

DAIMLER

1. **Le programme Daimler-Benz (1989 – 1998)**
2. **Le programme DaimlerChrysler (1998 – 2007)**
3. **Le programme Daimler-Benz (2008 ...)**
4. **Conclusions**

Le programme de véhicules à pile à combustible *Daimler* a connu plusieurs étapes. La première (1989 – 1998) s'est déroulée sous l'égide de *Daimler-Benz*. La seconde (1998 – 2007) s'est déroulée dans la cadre de la fusion avec l'américain *Chrysler* et qui s'est appelée *DaimlerChrysler*. L'actuelle troisième a débuté en octobre 2007 après la séparation des deux constructeurs et se poursuit actuellement dans la cadre de l'activité du groupe *Daimler AG*.

1. Le programme Daimler-Benz (1989 – 1998)

C'est en 1989 que *Daimler-Benz* entreprend d'évaluer la pile à combustible pour l'application automobile et choisit pour cela la pile de la société canadienne *Ballard Power Systems Inc.*, créée en 1979 (par le géophysicien Geoffrey E. Ballard, sous le nom de *Ballard Research Inc.*) et qui développait des piles à combustible de type PEM depuis 1983.

En août 1992, *Dornier GmbH*, filiale de *Daimler-Benz*, achète un système *Ballard* afin de le soumettre à des essais plus poussés.

En mars 1993, convaincu par les résultats de ces tests, *Daimler-Benz* signe un accord avec *Ballard*. Au titre de cet accord, les deux parties mettent en commun leurs connaissances technologiques respectives et *Daimler-Benz* verse à *Ballard* la somme de 15 millions de dollars US pour la poursuite des travaux de mise au point de la pile à combustible de type PEM, auxquels s'ajoutent 10 millions de dollars que chaque société s'engage à investir, en plus de la somme versée, soit au total 35 millions de dollars d'investissements. Cette somme était considérable à l'époque dans la mesure où elle représentait une fois et demie l'exercice financier annuel de *Ballard* et était aussi le premier investissement aussi massif sur cette technologie (hors applications spatiales) depuis le début de l'histoire de la pile à combustible. De plus, cet accord n'interdisait pas à *Ballard* de continuer à fournir des piles à combustible à d'autres clients.

En avril 1994, un an seulement après cet accord, *Daimler-Benz* a sorti son premier prototype, la **Necar¹ 1**. Il s'agissait d'un véhicule utilitaire de type Mercedes MB 180 (voir figure 1) dont presque tout le volume utile était occupé par le système pile, sans aucun souci d'intégration: *Daimler* ne souhaitait que tester les fonctions de tous les sous-systèmes interconnectés. La source était constituée de 12 modules *Ballard* de type PGS-103 pour une puissance totale de 50 kWe. Les piles étaient alimentées par de l'hydrogène gazeux stocké à bord sous 250 bars.

¹ NECAR, acronyme pour "New Electric CAR"



Figure 1 – Le prototype **Necar 1** (avril 1994)

En mai 1996, un deuxième prototype était présenté : la **Necar 2**. Il s'agissait d'un prototype réalisé sur la base d'une Mercedes Classe V (voir figure 2) que *Daimler-Benz* avait conçu avec un bon effort d'intégration puisque tout le volume utile intérieur avait été libéré. Pour la même puissance de 50 kWe disponible, seuls deux modules de 25 kWe ont été nécessaires. Chaque module était constitué de 150 cellules de 700 cm² et la puissance spécifique du système générateur avait été abaissée à 6 kg/kWe et 9 litres/kWe.



Figure 2 – Le prototype **Necar 2** (1996)

L'hydrogène gazeux était stocké à bord dans deux bouteilles de 140 litres permettant 250 km d'autonomie.

En 1997, un troisième prototype baptisé **Necar 3**, était présenté au Salon Automobile de Francfort. Il était conçu sur la base de la Classe A (voir figures 3 et 4). La pile était du même type que sur la Necar 2, mais l'originalité résidait dans la source de combustible : pour la première fois, le réservoir d'hydrogène était remplacé par un réservoir de méthanol couplé à un reformeur fonctionnant à 280°C. Le système complet était intégré dans le châssis et détaillé sur la figure 4. L'autonomie était voisine de 400 km.

En 1997, Daimler et Ballard signent un accord de collaboration au titre duquel Daimler possède 25% de Ballard.



Figure 3 – La **Necar 3** (1997)

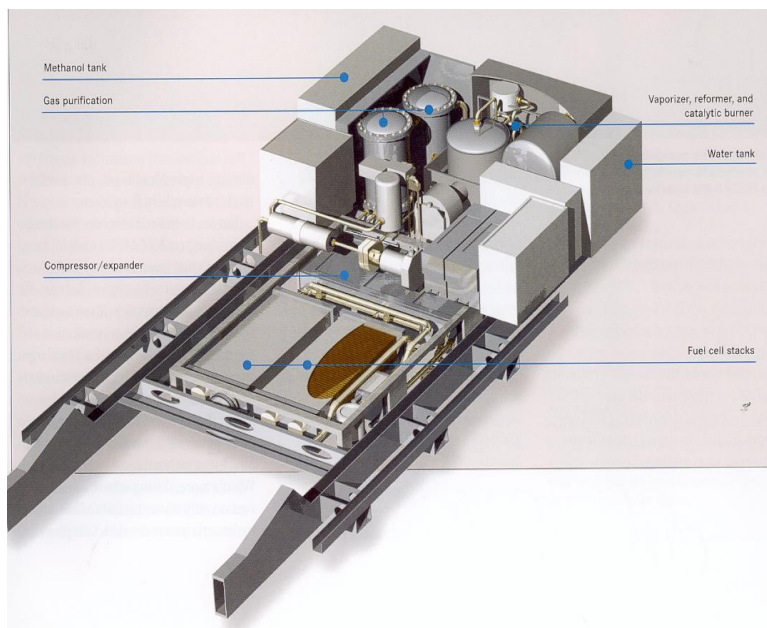


Figure 4 – Le système « pile à combustible » de la **Necar 3**

2. Le programme DaimlerChrysler (1998 – 2007)

DaimlerChrysler est né de la fusion en 1998 de *Daimler-Benz AG* (Allemagne) et de *Chrysler Corporation* (États-Unis). La transaction a été annoncée le 7 mai et a pris effet le 12 novembre.

En décembre 1998, soit 7 mois après la fusion des deux constructeurs, *DaimlerChrysler* présente au *Los Angeles Motor Show*, la **Jeep Commander**, alimentée par une pile à combustible hybridée à des batteries NiMH. Tout comme la Nekar 3, elle est équipée d'un reformeur méthanol (voir figure 6).

En mars 1999, DaimlerChrysler présente la **Necar 4** à Washington, toujours basée sur la Classe A (voir figure 5), mais alimentée en hydrogène à partir d'un réservoir de 7 kg d'hydrogène liquide embarqué, dont le taux d'évaporation est de 1%/jour. Sa pile à combustible fournit maintenant 70 kWe avec deux modules de 35 kWe. Le véhicule pèse 1580 kg, contre 1120 kg pour le modèle à essence. Le rendement global, du réservoir à la roue, est donné à 37,7%.

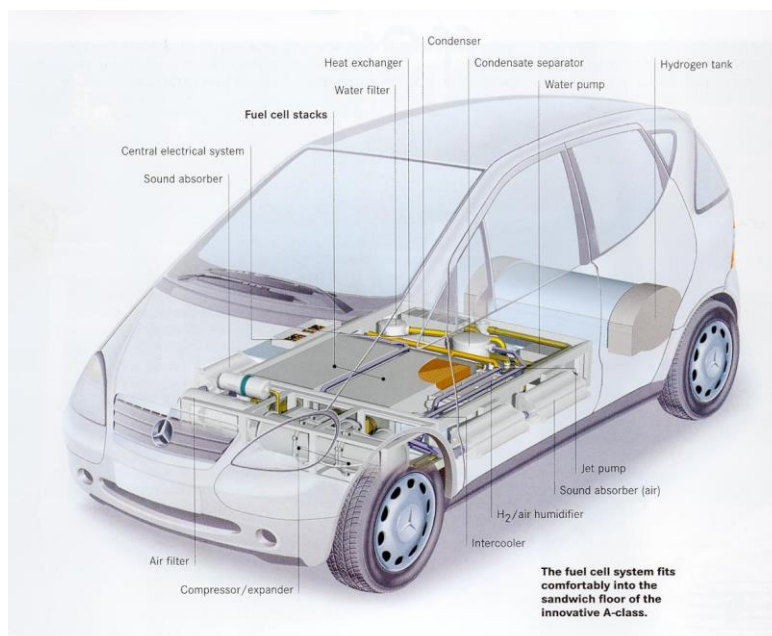


Figure 5 – Vue éclatée de la **Necar 4** (1999)

En 2000, une version à hydrogène comprimé à 350 bars (réservoir composite du canadien *Dynetek*) de la Necar 4, baptisée **Necar 4 Advanced**, est présentée ; elle est destinée à intégrer la flotte du *California Fuel Cell Partnership*. Les modules Ballard qui l'équipent sont du type Mark 900.

En novembre 2000, le prototype **Necar 5** est présenté. Il est très voisin de la Necar 3 mais la puissance de la pile est de 75 kWe (pile Ballard type Mark 900).

En fin 2000, DaimlerChrysler présente le **go-kart** (voir figure 7), un prototype de *kart* équipé d'une pile DMFC (pile PEM à méthanol direct) de 3 kWe, technologie dans laquelle Ballard a aussi investi.

Au printemps 2002, une **Necar 5** à reformeur méthanol traverse les Etats-Unis, parcourant 3200 miles en 15 jours sur des routes publiques : elle nécessitait un plein de méthanol tous les 300 miles.

En janvier 2001, DaimlerChrysler a annoncé la livraison à la compagnie *Hermes Versand Service*, d'un petit utilitaire **Sprinter** équipé d'une pile Ballard alimentée par un stockage d'hydrogène sous pression, pour une autonomie de l'ordre de 150 km.

En décembre 2001, DaimlerChrysler présente un prototype, baptisé **Natrium** (ou plus exactement **Chrysler Town & Country Natrium**) (voir figure 8), alimenté par un nouveau type de stockage d'hydrogène embarqué : le stockage sur borohydrure de sodium (d'où le nom *Natrium* donné au prototype) développé par la société américaine *Millenium Cell Inc.* Il s'agit plus précisément de faire réagir, à bord, du borohydrure de sodium, dérivé du Borax, avec de l'eau en présence d'un catalyseur. Ce système, tel qu'il a été dimensionné dans la *Natrium*, donne une autonomie de près de 500 km ; la pile à combustible est hybridée avec une batterie Li-ion de la société Saft, capable de fournir 40 kWe.



Figure 6 – Le prototype **Jeep Commander** (1998) à méthanol.



Figure 7 – Le prototype DMFC **Go-kart** (2000)

En octobre 2002, DaimlerChrysler baptise **F-Cell** (Figure 9) la nouvelle génération de sa version Nekar 4 Advanced (c'est-à-dire alimentée en hydrogène sous pression) et annonce la fabrication d'une série de 60 véhicules.



Figure 8 – Le prototype **Natrium** (2001)

En décembre 2003, la première de cette série est livrée chez *Tokyo Gas Co. Ltd*, au Japon. D'autres ont été livrées en 2004, aux USA en particulier, et plus tard sur de nombreux sites, dont Berlin et Singapour.



Figure 9 – La **F-Cell** (2003)

Le concept de la **F-Cell** est de type hybride ; elle est alimentée par une pile Ballard Mark 902, de 72 kWe de puissance nette (puissance disponible compte tenu de l'alimentation de ses périphériques). Le moteur électrique délivre une puissance mécanique de 65 kW et son réservoir d'hydrogène sous 350 bars lui donne une autonomie de 150 km. La batterie est de type NiMH (6,5 Ah). La disposition des divers éléments est représentée sur la figure 10.

En août 2004, le groupe (via la société *Dodge*) livre le premier utilitaire à pile à combustible **Dodge Sprinter** à UPS, à Los Angeles. Ce véhicule a une autonomie de 250 km. (Figure 11).

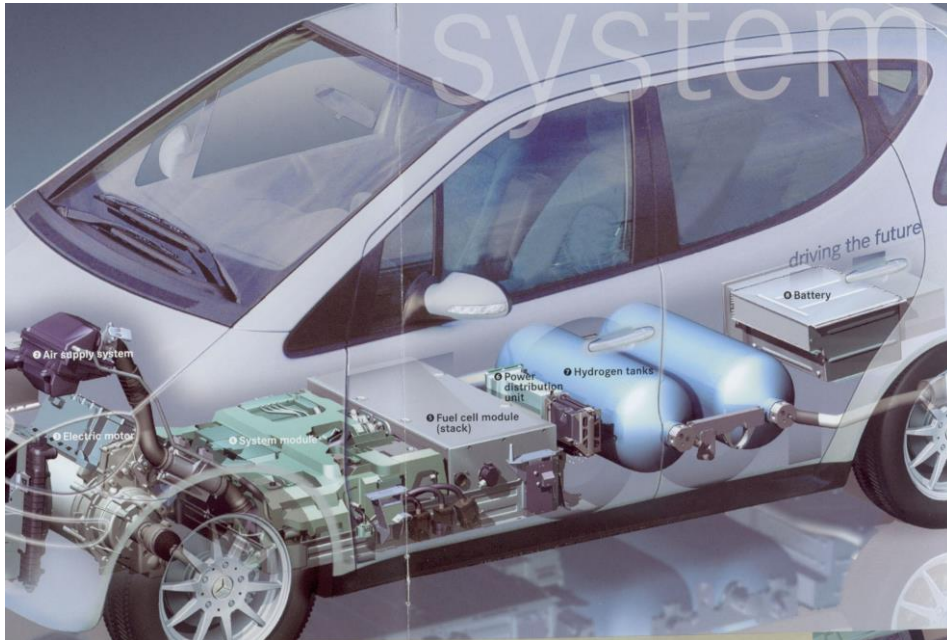


Figure 10 – Vue éclatée de la F-Cell



Figure 11 – Le **Dodge Sprinter** (2004)

En mars 2005, DaimlerChrysler présente un prototype construit sur la base du modèle Class-B, baptisé **F-Cell Class B** et d'une puissance disponible de 100 kW_e (voir figure 12), hybridé avec une batterie Li-ion et équipé d'un réservoir d'hydrogène sous 700 bars lui donnant une autonomie voisine de 400 km. Daimler annonce une première série de ce modèle en 2010, capable d'un démarrage par -25°C.

En octobre 2005, DaimlerChrysler présente un prototype basé sur la Class S, équipé d'une pile d'une puissance de 66 kWe, et baptisé **F600 – Hygenius** (voir figure 12)



Figure 12 - Le prototype **F600 - Hygenius** (2005)

En octobre 2007, le fonds d'investissement américain *Cerberus Capital Management* offre 5,5 milliards d'euros pour la reprise de 80,1 % de *Chrysler*. *Daimler* conserve le reste du capital et est rebaptisé *Daimler AG*.

En novembre 2007, *Ballard* cède à *Daimler* sa division automobile et *Daimler* prend la direction (à 50,1%) du groupement « *Automotive Fuel Cell Corporation* » (*AFCC*).

3. Le programme Daimler (à partir de 2008)

En février 2008, la répartition au sein de *AFCC* est ainsi modifiée : *Daimler* garde ses 50,1% mais le complément est partagé entre *Ballard* (19,9%) et *Ford* (30%). *AFCC* fabrique non seulement les systèmes pour la F-Cell Class B mais aussi les systèmes développés pour les bus.

En 2008, *Daimler* annonce une amélioration de son modèle F-Cell Class A, baptisée **F-Cell Plus**, équipé d'un réservoir d'hydrogène sous 700 bars au lieu de 350 bars: l'autonomie passe ainsi de 160 km à 230 km. Par ailleurs, *Daimler* poursuit ses tests sur la F-Cell Class B (voir figure 13), en particulier dans des environnements difficiles. Dans le même temps, le patron de *Mercedes-Benz* - Dieter Zetsche- annonce, dans le « *AEI Online Technology Report* » publié le 28 mai 2008, qu'il fabriquera un exemplaire par jour en 2010 et qu'il prévoit que vers 2014-2015 il sera capable de produire 100 000 unités par an de manière économique.



Figure 13 - Le prototype **F-Cell – Class B**, en test en Suède, en 2008.

Le 28 août 2009, Mercedes-Benz, fort d'une centaine de prototypes testés et 4,5 millions de km parcourus, annonce qu'il lance sa première fabrication de série de la **F-Cell Class-B** avec une première phase de 200 véhicules qui seront livrés à des clients américains et européens en début 2010. Ce véhicule est doté d'un réservoir contenant 4kg H₂ sous 700 bars. Ses autres caractéristiques principales sont données dans le tableau suivant :

Propulsion	Moteur électrique + Pile à combustible
Puissance nominale (kW/CV)	100/136
Couple nominal (Nm)	290
Vitesse maximum (km/h)	170
Consommation (NEDC) (équivalent litres de diesel/100 km)	3,3
Emission de CO ₂	0
Autonomie (NEDC)	385
Capacité batterie Li-ion (kWh/kW)	1,4/35
Démarrage à froid	Jusqu'à -25°C

En mai 2010, Daimler et Toyota évoquent un développement commun de véhicules à pile à combustible. (*ndlr : plus aucune information ne sera publiée sur cet éventuel rapprochement après cette date*).

En octobre 2010, Daimler organise ses premières locations de **F-Cell Class B** en Californie, disponibles fin 2010 ; le coût est de 849 \$/mois, hors taxes, pour une durée de 36 mois. Ce véhicule a reçu les certifications EPA (*Environmental Protection Agency*) et CARB (*California Air Resources Board*). Il prévoit 70 véhicules en circulation en Californie, fin 2012, ce qui doublera la flotte de **F-Cell Class A** en service en Californie. Le premier client est livré le 16 décembre 2010.

Le directeur de développement de Daimler -Thomas Weber- estime que le coût de la pile pourrait baisser jusqu'à 3 000 € aboutissant à un véhicule de l'ordre de 35 000€.

En juin 2011, trois exemplaires de la **F-Cell Class B** font le tour du monde et parcourent 30 000km sans le moindre incident (cf. Fig. 14).



Figure 14 – Le tour du monde des trois **F-Cell Class B** (2011)

En juin 2011 le patron de *Mercedes-Benz* -Dieter Zetsche- annonce que la **F-Cell Class B** a atteint sa configuration définitive et que sa mise en production de série est avancée de 2015 à 2014.

En septembre 2011, le fabricant américain *Quantum Fuel Systems technologies Worldwide, Inc.* annonce qu'il a signé un contrat de développement de réservoirs 700 bars destinés à ce véhicule.

En septembre 2011, *Mercedes-Benz* annonce qu'il est en discussions avec d'autres partenaires que *Ford* pour élargir son marché potentiel.

En septembre 2011, *Daimler* présente au Salon de Francfort son prototype *F125* (cf. Fig. 15). Ses caractéristiques sont les suivantes :

Puissance nominale (kW/hp)	170/231
Puissance maximale (kW/hp)	230/313
Couple (Nm)	3440
Accélération 0-100 km/h (s)	4.9 (cible)
Accélération 80-120 km/h (s)	3.2 (cible)
Vitesse maximale (km/h)	220 (cible)
Consommation Hydrogène (kg/100 km)	0.79
Equivalent litres diesel/100 km	2,7
Emission CO ₂ (g/km min./max.)	0
Autonomie (km)	1000
Capacité du réservoir (kg)	approx. 7.5
Batterie lithium-soufre (kWh)	10

En juin 2012, est inaugurée, à Burnaby (Canada), dans d'anciens locaux de Ballard, l'usine de production des systèmes à pile à combustible Mercedes-Benz Canada.

En janvier 2013, Mercedes-Benz annonce la collaboration tripartite : *Daimler – Ford – Nissan*, avec un objectif de commercialisation, non plus en 2014, mais en 2017.

En mars 2014, le chef du "sales and marketing Mercedes-Benz", Ola Kallenius, réaffirme que la propulsion hydrogène fait toujours partie de la stratégie future de l'entreprise et annonce qu'un nouveau modèle, de type SUV, sera présenté dans les années suivantes.

En octobre 2014, Daimler annonce qu'un exemplaire de la Class B F-Cell a parcouru 300 000 km (cf. Fig. 16) dont une partie dans des conditions climatiques extrêmes, ce qui lui a valu la récompense "f-cell Award 2014".



Figure 15 - Le prototype F125 (Septembre 2011)



Figure 16 - La Class B F-Cell qui a parcouru 300 000 km

En octobre 2015, Daimler fournit les résultats suivants:

- 5 exemplaires du modèle Class B ont accompli le trajet Los Angeles - Northern California (1000 miles) avec un seul plein dans une station publique.
- que les utilisateurs américains de la F-Cell ont accumulé plus de 2 millions de miles depuis 2010.

En novembre 2015, la revue *Automobilwoche* annonce que dorénavant Daimler n'utilisera plus la plateforme Class B pour ses futurs prototypes mais la plateforme Mercedes GLC.

En juin 2016 est annoncée la commercialisation en 2017 de la **GLC F-Cell** (cf. Figure 17) équipée d'une batterie Li (9 kWh), d'un réservoir de 4 kg d'hydrogène sous 700 bars, pour une autonomie de 500 km (incluant les 50 km d'autonomie sur la batterie seule). Le volume du système pile a été réduit de 30% par rapport au modèle précédent et la quantité de platine utilisée est réduite de 90%. Daimler s'appuie désormais sur une expérience cumulée de 12 millions de km parcourus par leurs divers modèles depuis l'origine.



Figure 17 - Le prototype **GLC F-Cell** (2016)

En septembre 2017, à l'approche du salon de Francfort (septembre 2017), *Christian Mohrdieck*, le responsable du programme pile à combustible chez Daimler, a donné quelques détails sur le GLC Fuel Cell qui sera dévoilé officiellement à l'occasion de cet événement :

- le moteur électrique développera 150 kW,
- la pile à combustible contient 90 % de platine en moins, par rapport à la précédente génération. Il n'y en a d'ailleurs pas plus que sur le catalyseur d'un modèle thermique. Cela a permis de réduire le coût.
- la pile se trouve sous le capot moteur, le moteur électrique et la batterie prenant place au-dessus de l'essieu arrière. Quant au réservoir d'hydrogène, fabriqué par Daimler (4,4 kg stockés à 700 bars), il prend place sous les sièges arrière ainsi que sous le plancher. Le GLC F-Cell sera par ailleurs au même niveau d'exigence que les autres modèles de la gamme en ce qui concerne les crash-tests.
- la pile, fabriquée au Canada (chez MBFC – *Mercedes-Benz Fuel Cell*), est hybridée avec une batterie Li-ion (13,5 kWh) fabriquée par *Accumotive*, filiale de Daimler, qui assure une autonomie de 50 km, ce qui assure une autonomie globale de 478 km. La décélération :freinage recharge partiellement la batterie. Le système pile est assemblé chez *NuCellSys*, filiale de Daimler, en Allemagne.
- plus de 300 véhicules Mercedes-Benz à pile à combustible ont parcouru plus de 18 millions de km et les ingénieurs considèrent que ce véhicule a prouvé sa maturité commerciale.

En juin 2018, Mercedes-Benz annonce les premières livraisons, en octobre 2018, de la GLC à des clients sélectionnés, sous forme de location, tous services inclus. Les piles sont fabriquées dans l'usine de MBFC (*Mercedes-Benz Fuel Cell*) à Vancouver (Canada), le système pile (avec le stockage) est assemblé à Untertürkheim en Allemagne et le véhicule est assemblé à Bremen où le SUV est normalement produit. Les utilisateurs disposeront en Allemagne des 51 stations-service actuelles (juin 2018) et d'une centaine fin 2019. Les caractéristiques de ce SUV sont données dans la tableau suivant :

	GLC F-CELL ¹
Combined CO ₂ emissions (g/km)	0
Combined hydrogen consumption in hybrid mode (kg/100 km)	0.34
Combined electrical consumption (kWh/100 km)	13,7
H ₂ range in hybrid mode (NEDC) (km)	478
Battery-electric range in battery mode (NEDC) (km)	51
Engine	Electric motor
Rated output (kW/hp)	155 (211)
Peak torque (Nm)	365
Battery	Lithium-ion
Energy content (gross/net) (kWh)	13,5 /9,3
Fuel cell	PEM
H ₂ tank capacity (kg) (usable for SAE J2601, 2014 or more recent)	4.4
Top speed (km/h)	160 (governed)
Length (mm)	4.671
Width (mm)	2096
Height (mm)	1.653
Track width (mm)	1625 (front axle) 1621 (rear axle)
Wheelbase (mm)	2873

4. Conclusions

Depuis 1994, le groupe *Daimler AG* a montré de très nombreux prototypes, dont un (F-Cell Class A) a été construit en une soixantaine d'exemplaires de 2003 à 2006 et dont le suivant (F-Cell Class B) a été construit à plusieurs dizaines d'exemplaires à partir de 2009 et loué à plusieurs clients, essentiellement en Californie et au Japon. Au total Daimler aura réalisé, à ce jour, plus de 300 véhicules à pile à combustible qui auront accumulé plus de 12 millions de km.

Les points marquants de ces vingt dernières années sont les suivants :

- les modules de pile à combustible sont tous issus du constructeur canadien *Ballard* : Daimler est le seul constructeur resté fidèle à Ballard depuis l'origine et qui n'a pas été tenté de concevoir son module « maison ».
- le bloc de puissance est intégré dans le châssis des véhicules avec un moteur électrique unique,
- tous les prototypes semblent avoir rempli leurs objectifs avec satisfaction : tous ont été présentés en fonctionnement en de nombreuses occasions, comme le voyage californien organisé en 2015.
- *Daimler* a testé divers types de source d'hydrogène : sous pression, cryogénique, reformage de méthanol, borohydrure de sodium pour finir par poser son choix sur le stockage gazeux à 700 bars.
- si les premiers prototypes ne comportaient pas de batteries en hybridation (en particulier pour la récupération d'énergie au freinage), leur présence sur les dernières versions montre une évolution de leur stratégie. Tous les véhicules sont désormais hybridés : les batteries sont actuellement en technologie Li-ion.
- après avoir annoncé en 2011 la commercialisation de la **F-Cell Class B** pour 2014, *Daimler* a modifié sa stratégie début 2013, préférant reculer la diffusion de masse en 2018 au lieu de 2014, avec la **GLC F-Cell**, mais en s'associant plus étroitement, dans le futur, à *Ford* et *Nissan* (et probablement *Renault*).