

# REVUE AUTOMOBILE

N° 49 | 9 décembre 2021 | Fr. 5.- | Euro 5.-

FONDÉE EN 1906



## VÉHICULES DANS CE NUMÉRO

- Genesis G70 SB
- Genesis G90
- Jeep Gladiator
- Mazda 2
- Renault Kangoo
- Seat Arona
- Toyota Corolla Cross
- Toyota Yaris GR Sport



# Jeep Gladiator

## Roi de l'arène

Le pick-up de Jeep est dans son élément au milieu du sable et de la boue **12**



### TECHNIQUE

Christian Nellen, le professeur qui «turbine» à l'hydrogène

**18**

### TEST

Revisité, le Seat Arona fait des pas en avant, et d'autres en arrière

**11**



### TEST

Le Renault Kangoo, pour les familles futées

**15**

### SPORT

Fini avec le WRC, place au Rally1!

**20**



### PREMIER CONTACT

Débuts de Genesis en Suisse, avec le G70 SB

**10**



### ACTU

- Editorial **2**
- Taxation de la mobilité: le Conseil fédéral corrige les villes **2**
- La grogne monte face au durcissement soudain des normes sur le CO<sub>2</sub> **4**
- Bénéfices malgré des ventes en baisse **6**
- La mobilité de demain fait des remous **7**
- Un futur «hydrogéné» pour Toyota **8**

### NOUVEAUTÉS

- Toyota-Mazda, l'attaque des clones **9**

### TEST & PREMIER CONTACT

- Genesis, des débuts prometteurs **10**
- Seat Arona, l'entre-deux judicieux? **11**
- Jeep Gladiator, prêt à en découdre **12**
- Renault Kangoo, seigneur de l'espace **15**

### OPINIONS

- 2021, ode au ludospace **16**
- Courrier des lecteurs **16**

### TECHNIQUE

- Un scanner qui détecte la grêle **17**
- L'hydrogène à la rescousse du moteur à combustion interne **18**

### SPORT

- Adieu WRC, bonjour Rally1 **20**
- Hamilton-Verstappen, une rivalité digne des plus grands duels **23**

### LA DER

- Nissan, créativité... spatiale! **24**

Abonnements: Tél. 058 510 85 40  
AZA 2540 Grenchen | [www.revueautomobile.ch](http://www.revueautomobile.ch)



9 770035 076004

49

# Une solution prometteuse

**HYDROGÈNE** Jusqu'alors méconnu du grand public et des politiques, le moteur à combustion à hydrogène devrait ravir les passionnés d'automobile et les défenseurs de la planète.

Olivier Derard

Carburant neutre en carbone, l'hydrogène suscite un intérêt croissant en raison de sa disponibilité grandissante et de sa capacité à être produit à partir de sources d'énergie renouvelables. Utilisé comme carburant dans les piles à combustible, ce vecteur d'énergie très léger peut également être utilisé dans un moteur thermique à combustion, comme l'avait prouvé BMW en novembre 2006, en dévoilant, au salon de Los Angeles, l'Hydrogen 7. Fonctionnant aussi bien à l'hydrogène qu'au sans plomb, la Série 7 modifiée avait été produite à une centaine d'exemplaires avant de voir sa production stoppée net face à la carence de pompes à hydrogène. Aujourd'hui, les pompes à hydrogène étant toujours plus nombreuses, Toyota remet la technologie sur le tapis. Après avoir fait courir une Corolla modifiée avec son équipage (composé du grand patron de Toyota «himself», Akio Toyoda) lors d'une course d'Endurance de 24 Heures (lire RA n°26/2021), le plus grand constructeur de la pla-

nète a dévoilé la semaine passée un prototype de Yaris GR dont le moteur thermique a été modifié pour pouvoir fonctionner à l'hydrogène. Mais, cette technologie, jusqu'alors cantonnée à des prototypes, a-t-elle des chances d'atteindre, un jour, le stade de commercialisation?

Tenant de répondre à cette délicate question, la Revue Automobile est partie à la rencontre de Christian Nellen. Professeur HES associé à la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (lire biographie ci-contre), l'ingénieur connaît bien la technologie, son groupe travaillant sur plusieurs projets de moteurs thermiques à hydrogène, dont l'un, tournant, est monté sur un banc d'essais. «Avant tout, nous avons cherché à prouver qu'il suffisait de modifier un nombre très limité de composants pour convertir un moteur à combustion interne pour un fonctionnement à l'hydrogène», explique-t-il. Parmi les éléments modifiés figurent la gestion électronique du moteur et les injecteurs. «L'hydrogène a cela de particulier qu'il possède une densité énergétique volumique très inférieure à celle de l'essence. Ainsi, pour qu'un mo-

teur à combustion à hydrogène dispose de la même énergie qu'un moteur à essence, autrement dit pour que la pression appliquée sur le piston soit la même dans les deux cas, il faut injecter un plus grand volume d'hydrogène dans les tubulures d'admission (ndlr: il est ici fait allusion à une injection indirecte)». Le problème, c'est que le temps d'injection est physiquement limité dans la durée, puisqu'il ne peut pas être beaucoup plus long que le temps moteur I, c'est-à-dire le temps d'admission. «Si certains moteurs à essence ou à gaz naturel permettent d'injecter de l'essence durant tout leur cycle de fonctionnement, poursuit Nellen, avec l'hydrogène, on se fixe comme limite d'injecter uniquement lorsque la soupape est ouverte. Cela afin d'éviter tout risque d'inflammation du gaz qui pourrait être stocké dans le système d'admission.»

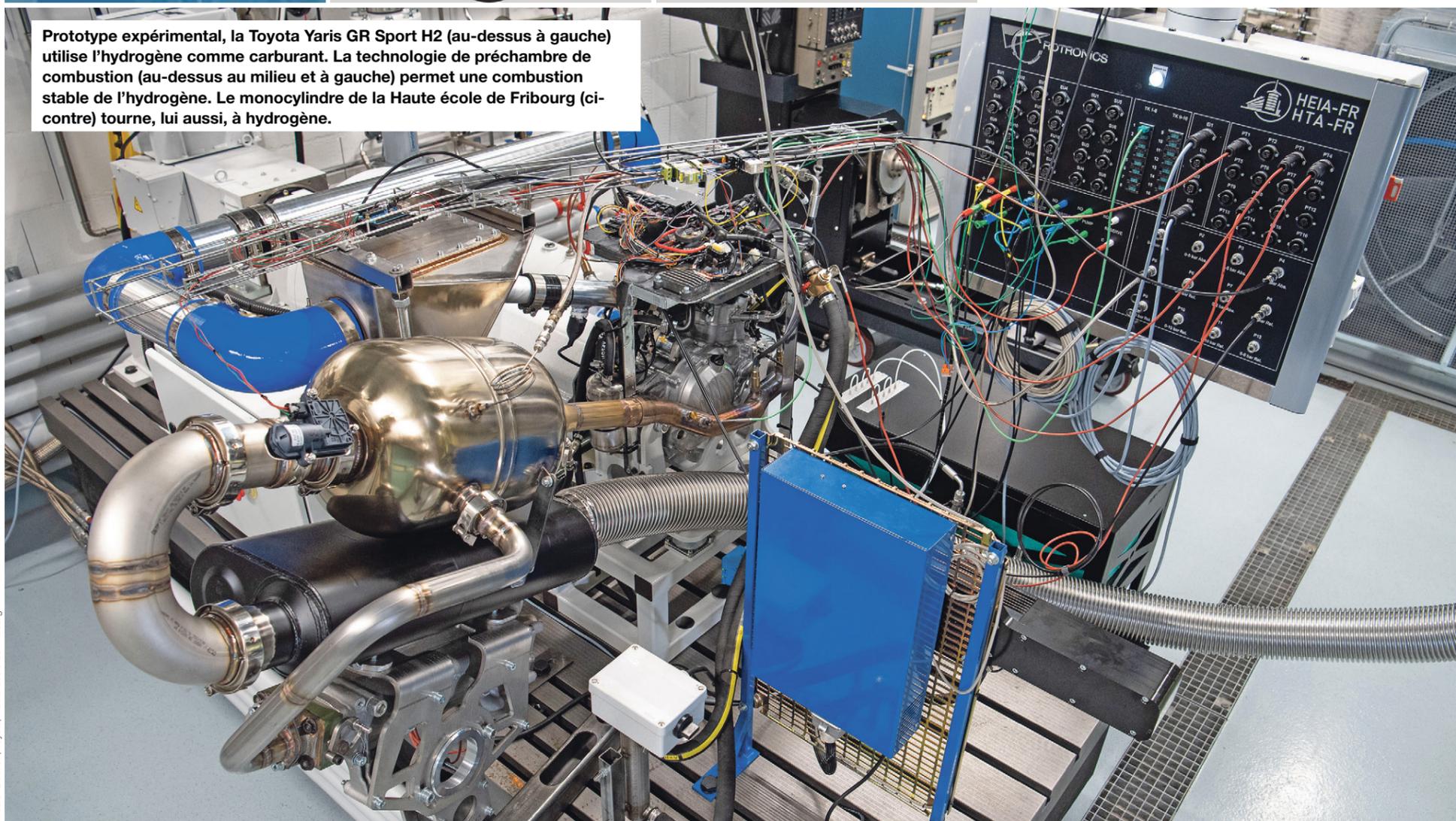
## Un débit d'injection plus important

Quant au système d'injection directe (injection d'hydrogène directement dans le cylindre), ils sont logiquement, eux aussi, limités au temps I d'admission. Ces contraintes ont poussé l'ingénieur à repenser l'alimentation. «Sur le monocylindre de moto qui est monté ici sur notre tout nouveau banc (ndlr: l'interview a été réalisée dans les locaux de la Haute école de Fribourg, voir photo), nous avons ajouté de nouveaux injecteurs. Directement implantés dans la culasse via un soudage laser, ils ont été modifiés afin d'injecter un débit plus important dans le cylindre. Un trou additionnel a été ajouté par micro-usinage», explique l'ingénieur. En outre, Christian Nellen et son équipe ont réoptimisé la géométrie des systèmes d'admission et d'échappement, et ce afin d'améliorer les propriétés acoustiques du moteur – on parle ici des ondes de pression et non pas de bruit – et ainsi en optimiser son remplissage.

Aussi étonnant que cela puisse paraître, ce sont là les principales modifications réalisées sur le moteur thermique à hydrogène tournant dans le laboratoire de la Haute école de Fribourg. En effet, aucun autre élément mécanique n'a été modifié. Ni



Prototype expérimental, la Toyota Yaris GR Sport H2 (au-dessus à gauche) utilise l'hydrogène comme carburant. La technologie de préchambre de combustion (au-dessus au milieu et à gauche) permet une combustion stable de l'hydrogène. Le monocylindre de la Haute école de Fribourg (ci-contre) tourne, lui aussi, à hydrogène.



Photos: Liebherr, Toyota, Haute école de Fribourg

les pistons, ni les chemises, ni même la segmentation. «Mais, attention tout de même à ne pas utiliser n'importe quelle pièce mécanique, car certains matériaux sont incompatibles avec de l'hydrogène. Typiquement, certains aciers ne peuvent être employés. En fait, le problème, c'est que l'hydrogène est tellement fin qu'il peut traverser de nombreux matériaux. Voilà pourquoi il est important que chaque moteur jouisse d'une analyse matériaux au moment de son développement», prévient l'ingénieur.

#### La question du rendement

Bien entendu, à Fribourg, on ne fait pas encore de tests de fiabilité. Les travaux sont davantage axés sur la R&D, la recherche et développement. «Mais je ne pense pas que la fiabilité soit le plus gros problème à l'heure actuelle. En réalité, aujourd'hui, le véritable challenge est plutôt d'obtenir un bon rendement avec des émissions de NO<sub>x</sub> très faibles (en général, ces deux paramètres ont la même tendance, ndr). Une pile à combustible profite d'un très bon rendement à basse charge, mais, lorsque la demande de puissance se fait plus importante, le rendement a tendance à s'écrouler. Le moteur à combustion, c'est l'inverse. Il a un faible rendement à faible charge, et une bonne efficacité à charge plus élevée. Ainsi, à partir d'une certaine charge, le moteur à combustion devient plus compétitif.» Voilà qui explique pourquoi le moteur à hydrogène semble particulièrement bien taillé pour les moteurs de bus, de poids lourds, de machines de chantier et de bateaux. Des secteurs qui possèdent des machines très coûteuses et difficile à remplacer. Voilà aussi pourquoi transformer ces moteurs diesel en moteur à hydrogène par le biais de certaines pièces spécifiques – c'est ce que l'on appelle du retrofit – paraît le plus sensé. L'autre défi à surmonter concerne les émissions de NO<sub>x</sub>. Effectivement, s'il n'émet pas de CO<sub>2</sub>, le moteur à combustion à hydrogène rejette, en revanche, des émissions de NO<sub>x</sub>, dangereuses pour la santé humaine. Un désavantage de taille par rapport à la pile à combustible qui, elle, n'émet aucune particule toxique. Néanmoins, ce défaut n'est pas insurmontable, les pièges à NO<sub>x</sub> et autres filtres à particules étant devenus courants dans l'industrie.

Bien que la technologie présentée par Christian Nellen n'en soit encore qu'au stade de développement, le professeur n'hésite pas à déjà parler de TCO, le fameux «total cost of ownership», soit le coût total de possession, une information indispensable qui exprime les coûts directs et indirects du produit: «Pour les TPF (Transports publics fribourgeois), nous avons réalisé une très large étude couvrant l'achat et l'usage de bus. Les résultats de cette étude sont sans appel: le TCO d'un bus avec moteur à combustion à hydrogène est plus intéressant que son pendant à pile à combustible. Mieux: en milieu extra-urbain, le moteur à combustion à hydrogène se révèle même plus intéressant que les bus se servant d'une machine électrique et d'une batterie. Bref, le potentiel est énorme», affirme le professeur de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg.

#### Liebherr également sur le coup

Et Christian Nellen n'est pas le seul à le penser. Hormis le groupe Toyota, l'entreprise d'origine allemande et de droit suisse Liebherr, avec qui collabore Nellen et son équipe semble, elle aussi, croire, dur comme fer, en l'avenir de la technologie. En collaboration avec le géant anglo-américain Mahle, elle a développé une préchambre de combustion pour les moteurs hautes performances fonctionnant à l'hydrogène. «L'utilisation de l'hydrogène comme combustible pourrait permettre d'accélérer la décarbonation de nombreux véhicules lourds et tout terrain», avance Mike Bunce, directeur de recherche chez Mahle Powertrain aux Etats-Unis. «Au cours des dernières décennies, de nombreux résultats ont confirmé la compatibilité de l'hydrogène avec les moteurs à combustion interne. Le challenge consistait à obtenir une combustion stable.»

Un défi réussi, semble-t-il: «Le moteur à combustion à l'hydrogène est parfaitement adapté aux cycles avec des variations brusques et fréquentes de charges, à la poussière, à la chaleur et aux vibrations lors des usages intensifs et tout terrain. Contrairement aux autres groupes de propulsions, à pile à combustible ou à batterie», conclut Liebherr dans un communiqué.



### Biographie

Professeur HES à la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg, Christian Nellen est licencié de la Haute école spécialisée bernoise, un institut dans lequel il a obtenu un Bachelor en Ingénierie automobile (une faculté située à Bienne). Par la suite, il a poursuivi son parcours à l'École polytechnique fédérale de Zurich. Après avoir déménagé en Angleterre où il a travaillé chez Cosworth Racing en tant qu'ingénieur développement pour le WRC, il a ensuite été embauché chez Renault F1 à Viry-Châtillon, où, entre 2003 et 2014, il était en charge du développement des culasses, de l'échappement et du turbocompresseur des différents moteurs de F1.

Evoquant les problèmes rencontrés lors du développement de la technologie, l'entreprise germano-suisse explique que l'hydrogène est sujet à une combustion particulière, entraînant, bien souvent, du cliquetis (combustion anormale entraînant une résonance de l'explosion sur les parois de la chambre de combustion et du piston) et un allumage précipité. Généralement, ce problème se résout via une diminution du taux de compression dans le moteur, qui se traduit par une baisse d'efficacité. L'une des alternatives envisagée par Liebherr consiste à utiliser la technologie d'allumage avec chambre de précombustion. Initialement développée par Mahle pour les applications à essence, elle s'avère idéale pour le fonctionnement des moteurs à hydrogène.

Pour être utilisé, le système a néanmoins été adapté. Ainsi, la préchambre de combustion dans la culasse, qui contient une bougie d'allumage, a notamment été modifiée. Elle enflamme un premier mélange d'air et d'hydrogène qui traverse de petites ouvertures dans la chambre de combustion principale afin d'enflammer le mélange combustible de manière homogène. La combustion est ainsi beaucoup plus rapide.

#### Une technologie adaptée en Suisse

C'est en Suisse, non loin de Fribourg, que la technologie a été ajustée: «Avec Liebherr Machines Bulle SA, nous avons pu adapter la préchambre de combustion active sur les moteurs à hautes performances, ce qui nous a permis d'améliorer la vitesse de combustion, la puissance et les émissions. De plus, la technologie simplifie l'architecture des moteurs», explique Mike Bunce. «Nous avons ainsi pu diminuer le risque de baisse du taux de compression lié à l'hydrogène et réduire la consommation énergétique. Les connaissances techniques de l'équipe d'ingénieurs Liebherr dans les domaines de la combustion à haut rendement et de la recherche et développement des moteurs à combustion à carburants alternatifs ont été d'une grande aide dans le cadre de ce programme», ajoute Bouzid Seba, responsable du développement chez Liebherr Machines Bulle SA.

Réalité chez Liebherr, le moteur thermique à hydrogène semble avoir toutes les chances de se faire une place au sein des véhicules de tourisme. Car avec les carburants de synthèse, il semble être l'une des seules solutions qu'ont les constructeurs automobiles de continuer à proposer des voitures «propres», dénuées d'émissions de CO<sub>2</sub>, et «émotives», émettant des sons et dégageant des odeurs. Voilà qui permettrait de contenter à la fois les automobilistes passionnés et les écologistes affolés. ●

### ÉCHOS DE LA SCIENCE

## Stellantis travaille sur l'induction

En association avec des partenaires parmi lesquelles des institutions publiques et autres universités, le Groupe Stellantis a inauguré l'«Arena Del Futuro». Long de 1050 mètres, ce circuit construit entre Brescia et Milan entend démontrer que le système DWPT (Dynamic Wireless Power Transfer), autrement dit la recharge par induction en mouvement, est capable de résoudre les problèmes d'autonomie et de recharge des voitures électriques sur les longs trajets. Dans ce modèle, la voiture circule au-dessus d'une succession de bobines émettrices installées dans la chaussée. A chaque bobine franchie, l'auto reçoit de l'électricité pendant une fraction de seconde. Premiers véhicules à être testés, les citadine Fiat 500e et bus Iveco E-Way ont été équipés de la technologie. La participation de Stellantis à ce projet s'inscrit dans le cadre d'une stratégie d'électrification. Le géant prévoit, en effet, d'investir plus de 30 milliards d'euros



d'ici 2025 dans l'électrification et le développement de logiciels. De quoi permettre à ce géant de l'automobile d'atteindre ses objectifs ambitieux en matière d'électrification; d'ici 2030, plus de 70% des «Stellantis» vendues en Europe seront à faibles émissions, promet le Groupe.

## Tavares inquiet

Imposée par les autorités européennes, l'électrification automobile est loin de faire l'unanimité au sein des constructeurs. A commencer par Carlos Tavares, le directeur général du groupe Stellantis. Selon lui, la transition trop rapide du secteur entraîne des risques quant à la qualité des véhicules, du fait des surcoûts inhérents à la technologie. Tavares déplore ainsi que la transition vers la voiture propre «dépasse les limites» du supportable: «Ce qui a été décidé, c'est d'imposer au secteur automobile une électrification qui ajoute 50% de coûts additionnels à un véhicule conventionnel. Il est impossible que nous répercutions 50% de ces coûts sur le consommateur. La plus grande partie de la classe moyenne serait incapable de se payer un tel véhicule.» Dans la branche, ces préoccupations sont largement partagées. A l'inverse de leurs homologues chinois ou étasuniens, les entreprises automobiles et autres sous-traitants européens sont, en effet, très inquiets quant à leurs capacités à générer des profits dans les 5 prochaines années.