue chaîne carbonée – des composants essentiels du gazole. Pour cela, ils ont uniquement besoin de lumière solaire et de CO<sub>2</sub>. Le nouveau carburant séduit par sa pureté chimique et son indice de cétane élevé.

Audi a construit en coopération avec l'entreprise de biotechnologie américaine Joule une installation de démonstration au Nouveau-Mexique (États-Unis) qui produit l'e-diesel et l'e-ethanol d'Audi. Les automobiles fonctionnant avec ces carburants sont tout aussi respectueuses de l'environnement que les automobiles électriques fonctionnant à l'électricité de source renouvelable.

### **Filtre à particules**

Lors de la combustion de gazole dans le moteur, des particules de suie se forment dans certaines parties des chambres de combustion. Afin de les éliminer, Audi met en œuvre des filtres à particules diesel qui atteignent un rendement de plus de 95 %.

Les particules qui pénètrent dans le filtre adhèrent aux parois poreuses. Ces dépôts sont régulièrement calcinés, le moment exact dépendant du style de conduite. La calcination est déclenchée par des post-injections tardives ciblées qui assurent un fort accroissement de la température des gaz d'échappement pendant une courte durée.

### **Fonte au graphite vermiculaire**

Dans les V6 TDI d'Audi et dans le huit cylindres, le carter-moteur est réalisé en fonte au graphite vermiculaire (GJV-450). Le matériau, qui est obtenu par un processus de coulée de haute technologie, présente une répartition vermiculaire du graphite et se distingue par une résistance extrême même à température élevée. Par comparaison à la fonte grise (GJL), il permet de réduire l'épaisseur des parois et donc le poids.

### **Frottement interne**

Audi a réduit de manière notable le frottement interne dans de nombreux moteurs TDI. Pour cela, la marque aux quatre anneaux a recouru à différents moyens dont des techniques d'usinage haut de gamme lors la fabrication, comme la gravure laser ou le rodage à l'aide d'un dispositif spécial des chemises de cylindre. Les chemises encore plus durables et plus précises permettent de minimiser les forces de serrage des segments de piston, les pistons glissant ainsi plus facilement. Des paliers de taille plus petite sur le vilebrequin, les bielles et les arbres à cames contribuent aussi à réduire le frottement.

Un autre champ novateur est constitué par les matériaux utilisés dans le moteur. Dans le nouveau 3.0 TDI, par exemple, le premier segment de piston présente un revêtement obtenu par un procédé inédit. Les axes des pistons comportent un mince revêtement en carbone adamantin (DLC).

### **Gestion thermique**

La gestion thermique permet de réduire la consommation des moteurs TDI de plusieurs pour cent. Selon le moteur, elle diffère dans le détail. Dans le nouveau 3.0 TDI, par exemple, le carter-moteur et les culasses ont des circuits de refroidissement indépendants. Pour réduire les pertes de pression, les chemises d'eau des culasses sont subdivisées en deux parties.



Pendant la phase de mise en température, le liquide de refroidissement ne circule pas, un bypass permettant d'éviter le radiateur d'huile. De cette manière, l'huile moteur atteint rapidement la température de service et la phase des pertes par frottement élevées dues à l'huile froide et de faible viscosité dans la commande de vilebrequin et des soupapes est nettement raccourcie. Le circuit des culasses alimente le chauffage de l'habitacle et le système de recyclage des gaz d'échappement. L'eau du carter-moteur ne circule pas en permanence lorsque le moteur est chaud et que la charge est faible, cela permettant d'économiser l'énergie nécessaire à l'entraînement de la pompe d'eau.

### **Hybridation**

Audi propose déjà différents modèles hybrides. Cette année, l'Audi A3 Sportback e-tron compacte à technologie hybride rechargeable sera commercialisée. Sous peu, la prochaine étape suivra, à savoir les nouveaux modèles avec moteur à montage longitudinal.

La plateforme longitudinale modulaire de la deuxième génération est conçue pour permettre l'association de moteurs électriques et de moteurs thermiques, y compris pour les TDI. Elle sera assemblée sur mesure pour chaque modèle. Audi a mis au point une matrice qui recouvre tous les degrés d'électrification jusqu'à la propulsion hybride rechargeable.

### **Injecteurs multitrous**

Les installations d'injection par rampe commune d'Audi sont des composants d'une extrême précision. Elles injectent d'infimes quantités de carburant dans les chambres de combustion où il pénètre à une pression pouvant atteindre 2 000 bars et à une vitesse correspondant à plusieurs fois la vitesse du son par le biais des injecteurs.

Dans certains moteurs, Audi recourt à des piézo-injecteurs à huit trous, chaque trou présentant un diamètre d'environ 0,1 millimètre seulement. Du fait de la vaporisation d'une finesse extrême, le carburant injecté permet un allumage et une combustion rapides, homogènes, silencieux et efficaces.

## **Organes auxiliaires**

Audi améliore également sans cesse l'efficacité énergétique des organes auxiliaires. Les nouvelles pompes à huile, par exemple, dont la régulation hydraulique se fait par le débit, ne consomment que l'énergie dont elles ont effectivement besoin. À moyen terme, Audi vise l'électrification des organes auxiliaires.

### **Piézo-électricité**

La piézo-électricité complète à la perfection l'injection par rampe commune. Les cristaux utilisés modifient leur structure en l'espace de millisecondes sous l'effet de la tension électrique qui est appliquée et se dilatent. Dans l'injecteur, plusieurs centaines de pastilles piézo sont empilées ; la dilatation de la pile est transmise directement (en ligne) à l'aiguille de l'injecteur sans mécanisme intermédiaire.

Après quelques millièmes de seconde à peine, les injecteurs se referment. Il est ainsi possible de doser la quantité injectée jusqu'à 0,8 milligramme seulement, soit moins d'un millième de gramme.

### **Rampe commune**

Une installation d'injection par rampe commune est un réservoir à haute pression en forme de tube qui maintient le carburant à une pression constante et élevée. Dans les moteurs de série d'Audi, elle peut atteindre 2 000 bars. La rampe commune est remplie par une pompe entraînée par le moteur. De courtes conduites en acier raccordent les injecteurs à la rampe et des impulsions électriques commandent son ouverture et sa fermeture.

La rampe commune dissocie le maintien de la pression et l'injection, permettant ainsi aux ingénieurs de définir librement les injections dans la cartographie. Cela leur donne une grande liberté - jusqu'à neuf injections sont possibles par temps de travail. Les injections préliminaires assurent une montée en douceur de la pression et donc une combustion silencieuse, tandis que les post-injections réduisent les émissions polluantes et permettent la régénération du filtre à particules.

## **Recyclage des gaz d'échappement (EGR)**

Lorsque la température de combustion est élevée, des oxydes d'azote se forment dans le moteur thermique. Une grande partie de ces oxydes peut être évitée grâce au recyclage des gaz. Sur les moteurs TDI d'Audi, le système de recyclage renvoie une grande partie des gaz d'échappement dans les chambres de combustion, faisant ainsi baisser le taux en air frais riche en oxygène et donc la température de combustion.

Audi l'introduit dès son premier TDI : le cinq cylindres de 2,5 litres en est équipé dans sa version de 1994. Afin d'accroître encore son efficacité, presque tous les moteurs disposent aujourd'hui d'un système refroidi. En revenant vers le moteur, les gaz d'échappement traversent un refroidisseur à eau. Le nouveau 2.0 TDI et le futur 1.4 TDI combinent un système de recyclage refroidi et un système non refroidi.

## **Refroidisseur d'air de suralimentation**

Lorsque le turbocompresseur comprime l'air d'admission, la température de l'air monte jusqu'à 200 degrés Celsius. Or, l'air chaud présente une densité plus faible et contient moins d'oxygène pour entretenir la combustion. C'est pourquoi un refroidisseur d'air de suralimentation placé en aval du turbocompresseur refroidit l'air comprimé avant qu'il entre dans la chambre de combustion.

Chez Audi, les refroidisseurs d'air de suralimentation font partie de l'équipement standard. Pour le refroidissement, ils se servent selon leur forme d'air et/ou d'eau sortant du circuit de refroidissement. Les ingénieurs Audi veillent également à atteindre une efficacité maximale sur le refroidisseur d'air de suralimentation – qu'il s'agisse du poids, du rendement ou de la réduction de la résistance à l'écoulement.

## **Technique à 4 soupapes par cylindre**

Les moteurs à quatre soupapes par cylindre sont plus efficaces que ceux à deux soupapes, car le transfert des gaz est plus rapide et le degré de remplissage est plus élevé. La combustion étant améliorée, ces moteurs permettent d'obtenir une puissance et un couple supérieurs malgré une consommation plus faible et des émissions réduites.

Pour le moteur diesel, Audi a introduit en 1997 avec le V6 TDI de 2,5 litres la technique des quatre soupapes par cylindre avec deux arbres à cames en tête. Elle permet de placer la buse d'injection à l'endroit idéal, à savoir juste au milieu de la chambre de combustion. Un autre grand avantage est constitué par les deux conduits d'admission. Dans le conduit de turbulence, l'air admis est tourbillonné à faible charge et régime, accroissant ainsi le couple. Le conduit tangentiel améliore la dynamique grâce à une résistance réduite aux régimes élevés.

### **Turbine à géométrie variable**

Tous les moteurs TDI d'Audi ont une turbine à géométrie variable (VTG). Elle permet un déploiement spontané et harmonieux du couple dès la plage des bas régimes. Lorsque le conducteur accélère à fond, l'angle des pales de la turbine diminue. La section d'entrée dans la turbine est réduite. Ceci force les gaz d'échappement à y pénétrer à une vitesse supérieure. La roue de turbine tourne plus rapidement, contribuant à une augmentation du volume d'air frais refoulé et à un développement spontané de la pression de suralimentation.

Lorsque la quantité de gaz d'échappement augmente ou lorsque les besoins en pression de suralimentation diminuent, les pales reprennent leur position d'origine plus inclinée. La section d'entrée augmente et les gaz d'échappement entrent plus lentement. La roue de turbine tourne moins vite, tandis que la pression de suralimentation et la puissance de la turbine restent quasiment inchangées. Dans les grands moteurs TDI, Audi recourt à des actionneurs électriques ; dans les moteurs à quatre cylindres, les actionneurs sont pneumatiques.

### **Turbocompresseur à gaz d'échappement**

Un turbocompresseur se compose d'une turbine entraînée par les gaz d'échappement et d'un compresseur d'air d'admission. Les deux composants sont situés face à face sur le même arbre ; leur régime maximal peut dépasser 200 000 tr/min. Les turbocompresseurs d'Audi génèrent une pression relative de jusqu'à 2,2 bars. Le 3.0 TDI biturbo comprime théoriquement à pleine charge 1 200 mètres cubes d'air par heure.



À l'avenir, le biturbo électrique va venir s'ajouter aux monoturbos et biturbos du programme de véhicules. Audi continue à développer la technologie du turbo dans tous les domaines afin d'en améliorer la réponse, le rendement, le poids et le niveau acoustique.

– Fin –

AUDI AG a vendu 1.575.500 véhicules en 2013. Le constructeur a atteint un chiffre d'affaires de 49,9 milliards d'€ et un résultat opérationnel de 5,03 milliards d'€ en 2012. Les automobiles Audi sont produites à Ingolstadt (A3, A4, A5, Q5), Neckarsulm (A5 Cabriolet, A6, A7, A8, R8), Győr (A3 Berline, TT) et Bruxelles (A1). Les usines de Changchun, Foshan et Aurangabad assemblent des voitures uniquement pour les marchés locaux. L'usine de Győr a aussi produit 1.926.724 moteurs en 2013. En 2015, Audi démarrera la production à São José dos Pinhais (Brésil), puis San José Chiapa (Mexique) en 2016. Le groupe AUDI AG est présent dans plus de 100 marchés à travers le monde et possède aussi les filiales suivantes détenues à 100 % : Audi Hungaria Motor, Automobili Lamborghini Holding S.p.A à Sant'Agata Bolognese en Italie, AUDI BRUSSELS S.A./N.V. (Bruxelles, Belgique), quattro GmbH à Neckarsulm, Ital Design (Italie) et Ducati Motor Holding S.p.A. (Bologne, Italie).

AUDI AG emploie plus de 73.500 personnes dans le monde, dont plus de 52.500 en Allemagne. AUDI AG planifie d'investir 22 milliards d'€ d'ici à 2018 principalement dans de nouveaux produits et les technologies durables. Audi a établi le principe de durabilité dans ses produits et ses processus. Son objectif sur le long-terme est la mobilité à zéro émission de CO<sub>2</sub>.

En France, en 2013, Audi a enregistré 59.907 immatriculations.

En cette année 2014, Audi France célébrera la 8<sup>ème</sup> édition des Audi talents awards, programme d'engagement sociétal dont la vocation est de faire émerger et accompagner les jeunes talents dans les domaines de l'art contemporain, du design, du court métrage et de la musique à l'image. Illustration de l'avant-gardisme, valeur fondamentale de l'entreprise, cette initiative aujourd'hui reconnue dans le paysage culturel français se démarque par des programmes d'accompagnement des lauréats toujours plus performants.

Acteur majeur des grandes courses automobiles avec l'Audi RS 5 DTM et Audi R18 TDI e-tron quattro, partenaire officiel des Fédérations Internationale et Française de Ski, Audi s'engage en compétition pour éprouver les dernières innovations technologiques.