

## LE PROGRAMME TOYOTA

### Sommaire

1. Généralités
2. Le programme de développement des véhicules légers
3. Le programme bus
4. Le programme poids lourds

### 1. Généralités

*Toyota Motor Corporation*<sup>1</sup> est le premier constructeur japonais à avoir dévoilé, dès 1996, ses activités dans le domaine des véhicules à pile à combustible. Toutefois, les premiers travaux en interne datent de 1992. Les piles à combustible utilisées sont toutes de type PEMFC (voir fiche 5.2.2), conçues dans les laboratoires du groupe *Toyota*.

### 2. Le programme de développement des véhicules légers

#### 1996

Le premier prototype **RAV4-EV1** a été présenté au 13<sup>ème</sup> *Electric Vehicle Symposium*, à Osaka (Japon), en octobre 1996 (Figure 1).



Figure 1 - Le premier prototype RAV4-EV1 de Toyota (1996)

<sup>1</sup> <http://www.toyota.com/>

Conçu sur la structure du véhicule thermique RAV4, il comportait une pile à combustible d'une puissance de 20 kW, assurant la fourniture de base en électricité, couplée à une batterie au plomb (110 kg, soit environ 3kWh stockés), le tout alimentant un moteur électrique synchrone à aimant permanent de 45 kW. La pile, de conception « maison », était réalisée autour d'une membrane Nafion® avec un catalyseur Pt-Ru à l'anode. L'hydrogène (2kg) était stocké dans un hydrure métallique (100 kg) à base d'alliage de titane (appelé bêta Ti) et donnait une autonomie de l'ordre de 150 km.

### 1997

Cette année là, un deuxième prototype **RAV4-EV2** a été exposé au *Frankfurt Motor Show* (Allemagne). Il différait du précédent par :

- une pile à combustible un peu plus puissante (25 kW) située au milieu du véhicule, sous les passagers, alimentant un moteur électrique de 50 kW.
- un **concept hybride** (pile en base, assistée par une batterie en cas de besoin), puisque l'énergie de freinage était récupérée dans une batterie (NiMH).
- une alimentation en hydrogène via un reformeur à méthanol (type steam reforming) situé sous les sièges arrière.

### 1999

Toyota annonce une collaboration avec *General Motors* pour le développement des véhicules à pile à combustible et avec *Volkswagen* dans le domaine de l'environnement.

### 2001

Le 1<sup>er</sup> mars, un troisième prototype, baptisé **FCHV-3**, a été présenté au *Tokyo Int. Symposium on Fuel Cell Vehicles*. Il a été conçu sur une base Kluger V – Highlander (ou Lexus RX-300), et comportait une pile à combustible « maison » de 90 kW, hybridée avec une batterie NiMH de 21 kW (semblable à celle du système PRIUS) assistant la pile en cas de besoin. L'ensemble faisait fonctionner un moteur électrique d'une puissance de 80 kW (du même type que ceux des précédents modèles). La pile était alimentée en hydrogène à partir d'un **réservoir à hydrures**, similaire à celui de la RAV4-EV1.

En juin, a été présentée la **FCHV-4 (Figure 2)**, ne différant de la précédente que par le type de réservoir **d'hydrogène : gaz sous pression** de 250 bars, dans 4 cylindres de type composite (fabriqués par le canadien *Dynetek*) pour une autonomie de 250 km.



**Figure 2 - Le prototype FCHV-4 (2001) alimenté en hydrogène sous pression**

Sept exemplaires ont été fabriqués, dont deux ont circulé aux USA dans le cadre du CaFCP (*California Fuel Cell Partnership*). En juin 2001, plus de 110 000 km avaient été accumulés par ces 7 prototypes.

En octobre, est apparue la **FCHV-5 (Figure 3)**, ne différant des deux précédentes que par la source d'hydrogène : un reformeur (volume de 120 litres) alimenté à partir d'un réservoir de 35 litres **d'essence désulfurée**. On trouve toujours un concept hybride grâce à un pack de batteries NiMH, identique à celui équipant la version hybride thermique *Prius*.



**Figure 3 - Le prototype FCHV-5, à reformeur essence (2001)**

Les véhicules à pile à combustible sont développés en collaboration avec des sociétés du groupe Toyota comme *Denso Corp.* et *Aisin Seiki Co.*

### **2002**

En février, le constructeur japonais annonce que le modèle **FCHV-4** a été choisi pour la réalisation d'une première flotte de véhicules, moyennant plusieurs améliorations : hydrogène stocké à 350 bars, autonomie de 290 km, vitesse 155 km/h, pile de 90 kW, moteur électrique de 80 kW.

En juillet, il a été décidé que cette flotte comporterait 20 véhicules. Ils ont été mis en *leasing* dès la fin 2002, dans certaines entreprises publiques et industrielles engagées dans ce programme, au Japon et aux USA. Le coût de ce leasing était de 9 970 \$ sur une durée de 30 mois.

Le 2 décembre, les deux premiers véhicules ont été livrés à l'Université de Californie, l'un à Irvine et l'autre à Davis, chacun pour une durée de 30 mois.

### **2003**

En janvier, au *North American Int. Auto Show* de Detroit, un nouveau concept **FINE-S (Figure 4)**, véhicule hybride à hydrogène (la pile en fourniture de base assistée par une batterie en cas de besoin), est présenté.

En septembre, 18 véhicules Toyota étaient en circulation : 2 aux USA et le reste au Japon, dans diverses administrations publiques.



**Figure 4 - Le prototype FINE-S (2003)**

En octobre, au *Tokyo Motor Show* de fin 2003, a été présentée la **FINE-N (Figure 5)**, d'un concept très voisin de la *GM Hy-Wire (Figure 6)*, à savoir une intégration complète dans le plancher avec un moteur

par roue (25 kW), un stockage d'hydrogène à 700 bars, une pile à combustible extra-plate et une hybridation avec une batterie Li-ion.



Figure 5 - Le prototype FINE-N (2003)

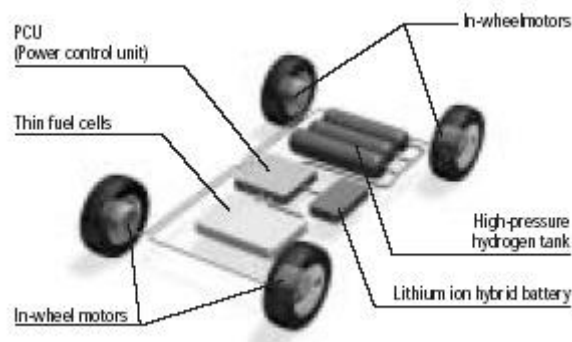


Figure 6 - Le schéma de principe de la FINE-N

#### 2004

En mars, au Salon de Genève, apparaît le concept-car **MTRC**, équipé d'une pile de 90 kW et 4 moteurs-roue (Figure 7).

#### 2005

En mai, **Toyota Motor Corp.** et **Toyota Gosei Co., Ltd.** présentent un nouveau réservoir d'hydrogène sous 350 bars pour équiper les futurs véhicules. Jusqu'ici, des réservoirs fabriqués par *Quantum* et *Dynetek* avaient été utilisés. Le développement d'un réservoir 700 bars a été annoncé. En juillet, **Toyota** et **General Motors** ont signé un accord de développement en commun de véhicules à pile à combustible. Baptisé « *Apollo Project* », d'un coût de 20 milliards de \$, son abandon a été annoncé en février 2006 ; la raison invoquée a été le manque de progrès.

En octobre, à l'occasion du *Tokyo Auto Show*, a été exposé un nouveau concept-car : la **FINE-X** (Figure 8) à 4 moteurs-roue indépendants et réservoir d'hydrogène sous 700 bars de conception « maison » (voir ci-dessus).



Figure 7 - Le concept-car MTRC (2004)



Figure 8 - Le concept-car FINE-X (2005)

#### 2007

En septembre, est annoncée la sortie d'une version améliorée de son prototype FCHV dont l'autonomie atteint 560 km (au lieu de 290 km pour le précédent). Ce progrès est attribué à l'amélioration des performances de la pile à combustible et du système de contrôle d'énergie entre la pile et la batterie.

#### 2008

En juin, est montrée une nouvelle version baptisée **FCHV-adv** équipée d'une pile capable de démarrer à partir de -30°C et dotée de nombreuses améliorations (rendement de la pile amélioré de 25%, amélioration du système de récupération d'énergie au freinage, réduction de consommation des auxiliaires, contrôle de la dégradation des cellules). L'autonomie annoncée est de 800 km.

Ses performances, comparées à celle du modèle précédent FCHV, sont données dans le tableau ci-après :

Type de véhicule	FCHV-adv	FCHV
Autonomie (km)	760/830	330
Vitesse max. (km/h)	155	155
Pile à combustible	PEM 90 kW	
Couple max. (N.m)	260	260
Stockage hydrogène (bars)	700	350
Volume réservoir hydrogène (l)	156	148
Batterie d'hybridation	NiMH	NiMH



**Figure 9 - La version Highlander FCHV-adv (2008)**

#### **2009**

En juin, Toyota annonce que ce prototype FCH-adv a obtenu l'homologation du Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire et des Transports. Son autonomie atteindrait 830 km.

#### **2010**

Pour préparer la commercialisation en 2015 de ce modèle FCH-adv, Toyota Motors Sales, USA, annonce que dans les trois années à venir, une centaine d'exemplaires seront implantés dans divers programmes, dans le monde. Dix exemplaires sont livrés à l'aéroport newyorkais JFK en mars 2010 et dix autres sont livrés en septembre 2010 à Sun Hydro (Connecticut). Un exemplaire est fourni en Grande Bretagne en novembre 2010 et cinq autres sont livrés en Allemagne dans le cadre du *Clean Energy Partnership*.

En mai, la presse (AFP) se fait l'écho d'une collaboration possible entre Daimler et Toyota.

En novembre, Alain Uyttenhoven, Vice-Président de Toyota Europe, évoque, pour 2015, un prix de vente de cette FCH-adv voisin de 100 000 euros.

#### **2012**

En septembre, pour la pile qui équipera le modèle 2016 (et non plus 2015), *Toyota* et *Hino Motors* prévoient une puissance spécifique de 3kWe/litre (deux fois la puissance spécifique de l'époque) et la moitié du volume et de la masse du modèle actuel, ainsi qu'un rendement amélioré du convertisseur de puissance. Ce nouveau prototype est présenté figure 10.

#### **2013**

En janvier, *BMW Group* et *Toyota Motors Corp. (TMC)* signent un accord de développement, jusqu'en 2020. Il porte sur la pile à combustible et les composants associés (réservoir d'hydrogène, moteur électrique, batterie ...), ainsi que sur les aspects codes, normes et réglementations.

En octobre, Toyota estime pouvoir vendre son véhicule en dessous de 100 000 \$ en 2015, le système pile représentant environ 50% du coût total. Toyota estime, par ailleurs, qu'il en vendra plusieurs dizaines de mille par an à partir de 2020. La quantité de platine utilisée par pile est de l'ordre de 30g avec une pile dont la puissance spécifique atteint 3kWe/kg. Dès 2015, les ventes seront destinées au Japon, aux USA et à l'Europe.

En décembre, Toyota fait savoir que le nombre de réservoirs d'hydrogène passe de 4 à 2 et que la pile sera située sous les sièges avant.



**Figure 10 - Prototype FCV 2012**

#### **2014**

En janvier, Satoshi Ogiso (Managing Officer, Toyota Motor Corporation), avance un prix de vente pour les premières séries entre 5 et 10 millions de yens, soit entre 37 000 et 74 000 €. Ce prix pourrait être divisé par un facteur 2 en 2020.

En juin, Mitsuhsa Kato, Vice-Président exécutif de Toyota Motor Corp, précise que le prix de vente au Japon, en mars 2015, sera voisin de 7 millions de yens (soit environ 52 000 €). Les prix de vente aux USA et en Europe n'ont pas été précisés.

En août, on dit que ce futur véhicule sera baptisé **Mirai** (qui signifie "le futur" en japonais). Il a été officialisé en novembre.

En septembre, Toyota précise que la batterie d'hybridation de la Mirai sera de type NiMH plutôt que Li pour abaisser le coût et améliorer la fiabilité.

En octobre, la Mirai est présentée au public pour la première fois, au Salon de l'Auto, à Paris (**Figure 11**) ; elle ressemble beaucoup au prototype qui avait été présenté en 2012 (**Figure 10**). Il est précisé qu'une première série de 700 exemplaires a été décidée.



**Figure 11 - La Toyota Mirai (2014)**

Pile à combustible	Nom	Toyota FC Stack
	Type	Pile à combustible à électrolyte polymère
	Densité volumique de puissance	3,1 kW/l
	Puissance maximale	155 ch (114 kW)
	Système d'humidification	Circulation interne (sans humidificateur)
Réservoir d'hydrogène à haute pression	Nombre de réservoirs	2
	Pression nominale	70 MPa ( 700 bar)
	Densité de stockage	5,7 %
	Volume interne	122,4 litres (Réservoir 1 : 60 litres ; réservoir 2 : 62,4 litres)
Moteur	Type	Générateur électrique synchrone AC (courant alternatif)
	Puissance maximale	154 ch (113 kW)
	Couple maximal	335 Nm
Batterie	Type	Nickel-métal hydrure

### Principales caractéristiques du système "pile à combustible" de la Mirai

En décembre, Toyota précise que la voiture sera fabriquée dans l'usine de Toyota/Motomachi avec une cadence de fabrication programmée pour 700 unités/an et que la commercialisation débutera au Japon le 15 décembre 2014. Toyota annonce aussi que les pré-ordres d'achat dépassent le nombre de 1 000, dépassant largement les prévisions de fabrication ! La subvention publique pour l'achat d'un tel véhicule au Japon atteint 2 M¥, ce qui amène son prix de vente à 5,2 M¥ (autour de 39 600 €)

La disposition des principaux éléments de la Mirai est présentée sur la figure 12. Le stack est montré sur la figure 13.

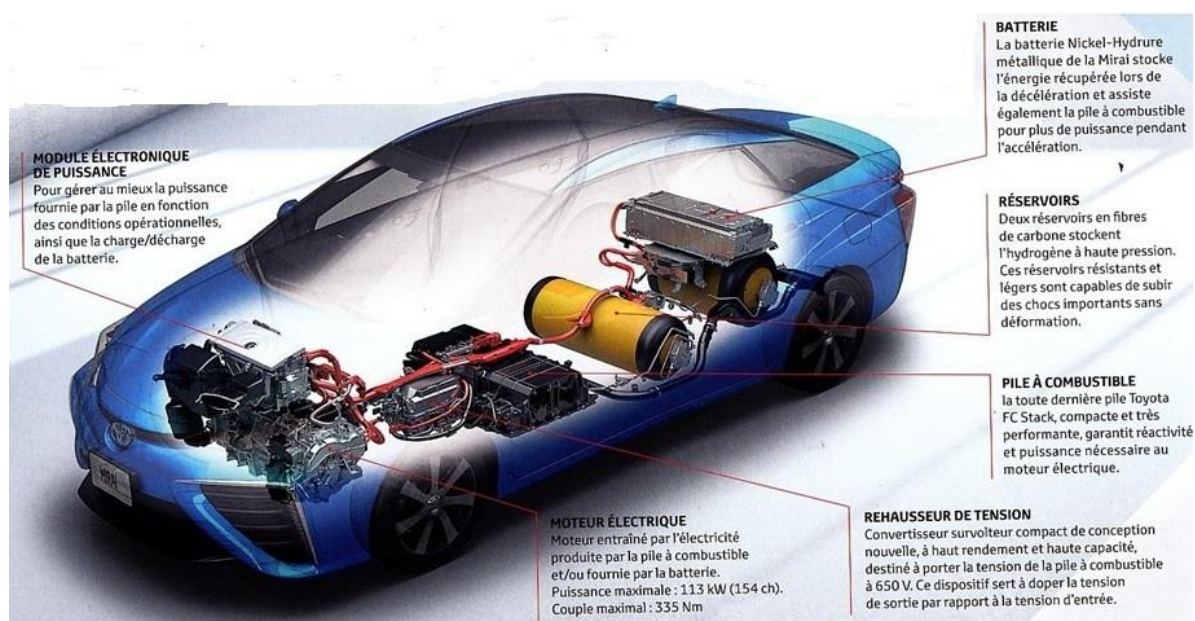


Figure 12 - Disposition des principaux éléments de la Mirai

### 2015

En janvier, Toyota annonce qu'il met gratuitement à dispositions d'autres entreprises les 5 680 brevets qu'il a déposés sur les piles à combustible, dans le but d'accélérer le développement de ce type de véhicule dans le monde.

En mars, Toyota annonce qu'il va tripler la cadence de production avant fin 2017 pour atteindre 3 000 unités/an et que le délai de livraison atteint déjà 3 ans (16 000 intentions d'achat relevées).

Kobe Steel précise que les plaques bipolaires du stack de la Mirai sont en titane recouvert de carbone.



En avril, Toyota annonce que la commercialisation en Allemagne de la Mirai débutera à l'automne 2015 et qu'elle sera proposée en *leasing* pour 48 mois au coût mensuel de 1 219 €, qui inclura l'assurance et un entretien périodique.

En mai, Toyota annonce un partenariat avec Mazda au titre duquel Mazda utiliserait la technologie pile à combustible de Toyota en échange de moteurs essence et diesel.

En juillet, la Mirai débarque en Californie. L'offre proposée inclut, entre autres avantages, une assistance gratuite 24h/24 et le combustible hydrogène gratuit pendant 3 ans, ainsi qu'une garantie de 8 ans ou 160 000 km.

En novembre, la société américaine Gore annonce qu'elle fournit la membrane (GORE-SELECT®) équipant les 370 cellules du module pile à combustible de la Mirai.

## 2016

En février, la firme japonaise Lexus (groupe Toyota) présente sa déclinaison haut de gamme (LF-FC Concept) de la Mirai, à 4 roues motrices et deux moteur-roues à l'avant avec de nombreux accessoires supplémentaires.

En février elle est élue "Voiture Verte Mondiale de l'Année 2016".

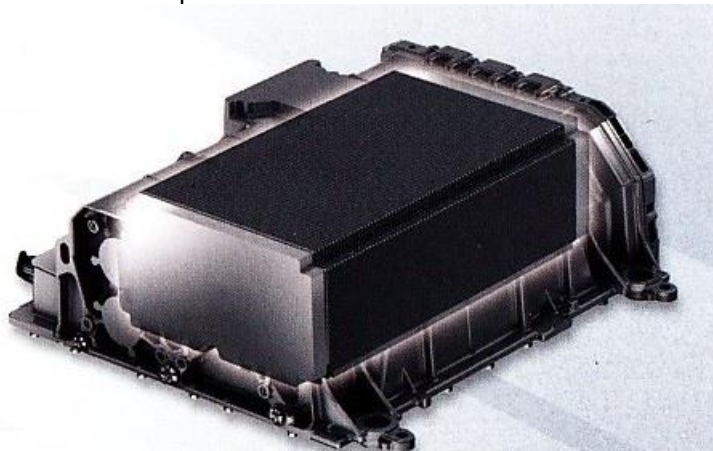
En avril, après des essais concluants en Allemagne à l'automne 2015, Toyota annonce sa commercialisation en Suède et Norvège à l'été 2016.

En septembre, Toyota annonce un coût mensuel de leasing de 349 \$ pour une durée de 36 mois et une utilisation de 20 000 km max/an et une assistance totale ainsi qu'une alimentation gratuite en hydrogène.

## 2017

Au printemps 2017, Toyota annonce<sup>2</sup> que cette voiture coûte 66 000 € en moyenne et qu'en 2016, 1150 ont été vendues au Japon, 1 500 aux Etats-Unis et 101 en Europe. L'objectif annoncé est la fabrication de 30 000 exemplaires par an à l'horizon 2020. Un site dédié est accessible à l'adresse <https://ssl.toyota.com/mirai/fcv.html>

En avril, Toyota annonce le début de démonstrations en Chine avec deux véhicules dès octobre 2017, sur une durée de 3 ans, dans le cadre d'une collaboration dans le projet « China 2 » de développement et de commercialisation du véhicule pile à combustible en Chine.



**Figure 13 - Le stack de la Mirai**

En juin, la compagnie de taxis parisiens Hype a accueilli 3 exemplaires de la Mirai, ce qui porte à 10 le nombre de Mirai dans l'hexagone.

En octobre, Toyota montre un élément de la chaîne de fabrication de la Mirai (**Figure 14**) ainsi qu'un nouveau concept de véhicule à pile à combustible : le « *Fine-Comfort Ride Fuel Cell Concept Vehicle* » (**Figure 15**), équipé de moteurs-roue avec une autonomie de 1 000 km environ. Toyota annonce, de plus, que ses véhicules à pile à combustible seraient au même prix que les équivalents thermiques, dès 2025.

<sup>2</sup> Magazine HYDROGENIUM, n°1



**Figure 14 - La chaîne de montage de la Mirai**  
(au premier plan, le stack et, derrière, les deux réservoirs d'hydrogène)



**Figure 15 - Le « Fine-Comfort Ride Fuel Cell Concept Vehicle » (2017)**

#### **2018**

En janvier, le gouvernement du Québec annonce l'achat de 50 exemplaires de la Mirai pour tester cette technologie.

En juin, la compagnie de taxis parisiens *Hype*, créée en 2015, a complété sa flotte de Mirai qui comporte alors 100 exemplaires.

#### **2019**

En février, les sociétés Air Liquide, Idex, Société du Taxi Électrique Parisien (STEP), et Toyota s'associent dans une joint-venture dénommée **HysetCo** et dédiée au développement de la mobilité hydrogène dans la région parisienne. Elle prévoit que sa flotte atteigne 600 taxis d'ici fin 2020, dont 500 exemplaires de la Mirai. Cette structure couvre deux activités : la distribution d'hydrogène et le

développement des applications de mobilité. Son ambition est d'atteindre zéro émission pour la flotte des taxis parisiens pour les Jeux Olympiques de 2024 avec environ 10 000 taxis.

En mai, E4tech annonce que Toyota espère abaisser la masse de platine par véhicule de 30g en 2019 à 10g dans la prochaine version.

## 2020

En janvier, à Amsterdam, a été présenté le successeur de la Mirai, dénommé Mirai 2 (**Figure 16**).



**Figure 16 - La Mirai 2 (2020)**

Par rapport à la version précédente, les ingénieurs de la marque ont apporté des améliorations au niveau de la pile à combustible (membrane GORE-SELECT) et des réservoirs qui permettent de stocker 1 kg de plus d'hydrogène (5,6 kg stockés) pour une autonomie passant à 650 km. Le lancement s'est effectué à la fin 2020, la voiture étant d'abord lancée au Japon et aux Etats-Unis avant d'arriver en Europe en 2021.

Les principales caractéristiques de la Mirai 2 sont les suivantes :

- batterie Li-ion : 12,5 kWh (batterie NiMH pour la Mirai)

- puissance de la pile : 128 kW (114 kW pour la Mirai) et puissance moteur : 182 cv
- poids : 1 900 kg
- volume du réservoir d'hydrogène : 142 l
- par rapport à la Mirai de première génération, la pile à combustible est 20% plus petite et 50% plus légère.
- prix en France : 78 900 €

## 2021

- En avril la Mirai 2 apparaît au Japon, accompagnée de sa cousine chez Lexus (**Figure 17**).



**Figure 17 - La Lexus LS Premium, dérivée de la Mirai 2 (2021), au Japon**

- En mai, un exemplaire de la Mirai 2 a effectué, à partir de la station HysetCo d'Orly, un trajet de 1003 km avec un plein, nouveau record après celui de la Nexo de Hyundai avec 888 km, ce qui correspond à une moyenne de 0,55 kg/100 km. Mais ce record n'a pas tenu longtemps puisqu'en août, une Mirai 2 a parcouru 1360 km avec un plein, en Californie, lors d'un road trip organisé par le *Toyota Technical Center* de Gardena, ce qui correspond à une consommation d'hydrogène de 0,42 kg/100 km !
- En août, Toyota fait savoir qu'il pourrait produire des versions hydrogène de ses voitures à moteur thermique, Prius et Corolla, à partir de 2023. Il travaille depuis 2017 sur cette alternative.

## 2022

- En avril, via les deux projets européens (Clean Hydrogen Partnership) ZEFER et H2ME, 100 taxis Mirai sont mis en service à Copenhague via la compagnie DRIVR, après Paris et Londres.
- En juin, 4 véhicules Mirai sont mis en service VTC en Espagne (Madrid) via CABIFY Group.

### 3. Le programme bus

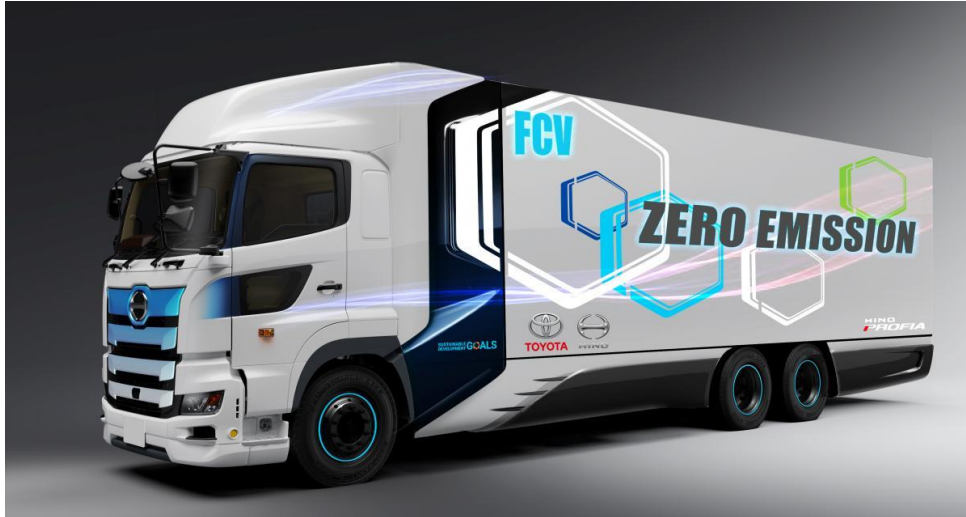
A côté du programme de développement de véhicules légers, Toyota poursuit un programme de développement de bus qui est détaillé dans la fiche 9.2.2 de ce Mémento.

### 4. Le programme poids lourds

En avril 2017, Toyota (via *Toyota Motor North America, Inc. (TMNA)*) annonce des études de faisabilité d'un poids lourd à pile à combustible, dans le cadre d'un projet baptisé « *Project Portal* », sur la liaison

(très encombrée et polluante) entre les ports de Los Angeles et de Long Beach. Ce type de véhicule (dit de Class 8) (**Figure 16**) serait alimenté par deux piles type Mirai de 115 kW et d'une batterie de 12 kWh ; son autonomie serait de 200 miles.

En mars 2020, *Toyota et Hino Motors, Ltd.* annoncent développer conjointement un poids lourd alimenté par une pile à combustible à hydrogène (**Figure 18**).



**Figure 18 - Projet de poids lourd Toyota - Hino (2020)**

En août 2022, aucune autre information n'a été publiée à ce sujet.



## Japanese Red Cross Kumamoto Hospital And Toyota To Begin Utilization Demonstration Of The World's First Fuel Cell Electric Vehicle Mobile Clinic

By FuelCellsWorks | Japan, News | 0 Comments

March 31, 2021 | 4 min read

Promoting Use of Hydrogen to Achieve Carbon Neutrality and Contributing to Disaster Response