



PORSCHE



50 Years of the Porsche 911 – Tradition: Future

## Information presse

Les innovations

## Les innovations

Depuis cinq décennies, la Porsche 911 constitue une référence absolue en matière de performances et d'efficacité sur son segment. À chaque nouvelle génération, elle met la barre un peu plus haut. Invariablement, les ingénieurs de Zuffenhausen et Weissach parviennent à réinventer la 911 et à démontrer avec éclat la capacité d'innovation de la marque Porsche. Bien que la 911 ait toujours fait la course en tête sur le plan sportif, les performances n'ont jamais été la préoccupation exclusive des développeurs. La 911 s'est toujours distinguée par des idées brillantes et des technologies associant performances, praticité, sécurité et durabilité.

### 1963 : Direction de sécurité en trois éléments

Pour ses premiers tours de roue en 1963, la Porsche 911 fut dotée d'une direction à crémaillère rapidement saluée par les observateurs pour sa précision et sa franchise. Cette direction s'intégrait dans la stratégie de sécurité globale de la voiture puisque la tringlerie de direction était conçue en trois parties, avec le boîtier de direction au milieu de la voiture. C'est pourquoi, en cas de choc frontal, le volant ne se déplaçait pas vers le conducteur, mais s'en écartait grâce à l'angle de la barre de direction, ainsi qu'à la présence de tubes antichoc et de dispositifs de désemboîtement. Porsche œuvra sans cesse au perfectionnement de la direction de sécurité. Sur les générations suivantes, un tube grillagé fut ajouté pour servir d'élément de déformation. En 1991, Porsche fut le premier constructeur automobile à doter tous ses modèles d'airbags conducteur et passager de série.

### 1965 : Arceau de sécurité Targa

« Le premier cabriolet au monde avec sécurité de série ». Tel était le slogan utilisé par Porsche pour présenter la toute première 911 Targa au Salon de l'automobile de Francfort en septembre 1965. L'innovation majeure du nouveau modèle résidait dans l'arceau Targa fixe, inspiré de l'arceau de sécurité utilisé en compétition automobile et garantissant un haut niveau de protection pour les occupants. Avec son toit pliant amovible et sa lunette arrière en plastique escamotable, la 911 Targa était extrêmement évolutive et offrait aux

occupants pas moins de quatre variantes d'ouverture. Le concept de capote breveté en août 1965 présentait d'autres avantages, puisqu'il empêchait le toit souple de se gonfler hideusement à vitesse élevée et coupait court aux déformations habituelles de la carrosserie sur les cabriolets de l'époque. L'idée centrale de la 911 Targa était pourtant ailleurs, à savoir dans son niveau élevé de sécurité passive. Cet avantage était d'ailleurs reconnu par les clients puisque, au début des années soixante-dix, la Targa représentait 40 pour cent des ventes de la gamme 911.

### **1966 : Freins à disques ventilés**

Le refroidissement efficace des freins est un élément important sur une voiture à hautes performances. C'est une condition sine qua non pour que la voiture, même à vitesse élevée, puisse ralentir efficacement tout en restant stable. Porsche introduisit les disques de freins ventilés intérieurement dès 1966 sur la 911 S. Ces disques ont une double paroi de manière à ce que l'air puisse circuler à l'intérieur pour réduire la chaleur de frottement. Les perforations ont par ailleurs l'avantage d'évacuer plus rapidement l'eau projetée sur les disques. Sur les modèles de 911 ultérieurs, les ingénieurs amélioreront encore le refroidissement en dotant le système de freinage de prises d'air dynamique, conduisant l'air frais des ouïes du becquet avant aux disques de frein. Aucun constructeur n'a investi autant que Porsche dans les systèmes de freinage de ses voitures de série. Car aucun autre constructeur n'a accumulé autant d'expérience en compétition. De fait, Porsche a toujours développé les systèmes de freinage de ses voitures de course en interne. Le fruit de ces efforts se traduit par des systèmes de freinage d'une durée de vie extrêmement longue et contribuant ainsi à l'obtention d'une précision de conduite extrême. Les modèles de série de Porsche ont toujours affiché les distances de freinage les plus courtes sur leur segment. Un argument majeur en termes de sécurité sur la route.

### **1972 : Becquets avant et arrière**

Les ingénieurs Porsche ont toujours travaillé à peaufiner la 911 dans sa totalité. Directement héritées de la compétition automobile, les améliorations aérodynamiques font partie de ces efforts avec l'arrivée du premier becquet avant en 1971. Le becquet avant a d'abord fait son apparition sur la 911 S avant d'orner la 911 E. Canalisant l'air sur les côtés, il ré-

duisait ainsi la portance sur l'avant de la voiture. Il en résultait ainsi une meilleure stabilité directionnelle et une plus grande gouvernabilité. La 911 T adopta elle aussi le becquet avant un an plus tard. L'aileron arrière fut inauguré sur la 911 Carrera RS 2.7. La mythique « queue de canard » fut l'une des raisons pour lesquelles la 2.7 devint « culte » auprès des amateurs. L'autre aileron arrière à avoir marqué les esprits était celui de la 911 Turbo. Coiffant tout l'arrière de son empennage plat et massif, il n'avait pas qu'une fonction aérodynamique, mais symbolisait à lui seul la puissance et la rapidité du moteur turbo. Techniquement parlant, les becquets avant et arrière améliorent l'aérodynamisme de la voiture au bénéfice de la stabilité directionnelle, des caractéristiques de freinage et de direction, mais aussi du comportement en virage et de la tenue au vent latéral, notamment à vitesse élevée. Ils dirigent l'air autour de la voiture (becquet avant) et l'empêchent d'arriver en excès sous la voiture, ce qui entraînerait un effet de portance inutile et un fort tourbillonnement sous la caisse, surtout en l'absence de carénage inférieur. L'aileron arrière a pour fonction de déléster l'air enveloppant la voiture à l'endroit opportun, à savoir au niveau de l'arête de décollement, et ce avec le moins de tourbillons possible. La forme d'aile d'avion renversée donnée à l'aileron arrière permet d'augmenter la pression appliquée sur les roues arrière et de générer une portance négative, également appelée déportance. L'optimisation de la circulation de l'air autour du véhicule et le contrôle du décollement améliorent la vitesse maximale et abaissent la consommation de carburant.

### **1973 : Suralimentation turbo**

La quête d'une combustion optimum du mélange air-carburant est presque aussi ancienne que le moteur à combustion lui-même. L'objectif des techniciens est de faire entrer le plus d'air possible dans les cylindres pour que, une fois comprimé et mélangé au carburant, il puisse générer une pression de travail élevée sous l'effet de la combustion et, du même coup, une forte puissance. Présentée en 1973, la 911 Turbo était une étudiante novatrice, car son moteur turbo 3 litres disposait d'un régulateur de pression de suralimentation côté échappement qui avait fait toutes ses preuves en course. Avec la 911 Turbo, commercialisée en 1974, Porsche fut le premier constructeur automobile à adapter le turbocompresseur aux situations de conduite rencontrées. Les ingénieurs remplacèrent le traditionnel régulateur de surpression côté admission par un régulateur côté échappement. Pour éviter toute

surpression indésirable en décélération ou en charge partielle, les gaz d'échappement en excès étaient conduits à travers une conduite de dérivation (« by-pass ») et non à travers la turbine à gaz. Pour rétablir la pression de suralimentation en régime d'accélération, la vanne de by-pass se refermait et la turbine pouvait fonctionner à pleine puissance dans le flux des gaz d'échappement.

### **1975 : Carrosserie galvanisée à chaud**

Dès 1975, Porsche s'attaqua au problème de la corrosion avec un grand succès. La 911 fut la première voiture de série à disposer d'une carrosserie galvanisée à chaud sur les deux côtés. Porsche put ainsi délivrer une garantie de six ans contre la corrosion, portée à sept ans à partir de l'année-modèle 1981, puis à dix ans par la suite. Ce traitement de la caisse en blanc améliore à la fois la durée de vie et la sécurité de la voiture, car il maintient la rigidité globale et la sécurité en cas de collision, et ce au fil des années. De façon générale, il a contribué à établir la réputation de longévité de la 911, puisque deux tiers des 911 construites depuis 50 ans sont encore immatriculées aujourd'hui. L'adoption en série de la galvanisation à chaud a été précédée de nombreux essais. Notamment avec des carrosseries en acier spécial inoxydable. Trois prototypes argentés furent construits sur cette base, dont l'un est exposé au musée des sciences Deutsches Museum de Munich. Toutefois, les ingénieurs délaissèrent l'acier spécial au profit de la galvanisation à chaud de la caisse en blanc, étant donné que ce dernier procédé était plus facile à réaliser en production. Le passage des prototypes à travers un bain d'eau saline est entré dans la légende et faisait partie du parcours d'essai destiné à tester la résistance à la corrosion sur le site de Weissach.

### **1977 : Refroidissement de l'air de suralimentation**

L'un des secrets du succès de la 911 réside dans le développement constant et méthodique de nouvelles solutions technologiques. Année après année, la 911 a connu d'innombrables améliorations à tous les niveaux, se rapprochant ainsi de l'idéal d'une sportive parfaite telle que Ferry Porsche l'imaginait. C'est la même philosophie qui présida au développement de la 911 Turbo. Issu de la compétition, le refroidisseur constituait une innovation mondiale sur une voiture de série. L'échangeur air-air pouvait abaisser la température d'admission de

l'air de 100 degrés Celsius, offrant au moteur plus de puissance et de couple sur toutes les plages de régime. En effet, plus les gaz sont refroidis, plus leur densité est élevée avec, à la clé, un meilleur remplissage du moteur. Le résultat se traduisait par une puissance magistrale de 300 ch à 5 500 tr/min et un couple de 412 Nm. Le refroidissement de l'air de suralimentation a pour autre avantage de réduire la charge thermique du moteur. Et si la température des gaz d'échappement diminue, les rejets de substances nocives sont également en recul, tout comme la consommation de carburant. Enfin, l'indétonance (résistance au cliquetis) s'en trouve améliorée et l'autoallumage du mélange pour cause de températures excessives est quasiment exclu.

### **1983 : Gestion moteur numérique**

La gestion moteur numérique (DME) fit son arrivée en 1983 avec le nouveau moteur atmosphérique 3,2 litres. Elle avait pour principaux avantages d'abaisser la consommation de carburant, de permettre une combustion propre et donc un rendement maximum. Le système fonctionnait avec un organe de commande commun, au sein duquel toutes les conditions de fonctionnement du moteur étaient programmées. À chaque régime, chaque température et chaque position de la pédale d'accélérateur correspondaient le débit d'injection idoine et le point d'allumage précis. Le système de gestion moteur numérique était complété judicieusement par la coupure d'injection en décélération et par une régulation électronique du régime de ralenti à l'allumage de groupes auxiliaires. La régulation anticliquetis garantissait de bonnes conditions de fonctionnement pour le moteur. La gestion numérique DME pouvait être combinée avec différents systèmes d'injection en fonction du moteur.

### **1988 : Transmission intégrale**

Le fleuron technologique qu'était la 959 avait permis à Porsche d'accumuler une grande expérience de la transmission intégrale. Fabriquée en peu d'exemplaires dans le cadre d'une série spéciale, elle trouva sa prolongation dans la toute première voiture de sport de série à quatre roues motrices de Porsche, la 911 Carrera 4, présentée en 1988. Pour optimiser le comportement dynamique, la 959 embarquait un blocage interponts à réglage électronique en continu et le couple était réparti entre les deux axes en fonction de la ré-

partition de charge par roue et du coefficient de frottement des roues sur le revêtement. Assurée par une boîte de transfert à train planétaire, la répartition du couple entre essieu avant et essieu arrière de la Carrera 4 était de 31–69 %. Le blocage interponts et le blocage interroues à commande hydraulique permettaient de modifier le rapport de répartition quasiment en continu. Leur fonctionnement était contrôlé par un système électronique intégré au boîtier de commande ABS. La version suivante de la Carrera 4, dévoilée en 1994, marqua une étape importante dans l'évolution de la transmission intégrale Porsche avec, au rang des innovations techniques, un viscocoupleur parfaitement adapté et très léger (coupleur interponts).

### **1989 : Tiptronic**

À partir de 1989, Porsche proposa une toute nouvelle boîte de vitesses sur la 911 de type 964. La Tiptronic opérait une synthèse idéale entre confort et sportivité. Ses performances étaient presque identiques à celles des boîtes 5 ou 6 vitesses manuelles. Cette boîte automatique était dotée de programmes de commande de vitesses intelligents et intégrait la possibilité d'intervenir manuellement. En plus des positions habituelles du sélecteur, elle disposait d'un deuxième couloir parallèle. Lorsque le sélecteur y était placé, il suffisait de lui donner une impulsion pour changer immédiatement de rapport : vers le haut pour monter les rapports, vers le bas pour les descendre (dans les limites de cohérence avec le régime moteur en cours). Si le conducteur oubliait de passer le rapport supérieur, la boîte y suppléait automatiquement dès que le plafond du régime maximum autorisé était atteint. Le système électronique comportait cinq programmes de sélection de rapports. En fonction du tempérament du conducteur et de la situation du trafic, le système choisissait le programme dont les points de changement de vitesses étaient les plus appropriés. Pour assouplir le passage des rapports, le couple moteur était brièvement abaissé par retardement du point d'allumage.

### **1993 : Châssis aluminium LSA**

Le nouveau châssis LSA (léger, stable, agile) inauguré sur la 993 mettait fin à la réputation de voiture difficile à conduire de la 911, due à l'architecture à moteur arrière. L'amélioration portait essentiellement sur l'essieu arrière, reposant sur une suspension multibras éprouvée en compétition et permettant un comportement dynamique excellent. Grâce à la conception

cinématique de l'ensemble, le débattement était beaucoup moins important à l'accélération et en virage, avec pour résultat un comportement routier plus stable. D'autre part, les jambes de suspension en construction légère avec amortisseurs en aluminium favorisaient l'agilité. Le principe de construction allégée fut appliqué systématiquement en vue de maintenir au plus bas le poids des masses non suspendues. La somme de tous ces efforts permettait ainsi des changements de trajectoire sûrs et rapides, y compris à vitesse élevée, tout en diminuant les bruits de roulement et les vibrations.

### **1995 : Suralimentation biturbo**

Présentée en 1995, la 911 Turbo de type 993 embarquait un moteur 3,6 litres équipé de deux petits turbocompresseurs et dont le profil de performances était assez similaire à celui d'un moteur atmosphérique à forte cylindrée. Ce bloc développait dès les 2 000 tr/min une forte poussée qui se transformait en un déferlement de puissance au-dessus de 3 500 tr/min, pressant les occupants au fond de leur siège. Outre l'augmentation de la puissance à 408 ch (300 kW) et le couple maximum porté à 540 Nm, les ingénieurs de Weissach cherchaient sur ce nouveau moteur à réduire le fameux trou de suralimentation à un niveau encore jamais vu. Ils y parvinrent en remplaçant le gros turbocompresseur par deux petits, profitant du faible moment d'inertie des plus petits rotors. Les deux turbines régulées à clapet de dérivation intégré généraient une pression de suralimentation de 0,8 bar. L'augmentation spectaculaire des performances et du couple moteur résultait également de l'optimisation de l'alternance de charge, du rendement élevé des deux échangeurs air-air et de la régulation anticliquetis.

### **1995 : Système de contrôle des gaz d'échappement OBD II**

Installé pour la première fois par un constructeur de série, le nouveau système de contrôle des gaz d'échappement OBD II fut l'une des innovations technologiques marquantes du moteur six-cylindres. Il avait pour fonction de détecter en amont les erreurs ou défauts survenant dans le système d'échappement et de carburant. Les mesures mises en œuvre à grand renfort de moyens pour réduire les émissions polluantes s'étaient révélées extrêmement efficaces sur la 911 Turbo. À tel point que, à la grande surprise des experts, le moteur

suralimenté s'avéra être le moteur de série le moins polluant au monde. La 993 suralimentée entra dans l'histoire de l'automobile comme la première biturbo à régulation de la masse d'air. Le système OBD contrôlait en continu le fonctionnement de l'ensemble du système d'échappement, catalyseur et sonde à oxygène inclus, mais aussi le fonctionnement du dégazage du réservoir avec filtre à charbon actif activé, le système d'insufflation d'air secondaire et le système de carburant. Les ratés d'allumage étaient également enregistrés. Les États-Unis imposaient déjà l'obligation du système OBD II au moment de sa sortie, avant d'être rejoints par d'autres marchés. La technologie OBD exigea des efforts de développement importants et faisait appel à un système de gestion moteur extrêmement complexe.

### **2001 : Disques de freins céramiques**

L'an 2000 fut l'année de la sortie de la 911 Turbo de type 996. Elle pouvait, sur demande, être équipée de disques de frein composites en céramique (de série sur la 911 GT2). Le nouveau frein baptisé Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB) représentait une avancée technologique majeure, notamment au regard de critères déterminants comme la réactivité, la résistance au fading, le poids et la durée de vie. Porsche fut le tout premier constructeur automobile au monde à concevoir un disque de frein composite en céramique avec canal de refroidissement à développante, pour un refroidissement intérieur efficace. Les disques de frein composites en céramique étaient perforés comme les disques de frein métalliques, mais leur poids était plus de 50 % inférieur. La voiture s'allégea ainsi de 20 kg, ce qui permettait d'économiser du carburant, mais aussi de réduire les masses non suspendues et, du même coup, d'améliorer la réactivité des amortisseurs. Les disques de frein en céramique présentaient de nombreux avantages : leur coefficient de frottement était constant, les freinages d'urgence avec des freins PCCB demandaient d'exercer moins de force sur la pédale et ne requéraient aucun auxiliaire technique pour établir la pression de freinage maximale en une fraction de seconde. Le PCCB fournissait un freinage maximum immédiat et sans pression sur la pédale de frein. Sa réactivité sur revêtement humide était excellente, étant donné que les garnitures de frein, elles aussi de conception nouvelle, absorbent moins l'eau que les garnitures classiques. Les contraintes ultimes pouvant survenir en conduite sportive sont encaissées impassiblement par les disques en céramique.

### **2008 : Boîte à double embrayage PDK S**

La boîte à double embrayage PDK optionnelle fit sa première apparition mondiale sur une voiture de sport en 2008, à bord de la 911 de type 997. Proposant sept vitesses avant et une marche arrière, elle fut d'abord disponible sur la Carrera et la Carrera S. La boîte PDK présentait l'avantage majeur de changements de rapports plus rapides par rapport aux boîtes manuelles ou aux boîtes à convertisseur de couple. Les rapports étaient préengagés avant même le passage et la traction n'était pas interrompue pendant la manœuvre de changement. La boîte PDK offrait également un avantage en matière de poids puisque, en dépit des deux vitesses supplémentaires par rapport aux boîtes manuelles traditionnelles, elle pesait dix kilogrammes de moins que la précédente boîte Tiptronic S. Porsche était le premier constructeur au monde à avoir utilisé cette technologie de boîte en course dans les années quatre-vingt, sur les 956 et 962. Le constructeur de Zuffenhausen disposait ainsi d'une large avance dans le domaine des boîtes à double embrayage pour voitures hautes performances. La boîte à double embrayage Porsche associait la dynamique et le rendement mécanique d'une boîte manuelle au confort de roulage et de passage des rapports d'une boîte automatique. La boîte PDK était ainsi conçue pour répondre aussi bien aux exigences sportives qu'aux besoins de confort d'un conducteur de 911. Sur les sept rapports avant, les six premiers étaient de caractère sportif, tandis que le septième était allongé pour réduire au maximum la consommation de carburant.

### **2011 : Construction intelligente en acier/aluminium**

Sur la 911 de type 991, présentée en 2011, Porsche a perfectionné une fois de plus la construction allégée dans le domaine des voitures de sport. La recherche de l'allègement répondait à un double objectif : apporter un supplément de dynamisme et réduire la consommation, le tout avec une sécurité améliorée et un surcroît de confort par rapport aux modèles antérieurs. Les ingénieurs ont opté pour une stratégie consistant à utiliser le bon matériau au bon endroit. Ainsi, pour la première fois, les modèles de l'actuelle génération sont plus légers que leurs prédécesseurs directs d'environ 40 kg. Et cela en dépit du surpoids que l'empattement allongé laissait craindre et malgré le relèvement des exigences en matière de sécurité et l'amélioration de l'habitabilité générale. Avec 80 kg en moins, la nouvelle caisse en blanc en construction aluminium/acier arrive en tête des réductions de poids réalisées. À l'exception des composants de renfort, la partie avant de la voiture, le soubassement et la partie arrière pour une large part sont en aluminium, tout comme les capots, les ailes et la structure des portières. Au final, l'aluminium est présent à 44 % sur

le coupé et à 43 % sur le cabriolet. Pour les pièces en acier, l'utilisation des aciers à très haute résistance et ultra-haute résistance a été considérablement renforcée. Les aciers formés à chaud et trempés à la presse sont particulièrement appropriés pour garantir un haut niveau de protection des occupants. La construction mixte aluminium/acier a également modifié les processus de fabrication dans l'usine de Zuffenhausen. Alors que le soudage par points était la technique de choix pour les carrosseries en acier, le mélange actuel des matériaux requiert de nouveaux procédés d'assemblage, alors même qu'une caisse en blanc peut se composer de 400 éléments individuels ! L'un des défis majeurs réside dans les nombreux assemblages acier/aluminium étant donné qu'ils ne peuvent pas être soudés. La solution a consisté à renforcer l'utilisation de colles structurales, ayant l'avantage d'empêcher du même coup la corrosion par contact entre les deux matériaux. De nouveaux procédés d'assemblage mécanique ont également été utilisés, comme le clinchage, le rivetage-poinçonnage ou le vissage Flowdrill. À chaque fois, c'est l'assemblage le plus approprié qui est retenu.

### **2011 : Boîte mécanique sept vitesses**

La première boîte mécanique sept vitesses au monde a été adoptée pour la première fois de série sur une 911 (type 991 de nouveau). Elle procure de nouvelles sensations de passage des rapports extrêmement séduisantes. La nouvelle boîte a été conçue sur la base de la boîte sept vitesses à double embrayage et offre un excellent confort, ainsi qu'un comportement sportif. On notera que les nouvelles 911 parviennent à leur vitesse de pointe en sixième. Quant au septième rapport, il est allongé et participe aux économies de carburant, avec une vitesse de croisière élevée atteinte très tôt. Le rendement important et le poids réduit de la boîte contribuent à l'efficacité en matière de consommation de carburant. De plus, elle est associée de série à un système automatique Start-Stop. Dans la mesure où la boîte sept vitesses à double embrayage a été conçue comme système modulaire, la version de boîte mécanique a pu être construite en reprenant bon nombre de pièces identiques. Il restait à maîtriser un défi technique particulier : sur la boîte à double embrayage, les rapports sont disposés différemment par rapport à une grille classique en H. C'est pourquoi il a fallu mettre au point des actuateurs de passage de vitesses spécifiques pour la version mécanique de boîte. Grâce à cela, il a été possible de réaliser un schéma de grille en H avec les pignons de double embrayage. En parallèle, un système a été breveté pour empêcher les erreurs de passage. Ainsi, le septième rapport ne peut être engagé que directement après le cinquième ou le sixième.