

INGÉNIEURS DE L'AUTO

MARS/AVRIL 2024 # 888

L'Interview

François Jacq, CEA
La recherche
au service
de l'industrie

Focus

Nombreuses
interrogations autour
du giga-casting

Dossier

Le pneu fait sa révolution verte

Conférences
SIA

Moteurs électriques : quelle technologie pour quel usage ?
Les enjeux du développement de l'électromobilité
pour le système électrique

 SOCIÉTÉ DES
INGÉNIEURS DE
L'AUTOMOBILE

Une révolution permanente. Voilà ce que vit l'automobile depuis plus de 120 ans, portée par nombre d'innovations. Aujourd'hui, les défis à relever n'ont peut-être jamais été aussi nombreux avec la bascule souhaitée vers l'électrique. Les ingénieurs sont plus que jamais sollicités mais ils gardent un regard plus large.

La prochaine journée d'étude de la SIA, le 16 mai, sera consacrée à l'utilisation de l'hydrogène comme carburant d'un moteur à combustion interne. Ce sujet a pris de l'ampleur ces dernières années, comme en témoignent les travaux de BorgWarner et d'Aramco.

Le giga-casting est, dans le registre de la conception et de la production, un autre symbole de ce mouvement perpétuel. Et comme souvent, les innovations suscitent des interrogations, voire des craintes. Ces grandes pièces de structures font notamment naître un débat sur la réparation des véhicules ainsi construits, à l'heure où l'économie circulaire tente de s'imposer dans le paysage automobile.

L'innovation est souvent le fruit de collaborations, et le CEA se positionne aujourd'hui au carrefour des sciences, des technologies et des applications industrielles. L'entretien avec François Jacq, son administrateur général, nous permet de mieux mesurer l'importance des recherches initiées par l'organisme.

Enfin, notre dossier est consacré au pneumatique. Non, le pneu n'est pas un simple « morceau de caoutchouc », mais une pièce très technique, à la complexité folle et dont l'impact environnemental actuel est encore important. Aujourd'hui, 71 % des matériaux utilisés dans un pneumatique sont issus de ressources fossiles. Pour réduire cette part et atteindre le pneumatique 100 % durable en 2050, les manufacturiers travaillent dans toutes les directions : recyclabilité accrue, matériaux issus de déchets végétaux, recyclage en boucle courte. Sans oublier de répondre aux prescriptions réglementaires d'Euro 7 concernant les particules émises pendant le roulage.

Toute la rédaction d'*Ingénieurs de l'Auto* vous souhaite une bonne lecture.





LES FORMATIONS SIA 2024



FORMATIONS TECHNIQUES

La technologie du véhicule électrique*

Composants et fonctionnement

4-5 avril

Distanciel

7-8 nov.

Distanciel

18 juin

Présentiel

3 déc.

Présentiel

Fonctions de conduite du véhicule*

Des ADAS à la mobilité autonome

9-10 avril

Distanciel

19-20 nov.

Distanciel

25 juin

Présentiel

NEW

Cybersécurité du véhicule connecté*

14 mai

Présentiel

17 déc.

Présentiel

18 sept.

Présentiel

La cybersécurité est devenue un enjeu majeur pour les véhicules connectés. Cette formation vous permettra d'identifier la surface d'attaque des véhicules et les menaces associées à leur architecture électrique électronique. Les techniques de sécurisation au niveau véhicule, composant et serveur débarqué seront abordés pour vous permettre de contribuer à la chaîne de confiance du véhicule connecté.



LES NORMES

L'essentiel de la norme ISO 26262

4-5 juin
Présentiel

26-27 nov.
Présentiel

NEW

L'essentiel de la norme ISO/SAE 21434*

Cybersécurité automobile

23-24 avril
Présentiel

10-11 déc.
Présentiel

24-25 sept.
Présentiel

Une norme de cybersécurité pour le produit qui est la référence mondiale reconnue et utilisée par tout l'écosystème automobile. La compréhension de l'ISO/SAE 21434 est une nécessité absolue pour concevoir, développer, industrialiser et superviser les produits et les systèmes destinés aux véhicules et à leurs serveurs débarqués. L'intégration des processus issus de cette norme est un attendu important pour toute entreprise qui fournit des solutions électroniques, réseau ou logicielles en vue de leur intégration dans un système automobile. Cette formation est une étape importante permettant d'intégrer la cybersécurité dans vos processus internes et de démontrer votre conformité à vos clients et partenaires.



LA QUALITÉ / LA FIABILITÉ

Les outils de la sûreté de fonctionnement

Principes et enchaînements

11-12 juin
Présentiel

21-22 nov.
Présentiel

Fiabilité des produits

De l'évaluation au plan
de validation

1-2-3 juil.
Présentiel

4-5-6 déc.
Présentiel



La certification qualité a été délivrée au
titre de la catégorie d'action suivante :
- Actions de formation

Avec le support de :



Sommaire

12 Nouveaux Talents

Nanomade : la force des capteurs dopés aux nanoparticules

42

Le Dossier

Comment le pneumatique se donne les moyens de sa quête environnementale



16

L'Interview

François Jacq, administrateur général du CEA

“Les travaux de recherche du CEA sont le lien entre les sciences, les technologies et les applications industrielles”



8 Focus

Nombreuses interrogations autour du giga-casting

12 Nouveaux talents

Nanomade : la force des capteurs dopés aux nanoparticules

14 Une école, des projets

L'ECAM LaSalle nourrit ses futurs ingénieurs de valeurs techniques et humaines

16 L'Interview

François Jacq, administrateur général du CEA

20 L'actu en brèves

28 Pleins feux

- Innovations au JEC World 2024
- Les véhicules utilitaires légers engagés dans la propulsion à hydrogène

36 Conférences SIA

- Moteurs électriques : quelle technologie pour quel usage ?
- Mythes et réalités sur les conséquences du développement de l'électromobilité pour le système électrique

42 Le Dossier

Comment le pneumatique se donne les moyens de sa quête environnementale

63 Le cahier des entreprises

Éditeur : Société des Ingénieurs de l'Automobile. Immeuble "le Gabriel Voisin" - 79 rue Jean-Jacques Rousseau - 92158 Suresnes Cedex. T. : 01.41.44.93.70 - F. : 01.41.44.93.79. @Ingénieurs de l'Auto. **Directeur de la publication :** Frédéric Charon. **Directrice de la rédaction et coordinatrice :** Catherine Leroy. **Rédacteur en chef :** Christophe Jaussaud. **Rédacteurs :** Bertrand Gay, Yvonnick Gazeau, Vincent Gonin. **Directrice artistique et maquette :** Eve Taberna. **Secrétariat de rédaction :** Lila Mars. **Conférence de rédaction :** Nathalie Bouad, Thierry Bourdon, Luc Bourgeois, Marie-Claude Buraux, Jacques Graizon, Nouredine Guerrassi, Bertrand Largy, Emmanuel Lescaut, Luc Marbach, Frédéric Martin. **Crédits photos :** A2Mac1, BMW, BorgWarner, Bridgestone, CEA, Clarios, Continental, ECAM LaSalle, FIA, Here, Hutchinson, Hyundai, Hyvia, Marelli, Michelin, Michelin/Tibo the good clic, Nanomade, Nissan, Peugeot, Renault, Saft, SIA, Silicon Box, Stellantis/Julien Cresp, RTE, Tesla, TomTom, Toyota, Valeo, Volvo Cars, ZF. AdobeStock (568300199, 73071711, 53745579, 716688676, 682409246). iStock (186823773) **Éditeur Délégué :** Syner J Media, 9-9 bis rue Henri Martin, 92100 Boulogne-Billancourt. **Directeur commercial :** David Chatelon T. : 01.75.60.64.75. **Directrice de publicité et du développement commercial :** Fazia Maghissene T. : 01.75.60.64.79. **Directrices et directeur de publicité :** Marie-Laure André T. : 01.75.60.28.60. Suzanne Carvalho T. : 01.75.60.40.62. Bruno Renout T. : 01.84.19.02.89. **Responsable administration des ventes :** Sandra Huet T. : 01.75.60.64.76.

Imprimeur : Imprimerie Champagne II, 52200 Langres. N°ISSN 0020-1200. Ce numéro comporte 68 pages. Origine du papier : Italie. Taux de fibres recyclées : 0 %. Certification : PEFC. Eutrophisation : Ptot 0,006 kg/t.

Diffusion service abonnement : Abonnement avec adhésion SIA : 79 rue Jean-Jacques Rousseau - 92 158 Suresnes Cedex - info@sia.fr - 01.41.44.93.70. **Abonnement seul :** abo@synerjmedia.com - 01.78.16.31.29.

Tarif abonnement 1 an non adhérent : France métropolitaine 140 euros TTC. Europe 159 euros HT. Hors d'Europe et DROM COM : 170 euros HT. <https://boutique.journalauto.com> • Tarif au numéro : 27 euros TTC.



Les conférences SIA 2024

> Réservées aux membres et à tous les collaborateurs des entreprises partenaires

CONFÉRENCES EN DISTANCIEL

- ▷ **24 JANVIER 2024**
Anatomie des véhicules électriques : quels choix les nouveaux entrants opèrent-ils face aux constructeurs historiques ?ques ont-ils une génétique nationale ?
En collaboration avec A2MAC1

- ▷ **22 FEVRIER 2024**
Moteurs électriques, quelle technologie pour quel usage ?
IFPEN

- ▷ **23 AVRIL 2024**
Règlementations automobiles - Projections 2024-2035
Renault Group - Stellantis

- ▷ **22 MAI 2024**
La révolution "by wire", quels impacts pour le véhicule et pour l'utilisateur ?
Bosch- Stellantis

- ▷ **26 JUIN 2024**
L'ACV, nouvel outil de décision stratégique ?
Renault Group - Stellantis

En complément des conférences mensuelles, la SIA organise en partenariat avec le Cnam, l'IPF School, Sorbonne Université & l'ESTACA, 4 conférences supplémentaires, ouvertes à tous :

25ème cycle de conférences « Utilisation rationnelle de l'énergie et environnement »

12 mars : Les enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique

19 mars : Transitions vertes, des solutions orange

26 mars : Enjeux et Stratégies de décarbonation pour le non routier

2 avril : Evolution des mobilités : comment mieux inclure l'usage dans leur analyse ?

Les événements SIA 2024

> Ouverts à tous

Le système batterie : technologies et leviers de performance

Journée d'étude

21 mars 2024, IFPEN - Solaize

- 8 présentations // 150 participants
- Exposition & Offres de visibilité

High Performance Hydrogen Internal Combustion Engine

International Conference

16 May 2024, Université d'Orléans - Orléans, France

- 8 presentations // 250 attendees
- Exhibition & Advertising opportunities

SIA Powertrain 2024

International Congress

19-20 June 2024, Palais des Congrès - Lille, France

- 60 presentations // 700 attendees
- Test-Drive Cars
- Exhibition & Advertising opportunities

NeMMO 2024

SIA - SFIP International Congress

3-4 July 2024, Couvent des Jacobins - Rennes, France

- 25 presentations // 200 attendees
- Exhibition & Advertising opportunities

Les technologies de l'hydrogène

Journée d'étude

9 juillet 2024 - Région parisienne

- 8 présentations // 100 participants
- Exposition & Offres de visibilité

Simulation numérique & IA

Journée d'étude

18 Septembre 2024, Technocentre - Guyancourt

- 8 présentations // 100 participants
- Exposition & Offres de visibilité

SIA VISION 2024

International Congress

16-17 October 2024, Cité des Sciences et de l'Industrie - Paris, France

- 40 presentations // 700 attendees
- Test-Drive Cars
- Exhibition & Advertising opportunities

Holistic Safety

Journée d'étude

21 Novembre 2024, ECE - Paris

- 8 présentations // 100 participants
- Exposition & Offres de visibilité

Avec le soutien de la Filière Automobile / With the support of the Automotive Industry

Nanomade : la force des capteurs dopés aux nanoparticules

Grâce à une encre intégrant des nanoparticules, Nanomade propose des capteurs aux propriétés et aux applications multiples. Basée à Toulouse, la société s'est recentrée, après son rachat en 2019, sur l'automobile et l'aéronautique pour démontrer son savoir-faire et passer à la vitesse supérieure.

«*En fait, nous sommes des imprimeurs*», plaisante Olivier de Trémaudan, président de Nanomade. La technologie mise en œuvre par sa société repose en effet sur de l'encre incorporant des nanoparticules, qui est ensuite «*imprimée*» sur un film souple, épais de seulement 20 microns et doté d'électrodes conductrices. Ainsi, les supports où le film est appliqué deviennent interactifs et génèrent des datas. En plus de la sensibilité, les capteurs, dont la surface active est un «*pixel*» de 4 mm de côté, prennent en compte la force de la pression exercée par mesure de la déformation du matériau sous lequel ils sont collés.

La société compte une quinzaine d'employés, dont 13 ingénieurs, qui touchent à la chimie, l'électronique, le machine learning ou l'intégration. «*Avec notre équipe, nous sommes capables de réaliser dans nos locaux de Toulouse tous les prototypes demandés par les clients*», explique Olivier de Trémaudan. *Nous sommes très réactifs et capables de réaliser un prototype en un à cinq mois.*»

Une nouvelle vie

Reprise en 2019 par Olivier de Trémaudan et Jean-Claude Rassou, Nanomade s'est essentiellement recentrée depuis sur l'automobile et l'aéronautique, même s'il y a un travail en cours avec Dextrain dans la médecine et un projet dans le secteur du luxe. Pour mener à bien cette nouvelle stratégie, Nanomade a fait une «*levée de compétences*» en 2023. «*Au-delà du financement, nous avons surtout intégré des compétences,*



Olivier de Trémaudan
Président de Nanomade

avec par exemple un business angel (BA) spécialiste du machine learning, ou un autre BA spécialiste des smartphones», explique le président. Dans une première vie, la société avait d'ailleurs abordé l'univers des smartphones et du gaming, mais le projet faisant de la coque du téléphone une manette de jeu grâce à la technologie de Nanomade n'avait pas abouti, le client ayant cessé de commercialiser sa gamme de smartphones, laissant la société exsangue. Cela étant, Olivier de Trémaudan n'a pas abandonné l'idée d'un retour dans l'électronique grand public, mais pas avant quelques années.

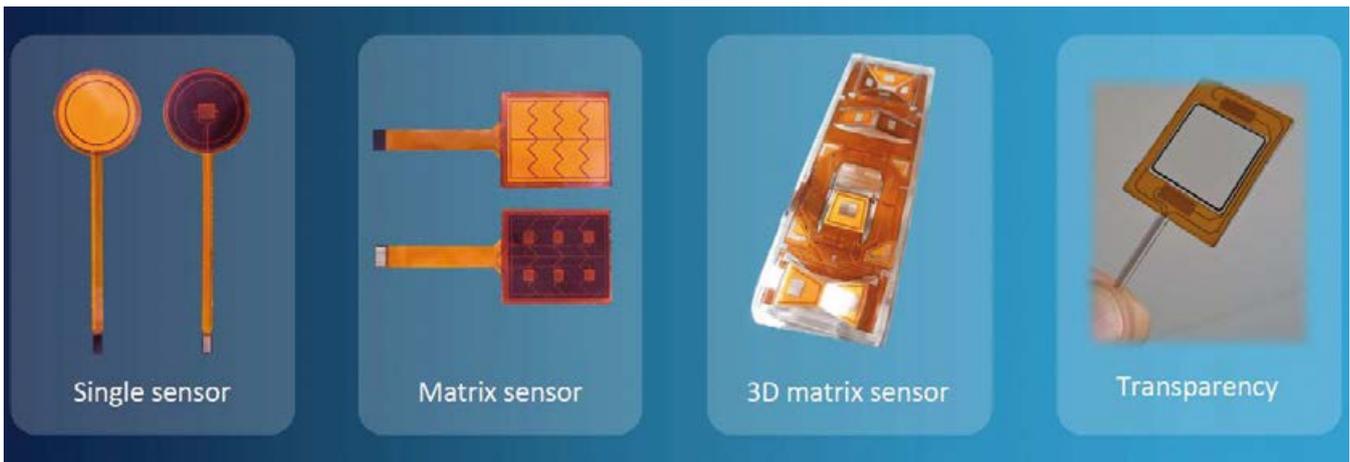
Envol de la production prévu à partir de 2025

L'heure est plutôt au développement des affaires dans l'automobile et l'aéronautique. La société réalise un chiffre d'affaires oscillant entre 200 000 et 500 000 euros par an

et vise «*plusieurs dizaines de millions par an*» à l'horizon 2027-2028. «*Aujourd'hui, les trois quarts de notre chiffre d'affaires viennent de nos prototypages, rapporte le président, mais d'ici quelques années, la vente de nos capteurs représentera 95 % de celui-ci.*» Dans cette feuille de route, la production de capteurs va aller crescendo. Nanomade est capable de produire à Toulouse environ 20 000 unités par an et veut passer à des volumes annuels compris entre 1 et 2 millions dès 2025. Pour cela, la société va procéder à une levée de fonds cette année afin de financer une nouvelle ligne de production, notamment pour l'aéronautique où les volumes sont plus faibles, mais à forte valeur ajoutée. Pour l'automobile, où les volumes sont bien plus importants, Nanomade sous-traitera une partie de la fabrication.

L'environnement y gagne aussi

L'automobile, justement, où des projets porteurs vont bientôt aboutir. Nanomade travaille par exemple avec Novares pour proposer un module de lève-vitre et réglage des rétroviseurs entièrement réalisé avec la technologie maison. Les points forts de cette solution reposant sur 24 zones actives sont la légèreté de la pièce et sa meilleure recyclabilité, car il y a moins de matières différentes et aucun élément mécanique (boutons, ressorts). Mais l'atout majeur des capteurs Nanomade réside dans le fait qu'en plus d'être très sensibles, ils prennent donc en compte la pression appliquée. En effet, à l'inverse d'une surface simplement tactile que l'on pourrait actionner



involontairement, les capteurs gèrent la force de l'appui pour activer une fonction, en l'espèce remonter ou descendre une vitre. Il n'y a ainsi pas de déclenchement possible en effleurant la zone par inadvertance.

Un autre projet, avec un constructeur, porte sur un volant intègre le film imprimé de 20 microns entre la jante et le cuir. En plus d'être capacitive, une nécessité pour le fonctionnement des régulateurs de vitesse intelligents, la jante du volant peut abriter d'autres fonctions, comme le changement de vitesse ou, pourquoi pas, les niveaux de régénération pour un véhicule électrique. Les branches du volant accueillent toujours d'autres fonctions dans le prototype réalisé mais encore une fois, grâce aux capteurs mesurant la force, aucun risque de déclenchement intempestif lors d'une manœuvre.

Prioriser les développements

Toutes ces solutions génèrent des datas que les constructeurs pourront recueillir pour améliorer leurs solutions durant le cycle de vie du produit, en agissant sur le software du véhicule, ou pour la génération suivante. Un autre projet, jusqu'ici engagé dans l'aérien, peut aussi avoir une résonance dans l'automobile. En effet, la faible épaisseur du film avec les capteurs et surtout sa faculté à être placé sur toutes les matières offrent des possibilités pour mieux appréhender, entre autres, le confort des personnes. Baptisé Health Monitoring, ce projet mené avec Airbus est aujourd'hui au catalogue de l'avionneur. Nanomade a intégré des capteurs dans les

sièges pour mesurer la déformation des mousses, mais aussi suivre le rythme cardiaque du passager. Une application qui ferait également sens dans l'automobile, où les systèmes de surveillance de la vigilance des conducteurs sont devenus obligatoires et vont se développer. « Nos capteurs sont capables de détecter un endormissement 10 à 20 minutes avant qu'il ne soit effectif », indique Olivier de Trémaudan. Bientôt une application dans l'automobile ? Le président tempère : « Les vibrations dans un véhicule perturbent encore les résultats. » Mais Nanomade n'abandonne pas le projet, même s'il n'est pas prioritaire, et discute d'ailleurs avec un équipementier japonais intéressé par le potentiel.

Dans l'aéronautique, Nanomade travaille également avec Aura Aero, un fabricant d'avions électriques, qui a placé des capteurs sur ses trains d'atterrissage afin de mesurer la déformation à chaque mouvement, et ainsi

faire de la maintenance prédictive sur cet élément essentiel. La société collabore aussi avec Otonomy Aviation pour la surveillance des portes d'avion et surtout des chocs qu'elles reçoivent lors des escales dans les aéroports. De la même manière, cela autorise de la maintenance prédictive, mais permet aussi de connaître, notamment pour les assurances, quel éventuel choc, dans quel aéroport, a détérioré la porte. Preuve que ces nanoparticules sont inépuisables, il y a même eu un projet dans la logistique avec des tapis comptant pas moins de 4 705 capteurs au m² et capables de reconnaître, après une petite cure d'intelligence artificielle, les objets posés dessus, et ainsi mieux gérer le réassort ou les stocks. Les capteurs de Nanomade offrent donc de très nombreuses possibilités. Pour Olivier de Trémaudan et ses troupes, l'essentiel maintenant est de prioriser les développements ●

Christophe Jaussaud



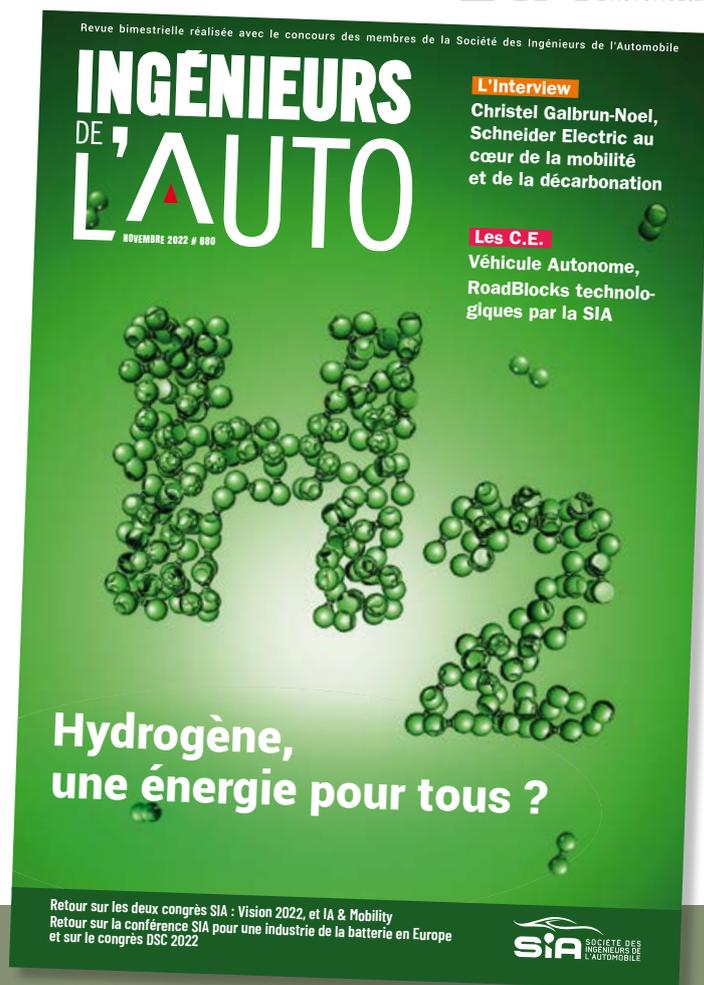
Synerj media



INGÉNIEURS DE L'AUTO

LE MAGAZINE DES NOUVELLES
TECHNOLOGIES AUTOMOBILES

En partenariat avec



VOTRE OFFRE MÉDIA S'ÉLARGIT ET ACCUEILLE LE TITRE INGÉNIEURS DE L'AUTO

Synerj media

Le Journal de
l'Automobile

J2R
LE JOURNAL DE LA RECHARGE
ET DE LA RÉPARATION

Le journal du
Poids lourd

Le journal du
Pneumatique

Le journal des
Flottes

INGÉNIEURS
DE
L'AUTO

Les véhicules utilitaires légers engagés dans la propulsion à hydrogène

Dans un objectif de décarbonation des véhicules utilitaires légers, deux alternatives à la propulsion électrique à batterie sont proposées par la voie de l'hydrogène : des modèles à pile à combustible sont désormais commercialisés, et des projets impliquant des moteurs à combustion permettront de « verdir » le parc actuel.

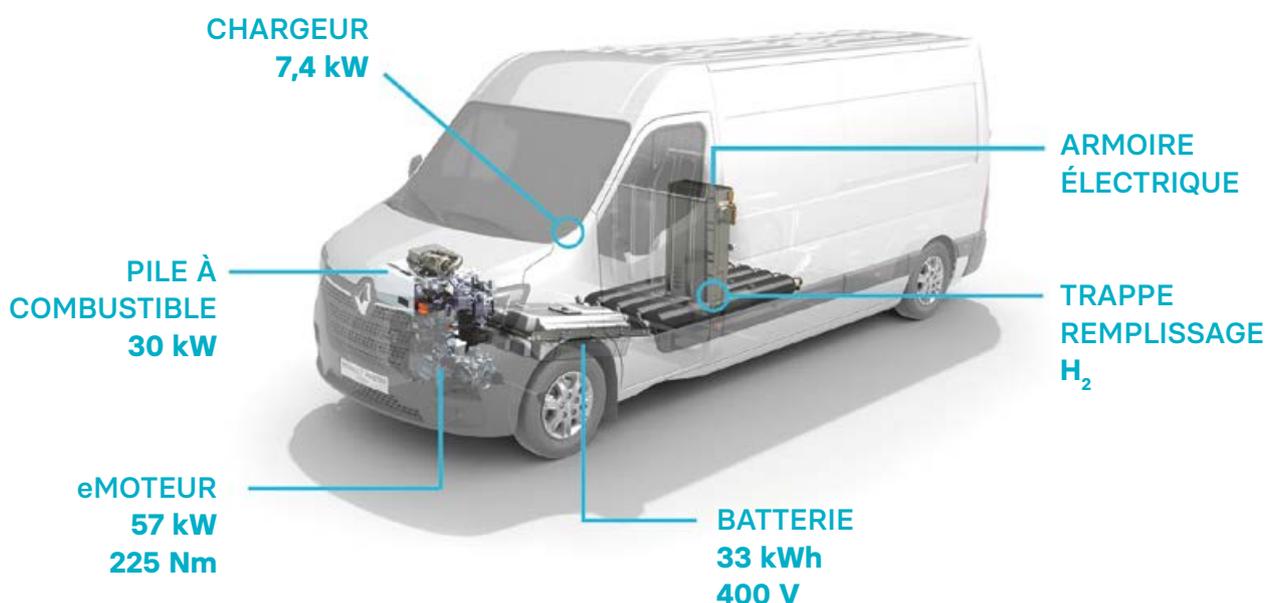
La production de l'hydrogène « vert » par électrolyse alimentée en électricité décarbonée nécessite une grande quantité d'énergie, mais ses densités d'énergie massique et volumique sous 700 bars, intégrant le contenant, sont respectivement 6 et 3 fois plus élevées que celles des batteries lithium-ion actuelles. Cette caractéristique est particulièrement pertinente pour les véhicules devant stocker une grande quantité d'énergie, cet intérêt grandissant avec la masse à déplacer et la demande en autonomie, ce dernier critère étant en outre aidé par un remplissage des réservoirs réalisé en 5 minutes.

Pile à combustible ou moteur à combustion ?

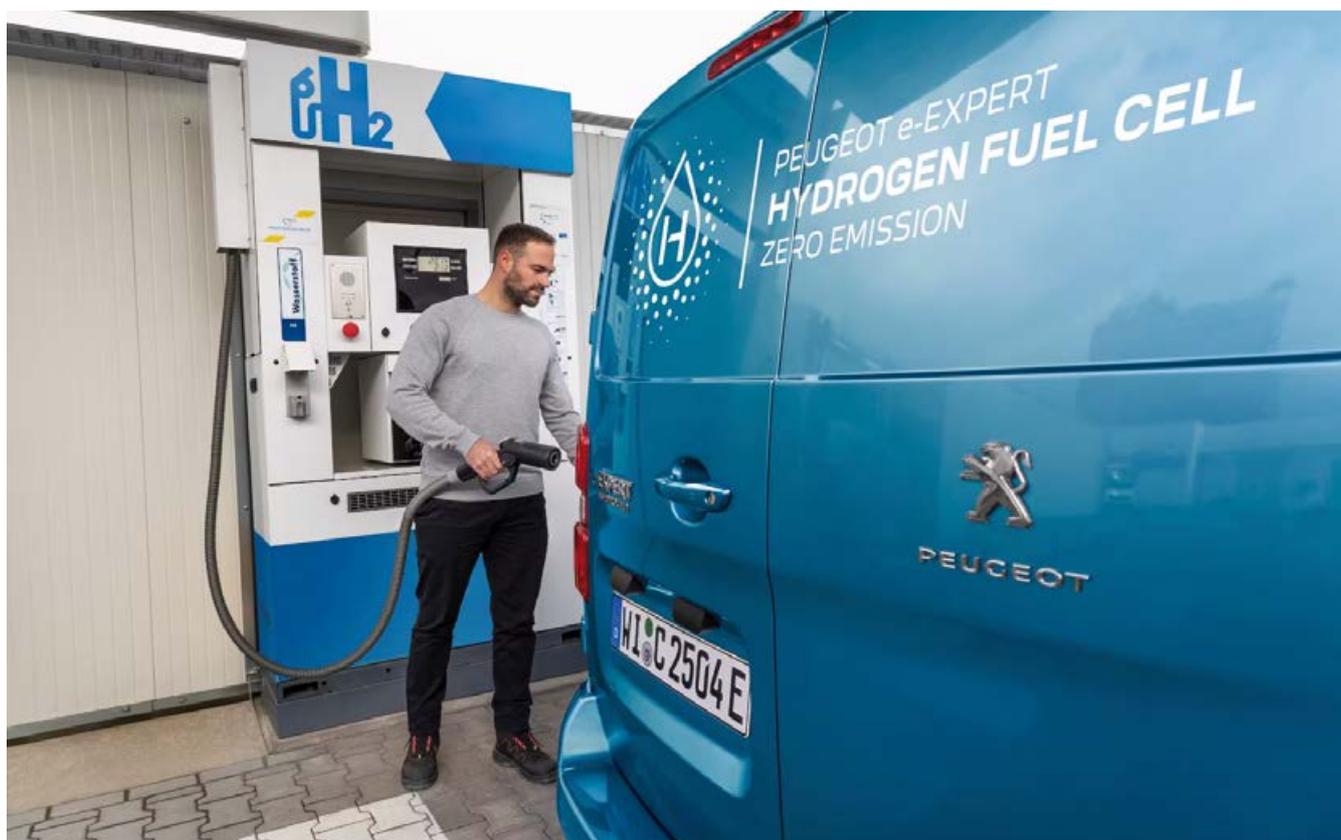
L'hydrogène est utilisé soit dans une pile à combustible (PAC), soit dans un moteur à combustion interne. Une pile à combustible permet de produire de l'électricité à partir

d'hydrogène et d'oxygène, afin d'alimenter un moteur électrique. Une batterie est nécessaire pour la récupération d'énergie et les phases transitoires. Le fonctionnement du véhicule est silencieux, et le point de rendement maxi du réservoir à la roue est d'environ 55 %, obtenu sous charge faible et moyenne. Son coût doit être encore fortement abaissé, et sa longévité accrue.

Le moteur à combustion d'hydrogène bénéficie d'un moindre coût, d'une durabilité doublée, d'une longue expérience des constructeurs et des services après-vente, d'une grande tolérance à l'hydrogène à pureté moindre (90%), ainsi que d'un rendement du réservoir à la roue d'environ 40 %, mais ici sous forte charge. Le maintien d'une activité « moteur thermique » permet également aux constructeurs et équipementiers traditionnels de préserver leurs actifs (usines, matériel, compétences du personnel, brevets, etc.). Les émissions de NOx sont à traiter en fonction du dosage du mélange.



Renault Master H2-TECH génération 2.



Peugeot e-Expert Hydrogen.

Concernant les émissions de gaz à effet de serre (GES), une étude de l'analyse du cycle de vie réalisée par IFPEN sur un poids lourd de 44 t montre que les écarts entre les deux moyens de propulsion sont faibles. Par ailleurs, ces émissions peuvent être réduites en améliorant les technologies naissantes que sont les piles à combustible et les réservoirs très haute pression, ainsi que le rendement du moteur thermique à hydrogène. Comparées à celles d'un poids lourd diesel, les émissions de GES d'un à propulsion à base d'hydrogène sont plus de 4 fois inférieures.

Une étude détaillée menée par Stellantis, Hyvia, Plastic Omnium, Forvia et le cabinet BDO révèle que la moitié des véhicules utilitaires légers (VUL) diesel sont utilisés de façon intensive : gros rouleurs, toujours disponibles pour une intervention urgente, vitesse similaire à celle des véhicules particuliers, charge maxi. Cet usage intensif représente la moitié du parc, mais les $\frac{3}{4}$ des émissions de CO_2 à l'échappement, ce qui pourrait être évité par des VUL à batterie, malheureusement d'une capacité d'au moins 150 kWh impactant le bilan environnemental, ou alors par des VUL à l'hydrogène. En Europe, deux constructeurs proposent depuis 2022 des VUL à pile à combustible d'une capacité de charge utile d'une tonne ou plus et/ou d'un PTAC maxi de 3,5 t. Plusieurs projets à partir de ces véhicules visent également une propulsion à moteur à combustion d'hydrogène.

Des VUL PAC mid-power sur le marché

Des VUL à propulsion électrique à batterie sont déjà présents sur le marché, mais leur autonomie est faible et ne peut pas être compensée par une durée de charge accep-

table au cours d'une journée de travail. Un véhicule utilitaire léger à pile à combustible (VUL PAC) permet de disposer d'une autonomie pouvant atteindre 500 km et un plein en hydrogène nécessite 3 min seulement, la prépondérance d'un avantage sur l'autre dépendant de l'usage du véhicule.

Stellantis commercialise des Peugeot e-Expert et e-Boxer Hydrogen, ainsi que leurs équivalents chez Citroën, Opel et Fiat. Les concepteurs ont conservé de la version électrique à batterie et son onduleur, ont ajouté dans le sous-bassement des réservoirs stockant 4,8 kg d'hydrogène et ont opté pour une batterie de moindre capacité : 11,6 kWh (10 kWh utiles) au lieu des 50 ou 75 kWh. Délivrant une puissance maxi de 45 kW, la pile est fournie par Symbio.

Coentreprise détenue à parité par le groupe Renault et Plug Power, Hyvia commercialise le Renault Master H2-Tech issu de la version à batterie. Alors que la version initiale logeait dans le toit 4 réservoirs et le module de pile de 30 kW, le nouveau Master H2-Tech (en cours de lancement) présente une meilleure intégration des composants spécifiques à l'hydrogène : la PAC est déplacée vers le compartiment avant et les réservoirs 700 bars dans le sous-bassement, leur nombre passant de 4 à 3, et la capacité totale de stockage de 6 kg à 5 kg. La batterie de 33 kWh est placée sous les sièges.

Le moteur électrique des VUL PAC doit-il être alimenté principalement par la pile à combustible ou la batterie ? Les deux constructeurs ont porté leur choix sur la solution « mid-power », proposant un rapport équilibré entre puissance de la pile et capacité de la batterie. La puissance de la pile à combustible correspond à un usage moyen du véhicule, la

● ● ● batterie assure les variations de puissance ainsi que la fourniture de puissance maxi, et la pile est rarement sollicitée à pleine charge, où son rendement est moindre.

En comparaison, une Toyota Mirai est de type «full-power» – pile puissante de 128 kW et batterie de 1,2 kWh seulement –, alors que le Renault Kangoo ZE Hydrogen compte sur un prolongateur de véhicule à batterie, cette dernière étant de 33 kWh et la PAC délivrant 5 kW.

En Chine, le minibus Maxus Euniq 7 est proposé avec une PAC de 130 kW, une batterie de 13 kWh et 3 réservoirs stockant 6,4 kg d'hydrogène sous 700 bars. Toyota développe une version hydrogène «full-power» de son Hilux : PAC de 128 kW et 3 réservoirs stockant un total de 7,8 kg d'hydrogène sous 700 bars.

VUL à combustion d'hydrogène en préparation

Un intérêt majeur du moteur à combustion d'hydrogène concerne la possibilité de décarboner le parc actuel (rétrofit). Ainsi, BorgWarner a adapté un Peugeot Boxer à motorisation diesel afin de démontrer qu'il est possible de le convertir, à un coût raisonnable, à la combustion d'hydrogène. Dans sa troisième version, son 4-cylindres diesel a ainsi été modifié : injecteurs en position centrale à la place de ceux à gazole, réduction du rapport volumétrique de 16:1 à 11,5:1, diminution de la cylindrée de 2,2 à 2,0 l et bougies d'allumage en position latérale. Cette dernière modification a nécessité l'usinage de la culasse et l'insertion de fourreaux afin que les chambres d'eau du circuit de refroidissement restent étanches.

L'autonomie atteint 500 km grâce à un réservoir stockant 13,5 kg d'hydrogène sous 700 bars, et la durée d'emplissage est de 6 min. Le niveau de performance est maintenu : 103 kW et 340 Nm. Les catalyseurs, filtres à particules et SCR d'origine ont été conservés en raison de quelques rares émissions, par exemple lors des phases transitoires.

Parti de la même base diesel mais en maintenant la cylindrée de 2,2 l, Aramco a également réalisé une adaptation à l'hydrogène, avec injecteurs en position centrale, et a obtenu 100 kW et 340 Nm.

Le projet HyMot consiste à développer une offre de VUL plus puissante, à partir du 4-cylindres 2,3 l diesel (M923) actuellement en production pour le Renault Master. La partie haute du moteur est totalement revue, notamment avec une culasse dédiée : chambre de combustion en pente, turbulence tumble, 4 soupapes par cylindre, distribution à calage variable, ainsi qu'injecteurs et bougies en position centrale. Le besoin en mélange pauvre afin d'éviter la formation de NOx a imposé un système combinant turbocompresseur à turbine à géométrie variable et compresseur à entraînement mécanique.

Le projet, encore en développement, vise le maintien des performances d'origine – 110 kW à 3500 tr/min et 360 Nm à 1750 tr/min – ainsi qu'une version plus ambitieuse : 124 kW à 3500 tr/min et 400 Nm à 1750 tr/min ●

Yvonnick Gazeau



4-cylindres diesel adapté à l'hydrogène par Aramco.



4-cylindres diesel adapté à l'hydrogène par BorgWarner.

16 MAY
2024

H₂
HYDROGEN

Journée d'étude

High Performance Hydrogen Internal Combustion Engine



UNIVERSITÉ D'ORLÉANS FRANCE

SIA SOCIÉTÉ DES
INGÉNIEURS DE
L'AUTOMOBILE

Université
d'ORLÉANS

Join-us before it's too late!

The replacement of fossil fuels by hydrogen for the operation of internal combustion engines is today one of the scientific research themes of great interest to manufacturers and equipment suppliers of commercial vehicles. Motorsport, supercar and high power density applications are also interested in hydrogen internal combustion engines.

This year's conference will focus on "high-performance hydrogen internal combustion engines" for racing, supercar and other applications. As in 2024, we are expecting an exhibition of engine and vehicle demos.

The conference was full in 2023, don't hesitate to register as soon as possible!



Registration

Register for our conference and benefit from 10 high-level expert interventions! Starting from €290 excluding taxes.



Join the exhibition!

A few spaces are available to showcase your technologies to the attending experts!



More information here!

Contact: adelaide.evra@sia.fr • www.sia.fr

INGÉNIEURS DE L'AUTO

LE MAGAZINE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES AUTOMOBILES

Production, conception, ADAS, électronique, logiciels, contrôle qualité, matériaux, sécurité, simulation...



**6 NUMÉROS
PAR AN**

**9500
EXEMPLAIRES**

**48 000
LECTEURS**

**MAGAZINE
BILINGUE (FR/EN)**

**ABONNEZ-VOUS
DÈS MAINTENANT !**



Un titre

Syner'j
media

En partenariat avec

SIA SOCIÉTÉ DES
INGÉNIEURS DE
L'AUTOMOBILE

Contactez la régie Ingénieurs de l'Auto :
regie@synerjmedia.com