

**LIVRE
BLANC**

COMPÉTENCES RARES ET D'AVENIR POUR L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

– Septembre 2021 / Deuxième édition –



**SIA** SOCIÉTÉ DES
INGÉNIEURS DE
L'AUTOMOBILE

Remerciements

Aux présidents, vice-présidents et membres des Communautés d'Experts de la SIA pour leurs éclairages.

- Technologies des chaînes de traction
- Process et production
- Nouveaux usages et services
- Véhicule électrique et écosystème énergétique
- Fiabilité, qualité et sécurité
- IA & Big Data
- ADAS et véhicule autonome
- Electronique, architectures électroniques et logicielles
- Matériaux et carrosserie
- Bien-être à bord
- NVH Acoustique
- Véhicule connecté, gestion des données, Cybersécurité
- Simulation, testing & réalité virtuelle

Et en particulier aux membres des Communautés d'Experts ayant directement contribué à la synthèse et à la rédaction : Philippe Aumont, Olivier Chesnais, Philippe Convain, Mathieu Dabek, Laurent Dauchez, Olivier Flebus, Virginie Huguon, Eric Landel, Alexandre Loire, Marc Lumia, Jérôme Mortal, Sophie Personnaz, Caroline Ramus-Serment, Pascal Ribot.

À Hervé Gros à l'initiative du projet et qui en a assuré le lancement.

À Daniel Richard pour l'animation des Communautés d'Experts, le recueil et la synthèse des données.

À Frédéric Martin et Frédéric Charon pour leur contribution à la structuration et à la rédaction.

A tous les membres de la filière pour leur retours et commentaires sur la version pilote de Septembre 2021.

© SIA - Société des Ingénieurs de l'Automobile

Si vous avez des commentaires
ou des demandes particulières
sur le contenu de ce livre blanc,
contactez nous via notre site :
<https://www.sia.fr/contact>



SOMMAIRE

Préambule

/07

CHAPITRE 1

Les nouvelles compétences transversales induites par les tendances sociétales lourdes ("Méga trends")

08

Environnement et économie circulaire

09

Transition énergétique & neutralité carbone

10

Nouveaux usages et nouvelles mobilités

11

Transformation numérique

/13

CHAPITRE 2

Les nouvelles compétences automobiles induites par les mutations technologiques ("Techno trends")

14

Véhicules électrifiés

16

Véhicule digital et connecté

20

Automatisation de la conduite

/23

CHAPITRE 3

Impact sur les compétences cœur de l'automobile - Compétences traditionnelles de l'automobile à renforcer

25

Fondamentaux transversaux

26

Ingénierie systèmes

27

Simulation et Validation

29

Mécanique

29

Électronique

31

Compétences transversales de l'Ingénieur

/33

CHAPITRE 4

Les compétences traditionnelles de l'automobile à maintenir

34

Moteurs thermiques

35

Fondamentaux véhicule

35

Procédés de fabrication et organisation de la production

/37

ANNEXES

PRÉAMBULE

› POURQUOI CE LIVRE BLANC ?

La SIA (Société des Ingénieurs de l'Automobile) s'appuie sur un réseau d'experts actifs auprès des acteurs majeurs de la filière, qu'ils soient constructeurs, équipementiers, fournisseurs ou sociétés de services. Elle est structurée en 13 Communautés riches de plus de 200 experts, couvrant les domaines-clés de son industrie et constituant ainsi un observatoire privilégié de l'évolution de cette industrie et de ses besoins de compétences.

Face aux multiples mutations qui animent la filière automobile, la SIA a pris l'initiative d'interroger les dites Communautés d'experts pour **brosser un panorama des domaines qui nécessiteront ou nécessitent déjà un accroissement des besoins de compétences** identifiées comme compétences rares et d'avenir ⁽¹⁾. Cette analyse, dont nous proposons la synthèse à travers ce Livre Blanc, nous l'avons voulue exhaustive ; elle a notamment pour but de sensibiliser et renseigner les acteurs académiques ainsi que les professionnels du domaine de la formation afin de leur permettre d'orienter leur offre.

› POURQUOI MAINTENANT ?

On peut prédire sans prendre beaucoup de risques que **les changements qui affecteront le monde automobile dans la décennie qui s'ouvre seront d'une magnitude et d'une nature inédites pour le secteur**. Pendant plus de cent ans, l'industrie automobile a fonctionné en mode autarcique, portée d'une part par une force de frappe de développement produit / process massive, et d'autre part par un marketing centré sur l'acheteur en tant qu'unique arbitre de la politique produit.

Les fondamentaux technologiques, réglementaires et de marché sur lesquels s'appuyait ce modèle centenaire ont tous été ébranlés en quelques années. Par exemple, après avoir régné sur les villes, l'automobile n'y est plus tolérée que sous condition. Objet de mobilité individuelle, tout au plus relié au monde par la radio, le véhicule est devenu un relais de télécommunications. Alpha & Omega idéalisé du déplacement individuel, l'automobile se voit ramenée à l'état de composant contraint d'un système de mobilité protéiforme.

Face à ce réel changement de paradigme, l'automobile a déjà entamé sa mue en s'appuyant sur des entreprises, organisations et ressources existantes auxquelles se sont greffés dans l'urgence de nouveaux acteurs qui recherchent une part de profit et entraînent une remise en cause des modèles d'affaires.

De commodité, la gestion dynamique des ressources humaines est devenue un enjeu vital pour les entreprises et un objet de réflexions avec le monde académique : quelles sont les compétences dont auront besoin nos entreprises ? Quelles formations initiales doivent être développées ? Quels collaborateurs former et dans quels domaines ? Comment arbitrer les effectifs des différents métiers ?

Tous ces sujets animent quotidiennement les entreprises membres de la SIA. De par son organisation en communautés d'experts dédiées à un axe technologique, fonctionnel ou méthodologique, la SIA constitue un point de convergence de la compréhension de cette révolution. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de contribuer à éclairer les besoins en compétences induits par tous ces changements lourds. C'est l'objet de ce livre blanc.

› À QUI S'ADRESSE CE LIVRE BLANC ?

Il s'adresse aux **dirigeants des PME, ETI, Grandes Entreprises et Groupes** qui composent l'industrie automobile en France, aux **dirigeants de leurs ingénieries**, mais aussi aux **enseignants des écoles et universités** de notre pays, et plus globalement à tous les **acteurs de la formation**.

En effet, et plus que jamais en cette période de profonde et rapide mutation de l'industrie automobile, nous sommes persuadés de l'importance d'une collaboration beaucoup plus proche entre les mondes académique et industriel.

› QUELLE STRUCTURE POUR CE LIVRE BLANC ?

À l'instar de l'ensemble des acteurs économiques, l'industrie automobile est impactée par les évolutions sociétales et technologiques lourdes telles que les enjeux environnementaux ou les changements

des produits et usages que permet la transformation numérique.

Nous avons donc choisi de traiter ces « **Méga trends** » et « **Techno trends** » comme facteurs d'entrée et d'identifier les changements qu'ils induisent en termes de besoins de nouvelles compétences.

Ensuite, nous avons analysé la façon dont ces changements influencent les **compétences « historiques »** de l'industrie, en identifiant d'une part celles dont le rôle est conforté par cette mutation et qui **doivent être renforcées**, et d'autre part celles qui **doivent à minima être maintenues**.

Afin de permettre une exploitation des enseignements de ce Livre Blanc, les compétences listées dans le texte ont été synthétisées sous la forme des tableaux thématiques qui figurent en annexe du présent document.

› PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

En initiant à dessein la rédaction d'un Livre Blanc en cette période de mutations accélérées, notre ambition était de faire émerger un « Top 5 », voire un « Top 10 » des compétences-clé et d'avenir. A réception des contributions des Communautés d'Experts, il s'est vite avéré que nous ne tiendrions pas cet objectif...

Le besoin de compétences est en effet généralisé en termes de périmètre et de volumétrie.

À titre d'exemple, la transition de l'automobile à la mobilité nécessite que les entreprises s'inscrivent plus dans une logique d'écosystème que de simple marché accessible. L'intégration des nouveaux usages et de leurs conséquences demande de s'adjoindre des domaines de compétences nouveaux tels que les sciences humaines et sociales.

En termes technologiques, le pivot de l'électrification décale largement les cœurs de métiers du moteur thermique et de son électronique de gestion vers un système de propulsion électrique assorti d'une électronique de puissance.

Mais pivotement ne signifie pas rupture brutale : les entreprises vont devoir gérer conjointement la traînée

du modèle historique et l'émergence accélérée de nouveaux modèles sur une période qui va s'étendre sur plusieurs années.

Entre recrutement et formation continue des effectifs existants, internalisation des compétences et développements partenariaux, les entreprises sont d'ores et déjà amenées à prendre des options décisives. Nous espérons que ce document y contribuera de manière positive.

› SUITES À DONNER

Ce travail concernant les compétences a été dès le départ structuré en 2 phases :

- La phase 1, qui amène à la publication de cette première édition du Livre Blanc, centrée sur l'identification des besoins en compétences rares et d'avenir « à dire d'Experts ».
- La phase 2, qui démarre maintenant consiste fondamentalement à **se placer sur le volet de la formation** pour identifier en face de ces besoins de qualifications les formations existantes, et lister celles manquantes et prioritaires à créer (que ce soit en interne SIA ou par des écoles, universités, organismes de formation).

Par ailleurs la phase 1 a mis en évidence **des points à approfondir** pour une future édition du Livre Blanc :

- Compléter ou préciser certains domaines de compétences dans les domaines des procédés de fabrication et d'organisation de la production et concernant les qualifications de maintenance et réparation, en lien avec le CNPA.
- Améliorer la description des compétences (sémantique, structuration et maille), en s'inspirant des spécialistes du domaine.

(1) Définition des compétences rares et d'avenir : Nous avons focalisé l'analyse sur les seules compétences "rares et d'avenir", sans lister l'ensemble des qualifications académiques générales acquises lors de la formation initiale.

- **Compétence rare** : compétence qu'il est difficile de recruter, soit par sa rareté intrinsèque (très peu de personnes la possèdent), ou/et par manque d'attractivité de la filière automobile pour une compétence utilisée massivement par d'autres filières (ex. intelligence artificielle, cybersécurité, etc.)
- **Compétence d'avenir** : compétence inexistante dans l'Industrie automobile et à développer pour faire face aux enjeux à 5-10 ans, ou compétence traditionnelle à renforcer compte tenu des enjeux, ou encore à maintenir car critique pour concevoir et fabriquer un véhicule quelles que soient les technologies.



CHAPITRE 1

LES NOUVELLES COMPÉTENCES
TRANSVERSALES INDUITES
PAR LES TENDANCES
SOCIÉTALES LOURDES
("MÉGA TRENDS")

CHAPITRE 1

LES NOUVELLES COMPÉTENCES TRANSVERSALES INDUITES PAR LES TENDANCES SOCIÉTALES LOURDES ("MÉGA TRENDS")

Par « Méga trend », on entend un changement important dans le progrès ou les aspirations d'une société ou de tout autre domaine ou activités particuliers.

Il s'agit par conséquent de mouvements qui, faisant évoluer en profondeur nos sociétés, influencent les attentes et contraintes qui s'imposent à l'automobile.

Les quatre points que nous considérons exercer une influence majeure sur l'automobile sont :

- Environnement et économie circulaire
- Transition énergétique et neutralité carbone
- Nouveaux usages, nouvelles mobilités
- Transformation numérique

Environnement et économie circulaire

Historiquement mantra écologiste, l'épuisement des ressources naturelles se manifeste par l'envolée des prix des matières premières en voie de raréfaction. Simultanément, l'influence des rejets sur l'environnement devient visible et mesurable. La conversion de notre économie linéaire en économie circulaire est désormais un enjeu économique et sociétal.

Si la réglementation encadre déjà les contraintes de recyclabilité des véhicules, les constructeurs et équipementiers ont pris l'initiative d'améliorer l'empreinte environnementale de leur production en y intégrant une part croissante de matériaux renouvelables (fibres naturelles) et ou de matériaux recyclés (notamment métaux et matières plastiques).

Plus que l'intégration de ces matériaux spécifiques, c'est leur prise en compte dans le bilan environnemental qui nécessite une comptabilité spécifique. La signature environnementale du véhicule doit en effet comprendre la chaîne aval (recyclabilité) mais aussi

la chaîne amont afin de s'assurer de la signature environnementale des pièces et matières intégrées. Cette dimension doit être prise en compte dans le choix des matières et des fournisseurs et amène des contraintes nouvelles en termes de conception.

La politique environnementale et l'engagement vert dans l'économie circulaire requiert un accroissement des compétences dans les domaines suivants :

Méthodes d'analyse des cycles de vie (ACV)

Ces méthodologies permettent d'effectuer une comptabilité exhaustive des impacts environnementaux de l'activité de l'entreprise ainsi que ceux des secteurs amont (composants, sous-produits et matières) et aval (utilisation et fin de vie) des produits et services de l'entreprise.

L'agrégation des signatures environnementales des produits permet à l'entreprise de mesurer son impact environnemental global. Il s'agit donc non seulement d'un outil qui permet de répondre aux impératifs réglementaires mais aussi de piloter la stratégie de l'entreprise en donnant des éléments factuels d'arbi-

trage entre différentes options.

Bien que de plus en plus répandues dans l'industrie, ces méthodologies sont en phase de développement constant et les entreprises se doivent d'intégrer et de déployer largement ces compétences.

Éco-conception

Ces logiques de signature environnementale impliquent de changer le mode de conception des produits. En plus de critères de performance intrinsèques (obtention de la prestation définie par le cahier des charges dans la meilleure adéquation de qualité et de coût), la conception du produit se doit d'intégrer les paramètres permettant la performance environnementale visée. Ces paramètres peuvent amener jusqu'à une reconception totale du produit en termes de matériaux employés, de découpage fonctionnel et possibilité de réparation, de réemploi et de démantèlement en fin de vie.

Le concept d'éco-conception implique une prise en compte de l'obsolescence du produit en autorisant une remise à niveau partielle par le remplacement de composants dans les meilleures conditions économiques.

Économie Circulaire

Le principe de l'économie circulaire est de minimiser l'impact environnemental d'un produit en favorisant dès sa conception sa réparabilité, sa réutilisation éventuelle en fin de vie et la minimisation des déchets ultimes après recyclage de ce qui peut l'être lors de sa déconstruction en fin de vie. L'ambition de l'économie circulaire est d'impliquer l'entreprise (directement ou via des tiers) dans la gestion de l'ensemble du cycle de vie de ses produits.

Cette approche déborde donc largement du périmètre de l'entreprise et nécessite une méthodologie écosystémique et partenariale impliquant les acteurs amont et aval du cycle de production.

Pollution et impacts éthiques

En dehors des éléments comptables précédemment évoqués, les entreprises se doivent de s'assurer que l'ensemble des processus et opérations en amont et aval de son cycle de production soit aligné avec leurs propres règles éthiques.

Lois, réglementations et normes

Le périmètre d'application et de la teneur des lois, réglementations et normes est en évolution constante

et rapide. Leur anticipation et leur gestion a un impact direct sur la stratégie de l'entreprise vis-à-vis de ses marchés. À l'exemple des directives REACH (Registration Evaluation and Autorisation of Chemicals), ces réglementations font l'objet de discussions préalables au niveau européen dans lesquelles les experts des entreprises majeures peuvent être représentés.

En synthèse

La prise en compte de la dimension environnementale implique pour l'entreprise non seulement la mise en place de ressources dédiées mais également une compréhension de ces enjeux à tous les niveaux de son organisation.

En termes de compétences, ceci implique d'une part l'intégration de profils nouveaux en charge de la gestion des processus et outils mais aussi de permettre leur compréhension par l'ensemble de son personnel. Cela passe donc par une initiation à ces thèmes dans les formations initiales ainsi qu'une démarche de formation continue.

Transition énergétique & neutralité carbone

Part intrinsèque de la démarche environnementale, la neutralité carbone a un double impact sur la filière automobile.

Tout d'abord, elle a un **impact direct et structurel en l'engageant sur la voie de l'électromobilité**. En sus des technologies spécifiques adressées dans le chapitre suivant, la fourniture d'énergie est un enjeu majeur pour son déploiement. La disponibilité d'un **réseau de recharge est en effet nécessaire à l'utilisation généralisée de ce mode de propulsion**.

Ensuite et contrairement aux carburants, l'énergie électrique est difficilement stockable en grandes quantités. **La recharge des véhicules devra aussi faire l'objet d'une communication avec le réseau, qui pourra également à terme permettre l'utilisation des véhicules comme source ponctuelle d'énergie**. Cette logique de réseau intelligent (Smart Grid) nécessite donc un dialogue entre fournisseurs d'électricité et constructeurs à un niveau bien supérieur à celui

entretenu avec le secteur pétrolier (Ecosystème énergétique des véhicules électrifiés).

Plus similaire au modèle pétrolier actuel, **la distribution d'hydrogène**, source d'énergie complémentaire au modèle batterie, doit néanmoins répondre aux **mêmes enjeux de déploiement de réseau**.

Les arbitrages technologiques sur la définition des chaînes de traction s'appuient sur les outils d'analyse du cycle de vie décrits dans la section précédente et ce tant pour les motorisations électriques émergentes que pour les motorisations hybrides et thermiques de nouvelle génération.

Ensuite, et à l'instar de l'ensemble de l'industrie, la signature carbone du produit impacte les choix industriels tant dans leur nature que dans leur localisation.

Nouveaux usages et nouvelles mobilités

Les évolutions des modes de vie, d'organisation du travail et de répartition géographique des populations ont une influence majeure sur les méthodes et la fréquence des déplacements. Il en résulte un changement des besoins des utilisateurs vis-à-vis de l'objet automobile et du mode de consommation de sa fonction automobile.

En parallèle, les zones à fortes concentrations de population tendent à édicter de manière croissante des directives visant à restreindre la circulation automobile et à bannir les motorisations thermiques.

Les entreprises du secteur automobile se doivent donc de prendre en considération ces évolutions tant dans la définition de leur offre produit et services que

dans leurs modèles d'affaires. Les paramètres devant être pris en compte sont d'une complexité sans comparaison avec les segmentations de clientèle préalablement en vigueur dans le secteur. Il s'agit en effet d'une part de définir un portefeuille d'offre produit et services s'appuyant sur la connaissance d'une multitude de cas d'usage et d'autre part d'en effectuer un déploiement spécifique en fonction d'un profil de marché hyper local.

Les modèles d'affaires serviciels visant à mettre à disposition des véhicules sur demande nécessitent la mise en place d'une chaîne numérique d'information. **Ces services requièrent des compétences en infrastructures de communication et liaisons véhicule / infrastructure (V2X), en plus bien sûr de compétences en développement et déploiement de services.**

Transformation numérique

La transformation numérique (ou « digitalisation ») **impacte l'ensemble de l'industrie automobile au niveau même du mode de fonctionnement des entreprises, de la conception du produit et de ce produit lui-même.**

Premièrement, et de manière structurelle, les domaines de la gestion des données, de leur exploitation (Data Science, Big Data et Intelligence Artificielle) sont des supports pour l'ensemble des métiers de l'entreprise. Les compétences corollaires de ces verticales de la transformation numérique sont les domaines qui adressent la gouvernance de la donnée : architecture de la collecte, contrôle qualité, gestion des référentiels, analyse de la valeur des données, éthique, propriété et droit d'usage des données (RGPD en Europe).

Le déploiement opérationnel de ces technologies nécessite des compétences spécifiques de type Management de projet IA et la mise en place d'une infrastructure informatique compatible avec le stockage et les flux de données impliqués.

D'autre part, l'activité industrielle de l'entreprise demande des compétences dans les domaines de l'application de l'IA et du Big Data ainsi que dans la simulation des processus industriels (jumeaux numériques). Domaine par excellence de la gestion

dynamique des données, la logistique requiert de manière croissante des solutions Block Chain qui nécessitent des compétences spécifiques.

Pour l'ensemble de ces domaines, les compétences en cybersécurité sont un enjeu majeur et sont amenés à structurer l'ensemble des développements liés aux données.

Nota : Ces compétences n'étant pas ou très peu spécifiques au domaine automobile, elles sont recherchées par l'ensemble des acteurs économiques des autres secteurs. Il s'agit de compétences rares, par conséquent difficiles à stabiliser et qui doivent faire l'objet d'un traitement particulier en termes de ressources humaines.

Ensuite, et de manière spécifique au domaine automobile, la fusion de données dans un domaine complexe est une compétence requise pour les applicatifs véhicules connectés, ADAS / véhicule autonome et bien être à bord.

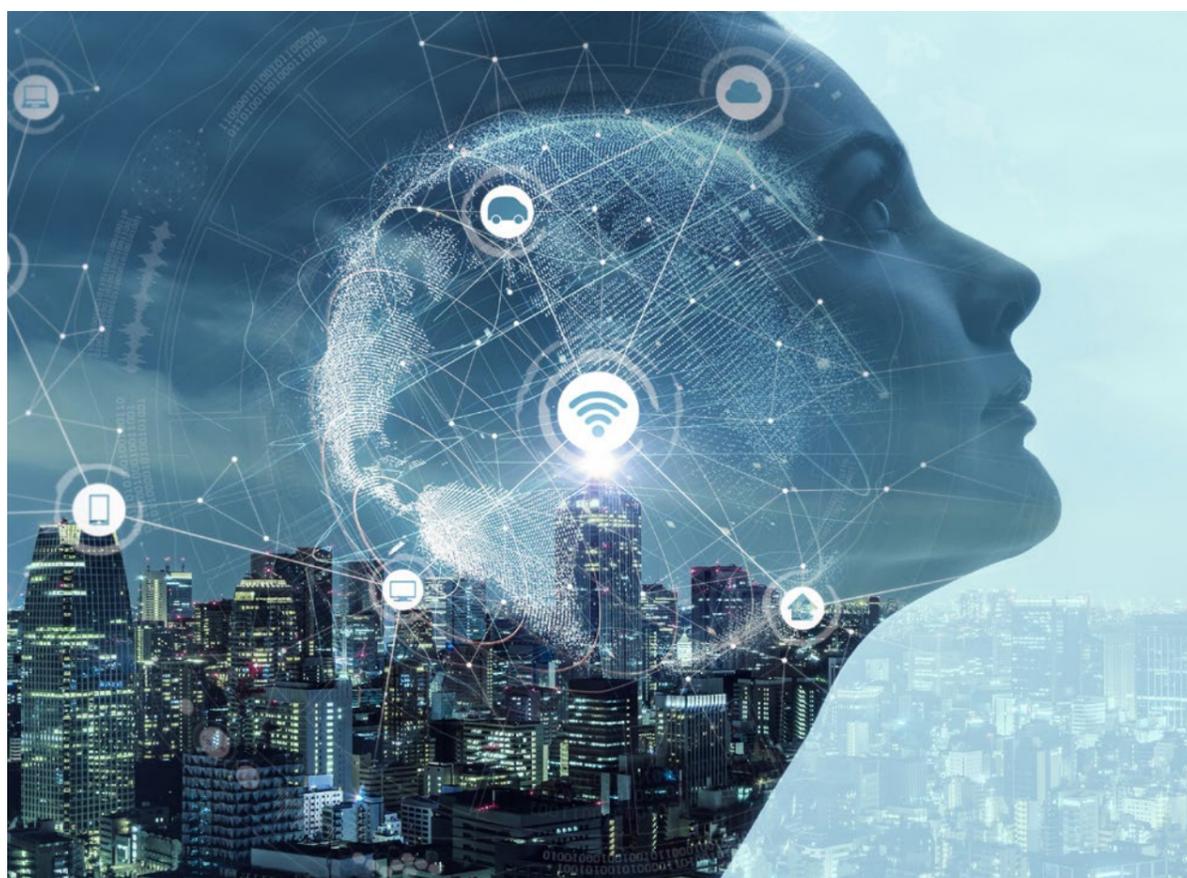
En synthèse

La transformation numérique relève de deux domaines : d'une part l'intégration des technologies numériques dans les usages et la relation client, et d'autre part la transformation numérique de l'entreprise dans les domaines du développement et de la production. Il en résulte plusieurs enjeux critiques pour l'entreprise :

- **Recruter des talents rares et courtisés par l'ensemble des autres acteurs économiques.**

- **Assurer l'intégration de la mutation digitale à l'intérieur de l'entreprise au niveau opérationnel (Production, développement).**

Un facteur clef de succès pour cette mutation est de diffuser une compréhension des enjeux cruciaux de la transformation numérique par une sensibilisation élargie aux domaines de la gouvernance des données et de la cybersécurité.





CHAPITRE 2

LES NOUVELLES COMPÉTENCES
AUTOMOBILES INDUITES
PAR LES MUTATIONS
TECHNOLOGIQUES
("TECHNO TRENDS")

CHAPITRE 2

LES NOUVELLES COMPÉTENCES AUTOMOBILES INDUITES PAR LES MUTATIONS TECHNOLOGIQUES ("TECHNO TRENDS")

Les tendances sociétales lourdes évoquées au chapitre 1 ont amené l'industrie automobile à développer de nouvelles technologies en réponse à ces nouvelles attentes ou à introduire dans le produit automobile des innovations technologiques développées ailleurs.

Les technologies abordées dans ce chapitre et leurs conséquences sur les besoins en compétences impactent essentiellement la conception et l'usage du véhicule automobile, mais elles peuvent également entraîner une répercussion sur le système de production (électrification notamment).

Nous avons retenu trois ruptures technologiques majeures qui vont impacter lourdement l'industrie automobile dans la prochaine décennie :

- Véhicules électrifiés
- Véhicule digital et connecté
- Automatisation de la conduite

Véhicules électrifiés

L'électrification des véhicules, qu'elle soit totale ou partielle pour les "hybrides", est en réponse à la transition énergétique et elle tend vers la neutralité carbone du transport.

Elle pose également des questions dans le domaine de l'environnement et de l'économie circulaire qu'il convient de prendre en compte.

Cette électrification entraîne des **besoins accrus de compétences en :**

Conception et pilotage des machines électriques

Qu'elle soit réalisée par les constructeurs ou par des équipementiers, la conception des moteurs électriques doit répondre aux exigences particulières de l'industrie automobile : performances et compacité, haut rendement, fabrication à grande cadence, forte

contrainte sur les coûts.

Les compétences nécessaires pour y parvenir recouvrent la connaissance :

- Des différents concepts de machines tournantes (bobinage ou aimants permanents, architecture électromagnétique, etc.), leurs performances, leur pilotage.
- Des différentes technologies d'aimants et matériaux magnétiques (avec ou sans terres rares, ferrites, etc.) et leurs performances respectives.
- Des contraintes et possibilités des process de fabrication pour une conception produit-process robuste et économique.

Thermodynamique et électrochimie des batteries

Les batteries des véhicules électrifiés doivent répondre à de fortes contraintes de compacité, d'éner-

gie embarquée, de puissance disponible, de rapidité de recharge et de coût.

En fonction du typage et de l'usage du véhicule, les compromis entre ces différentes caractéristiques, pour la plupart antagonistes, sont à adapter. Cela implique de connaître les différentes électrochimies de batterie actuelles et en développement avec leurs impacts sur les performances évoquées plus haut.

Cela nécessite également une bonne connaissance des matériaux et composants critiques des batteries (métaux et polymères).

Systèmes de recharge des batteries et leur pilotage

Afin de garantir la sécurité des biens et des personnes et la durabilité des batteries, leur recharge doit être finement pilotée pour assurer la charge la plus rapide possible en fonction de la puissance disponible et de celle acceptable par la batterie.

Le développement de réseaux électriques intelligents qui permettent d'optimiser la recharge en fonction de la puissance disponible sur le réseau et des besoins des véhicules branchés ("smart grid") demande la conception de systèmes de charge capables d'échanger des informations entre le véhicule et son réseau de charge via des protocoles informatiques.

Outre la connaissance des caractéristiques et comportement des batteries, cela nécessite des compétences en électronique de puissance (nécessaires aussi pour le pilotage des moteurs, voir ci-dessous) et la connaissance des normes s'appliquant pour le branchement d'un véhicule électrifié sur le réseau.

Électronique de puissance

Le pilotage de la batterie en recharge - décharge et celui du moteur électrique pour répondre aux demandes du conducteur imposent la mise en œuvre d'une électronique de puissance, ce qui suppose des connaissances particulières dans les domaines suivants :

- Composants spécifiques, leurs performances et contraintes, notamment refroidissement.
- Lois de commande et logiciels de pilotage des machines électriques
- Mécatronique : pour la conception de systèmes compacts et sûrs ayant une électronique intégrée au plus près des dispositifs contrôlés.

Gestion énergie véhicule

Le compromis entre la masse des batteries embarquées et l'autonomie du véhicule en roulage électrique va rester un très fort enjeu malgré les importants progrès réalisés et à venir.

Dans ce contexte, des compétences de gestion de l'énergie du véhicule utilisant des systèmes de récupération d'énergie et alimentant ses différents besoins (propulsion, éclairage, chauffage, équipements) sont indispensables pour avoir des produits compétitifs.

Ce besoin en compétences est encore accru pour les véhicules hybrides car leur système est plus complexe à piloter du fait de leurs deux sources d'énergie (électricité et carburant) et deux types de motorisation (électrique et thermique) à synchroniser de manière optimale avec de multiples contraintes (consommation énergétique et autonomie, pollution, agrément, bruit, etc.)

Intégration véhicule

L'électrification amène des contraintes d'intégration spécifiques dans le véhicule, et donc des besoins de compétences nouvelles :

- Sécurité électrique : la présence dans le véhicule de hautes tensions (pouvant atteindre plusieurs centaines de volts) impose des connaissances dans ce domaine au niveau du câblage et de son isolation ainsi que de la mise en sécurité des personnes en cas d'intervention (maintenance ou accident), plus une connaissance des normes associées.
- Connaissance du comportement thermique de la batterie dans les phases d'utilisation véhicule (appels de puissance) et dans les phases de recharge. Cela dépend de l'électrochimie de la batterie, de sa conception et des puissances mises en œuvre. Un système de refroidissement batterie spécifique et piloté est donc à concevoir.
- Résistance mécanique et sécurité électrique de la batterie en cas de crash véhicule. L'énergie nécessaire embarquée conduit à des tailles et masses de batteries qui en font un élément important à prendre en compte concernant le comportement du véhicule lors d'un choc. La batterie elle-même doit rester sûre et ne pas induire de phénomènes dangereux. Cela est fondamental dans le cas des véhicules 100% électriques, la taille du "pack batterie" pouvant en faire un élément structurel intervenant dans la résistance aux déformations.

- **Chauffage habitacle** : l'absence de calories disponibles venant du moteur thermique (véhicule 100% électrique ou hybride en phase de roulage électrique) impose de développer des systèmes de chauffage efficaces en énergie pour ne pas obérer l'autonomie du véhicule. La connaissance des pompes à chaleur est notamment nécessaire.

Impacts environnementaux sur le cycle de vie des composants

Il est important de savoir évaluer les émissions de CO₂ issues des matériaux critiques nécessaires à l'électrification des véhicules et constituant moteurs et batterie :

- Aimants et matériaux magnétiques pour la construction des machines électriques.
- Matériaux (métaux rares, oxydes, polymères...) et énergie nécessaire à la fabrication des batteries.

Il est également nécessaire d'avoir la connaissance des autres impacts environnementaux de l'utilisation de ces composants et des possibilités du recyclage dans une approche cycle de vie/économie circulaire.

Véhicules à Hydrogène

Nous avons abordé jusque-là essentiellement les véhicules à batteries, solution qui peut être massivement déployée à l'horizon 10 ans.

N'oublions pas le développement de l'hydrogène et des piles à combustibles (PAC), autre source possible d'électricité pour les véhicules. C'est une technologie prometteuse pour l'avenir et qui permet une recharge rapide en énergie conjointement à des batteries plus petites. Les 1^{ères} applications apparaissent sur le marché, par exemple pour des véhicules utilitaires compte tenu de leur usage.

Les compétences nécessaires sont celles indiquées plus haut, communes à tous les véhicules électrifiés, auxquelles s'y ajoutent des spécifiques :

- **Technologie PAC**, thermodynamique et électrochimie, conception.
- Connaissance des matériaux et composants critiques de la PAC (métaux et polymères).
- **Technologie des réservoirs d'hydrogène** composites.
- **Intégration véhicule**, architecture et pilotage global du système PAC/batterie/moteur avec ses servitudes (refroidissement, admission air, évacuation de l'eau, etc.).

- Connaissance du **bilan carbone** de la production d'hydrogène en fonction des sources et technologies de production.

Véhicule digital et connecté

La transformation numérique des véhicules et leur connectivité avec le monde extérieur est une **conséquence directe de la transformation numérique globale observée**. Elle permet également **d'accompagner les nouveaux usages et nouvelles mobilités**, à la fois en réponse à de nouvelles demandes, mais aussi en permettant de nouvelles offres : performances et prestations dans le véhicule, accès à des informations ou services en ligne.

Par ailleurs, bien que ce soit un sujet controversé et encore peu documenté, **son impact net (positif/négatif) sur l'environnement et les émissions de CO₂ est à considérer**.

Le véhicule digital et connecté est donc intimement lié aux tendances sociétales lourdes évoquées au chapitre 1.

L'électronique et l'informatique embarquée sont des domaines traditionnels de l'automobile, mais elles font maintenant l'objet d'évolutions très rapides :

- Logiciels de plus en plus complexes, briques essentielles du fonctionnement des systèmes du véhicule, eux-mêmes de plus en plus complexes (motorisation, suspension, freinage, direction, communication, interactions avec l'environnement et son écosystème informatique pour les véhicules connecté, etc.)
- Besoin de rapidité d'exécution quand il y a lieu de traiter l'information en temps réel (une exigence des assistances à la conduite, exacerbée pour l'automatisation des véhicules et la connectivité).
- Masse des données à traiter, mémoriser ou transférer.

Transformation numérique et connectivité des véhicules

Transformation numérique et connectivité des véhicules entraînent ainsi des **besoins accrus de compétences en :**

Connaissance des différentes technologies de connectivité "V2X" (échanges de données entre véhicules ou avec infrastructures).

Différentes technologies et protocoles de communication existent ou sont en cours de développement, très schématiquement de type "Wifi" ou radiofréquences. Elles ont des caractéristiques de fonctionnement et des performances très différentes : mode de diffusion (ouverte à tous ou vers un destinataire identifié), fiabilité et temps de latence, bandes de fréquence et portée, etc.

Le choix de ces technologies en fonction des usages et le développement des composants correspondants pour le véhicule sont à effectuer en connaissance des performances et contraintes desdites technologies.

Ingénierie systèmes

Le véhicule digitalisé comporte de nombreux systèmes à faire fonctionner ensemble.

Pour le véhicule connecté, on parle même de "système de systèmes" pour exprimer la complexité du

fonctionnement des systèmes du véhicule avec son écosystème et les différents autres systèmes informatisés avec lesquels il interagit (informations montantes et descendantes, traitement de données hors véhicule, etc.)

Architecture électronique et logicielle

La multiplication de systèmes complexes pilotés par des logiciels pouvant être l'objet d'évolutions et à interfacier au sein du véhicule amène à devoir développer les compétences en architecture logiciels (software) et électronique (hardware) dont la topologie des boîtiers (optimisation architecture centralisée / distribuée).

La complexité croissante des logiciels impose de développer l'algorithmie et la modélisation qui sont les outils incontournables pour la validation pas à pas des modules Software dans l'architecture du logiciel global (intégration continue).



Cybersécurité

Par construction le véhicule digital et connecté présente de par son lien avec l'extérieur plusieurs voies d'intrusion possibles ayant des conséquences qui peuvent être préjudiciables, voire présenter des risques pour la sécurité des biens et personnes. Cette compétence transversale, appliquée au véhicule connecté demande des connaissances pointues :

- Conception "cyber by design" des électroniques et logiciels utilisés par le véhicule : limiter les risques d'intrusion et leurs conséquences.
- Connaissance des normes et réglementations internationales qui se développent pour garantir un niveau minimal de sécurité des véhicules.

"Edge computing"

La complexité de traitement et la sauvegarde de données de plus en plus nombreuses, conduisent à répartir les opérations sur ces données entre les logiciels embarqués et des ressources informa-

tiques hors véhicule (le "cloud") pour le traitement de données de masse ("big data") ou des opérations ne nécessitant pas de traitement en "temps réel".

Les compétences en optimisation des topologies de traitement de ces données concernent les méthodologies de "Edge Computing". Elles permettent de développer des solutions plus efficaces (rapidité, fiabilité, consommation d'énergie véhicule et hors véhicule).

Plus globalement, cette compétence est nécessaire pour optimiser les allocations de fonctions entre "embarqué" et "débarqué".

Cognitive, IHM (interface Homme-Machine), haptique, écrans et capteurs

Le véhicule digital et connecté doit de plus en plus "dialoguer" avec son conducteur et ses passagers,

que ce soit pour des aides à la conduite, des services ou la distraction à bord ("infotainment").

Cela suppose des interfaces les plus simples et lisibles possible, ne générant pas de distractions dangereuses pour le conducteur et concourant au bien-être à bord.

C'est un domaine très compétitif et de forte différenciation, notamment avec le développement des nouveaux usages, domaine qui doit relier la connaissance de la physiologie et du cognitif humains aux compétences techniques à mettre en œuvre.

Ces compétences nécessaires et académiques, bien développées dans nombre de secteurs industriels (avionique et défense, machines et stations de travail dans les usines, etc.) sont :

- **Sciences cognitives et comportement humain**
 - Les informations transmises au conducteur ou aux passagers du véhicule doivent être en nombre et en forme compréhensibles, de manière à ne pas générer une "surcharge cognitive" qui peut être inconfortable voire dangereuse. Cela fait appel à des compétences en science cognitive et comportement humain.
- **IHM (Interface Homme-Machine)** notamment en ce qui concerne :
 - L'optique des écrans, et l'holographie,
 - Le toucher et l'aspect de nouveaux matériaux (bois, liège, nouveaux matériaux souples).
 - Technologie de capteurs spécifiques (sons, images, odeurs).
 - L'haptique^(*). Les compétences en haptique sont rares et souvent développées en interne autour de profils curieux en physiologie humaine et solides en ingénierie.
 - La plastronique^(**). La multiplication des fonctions électroniques et des besoins d'interfacer avec leurs utilisateurs, conducteur et passagers, amènent à considérer l'intégration de modules électroniques et d'afficheurs dans des matériaux souples (plastiques et élastomères, cuir, etc.).

(*) « L'haptique, du grec ἅπτομαι qui signifie « je touche », désigne la discipline qui explore et exploite le sens du toucher et les phénomènes kinesthésiques, c'est-à-dire la perception du corps dans l'environnement, par analogie avec l'acoustique ou l'optique ». Wikipédia.
 (***) « Plastronique : procédé combinant la plasturgie et l'électronique. Cette technologie permet d'intégrer des circuits électroniques directement sur des pièces thermoplastiques moulées par injection ». Source : Wikipédia.

Impact sur l'environnement et les émissions de CO₂
 Cette connaissance doit être une compétence de base des électroniciens, compte-tenu de la criticité des matériaux utilisés (pollution, éthique notamment de l'extraction, rareté et aspects géopolitiques). Cela nécessite des compétences pointues de spécialistes, mais aussi une initiation de tout électronicien à :

- **L'analyse de cycle de vie** et l'économie circulaire (gestion de l'obsolescence des systèmes et des composants électroniques dans leurs usages).
- Les possibilités du **recyclage** pour les différents matériaux critiques et l'impact de ces possibilités sur la conception ("écoconception").
- **L'optimisation de la consommation énergétique** des systèmes électroniques et informatiques, dans le véhicule et hors véhicule : consommations des transferts de données, de leurs traitements et de leurs stockages dans les centres de données (le "cloud").

Compétences transversales pour véhicule digital et connecté

Au-delà de ces connaissances, le véhicule digital et connecté fait appel aux compétences transversales présentées au chapitre 1 et qui sont pour ces applications très importantes :

Propriété, droit d'usage et gouvernance des données
 Les lois et réglementations existant au niveau national et international (ex. RGPD en Europe) sont à appliquer pour les multiples données générées au niveau du véhicule. Ces données peuvent être liées au fonctionnement véhicule, de nature sécuritaire ou non, privées du propriétaire, du conducteur, des passagers, d'acteurs économiques, etc.

L'accès, le traitement, la sauvegarde, la transmission desdites données sont soumises à des règles qui dépendent de la nature de la donnée et de son usage, règles à maîtriser pour la conception du véhicule digital et connecté ainsi que celle des services associés.

Fusion de données

Cette compétence transversale est nécessaire ici pour rendre une donnée ou une information au conducteur et aux passagers plus fiable et/ou plus intelligible et simple en croisant les informations de plusieurs capteurs ou plusieurs canaux de données (embarqués et/ou débarqués).



IA et big data, algorithmie et analyse

Cette autre compétence transversale est utile ici pour exploiter la très grande quantité de données disponibles dans le but d'apporter une valeur pour les occupants et/ou l'entreprise qui les ont à leur disposition (selon les règles de propriété des données).

L'apprentissage automatique (machine learning) permet – grâce à des algorithmes spécifiques – d'entraîner des modèles à partir d'échantillons de ces données. Ces modèles peuvent nettement améliorer les performances de certaines fonctions utiles dans l'automobile (par exemple la perception de l'environnement pour les ADAS). Au-delà de l'ingénierie du logiciel cela nécessite en quelque sorte « d'intégrer » deux nouvelles ingénieries (pour les données et pour les modèles) dans le développement des systèmes et services qui exploitent l'IA. Cela a naturellement un impact sur les cycles d'ingénierie, la gestion de projet et même l'ingénierie système en tant que discipline dans l'automobile.

Sûreté de Fonctionnement (SDF) y compris la Sûreté des Fonctionnalités Visées ("SOTIF" Safety Of The Intended Functionality)

Cette compétence transversale (voir Ch. 3.1) prend une importance croissante au fur et à mesure de la complexification des systèmes et leurs interactions ("systèmes de systèmes"). Elle est de ce fait importante ici.

Automatisation de la conduite

L'automatisation de la conduite se développe **grâce aux innovations technologiques (transformation numérique, connectivité, nouveaux capteurs)**. Elle peut apporter des **réponses à de nouvelles attentes des clients ou proposer des offres inédites pour les nouveaux usages et nouvelles mobilités** :

- En fonction du degré d'automatisation du véhicule, elle permet de libérer le conducteur de certaines tâches, réduisant ainsi son stress et lui redonnant du temps dans certaines circonstances de conduite.
- Elle permet de développer de nouveaux services de transport de personnes ou de biens (ex. navette autonome, robot-taxi, livraison dernier km, etc.).

Elle doit permettre également de **répondre à une**

attente sociétale forte en matière de sécurité : la plupart des accidents étant liée à des erreurs humaines, l'objectif est de les limiter grâce à la machine (même s'il apparaît à l'expérience des effets collatéraux négatifs).

Elle pose néanmoins également **des questions en matière de consommation énergétique** (véhicule et hors véhicule par l'infrastructure informatique qu'elle utilise).

Compétences particulières à développer

Le développement de fonctions d'automatisation de la conduite requiert des compétences particulières à développer, certaines déjà mentionnées plus haut comme conséquence de la transformation numérique, et d'autres plus spécifiques :

Les différents ADAS et capteurs associés

Les fonctions d'autonomie d'un véhicule font appel à différentes "briques" de systèmes d'aide à la conduite (ADAS) plus ou moins sophistiqués qui peuvent à eux seuls amener un certain niveau d'autonomie du véhicule ou qui, combinés entre eux, amènent une autonomie. La connaissance de ces nombreux systèmes, de leur conception, de leurs performances et contraintes d'usage, des capteurs associés et leurs limites est nécessaire pour concevoir un véhicule à fonctions de conduite automatisées.

Domaines d'usages des fonctions automatisées, "Operational Design Domain" (ODD)

La connaissance du concept d'ODD et ses utilisations pour la conception et la validation des systèmes d'un véhicule à conduite automatisée est fondamentale : c'est la conjonction du niveau d'autonomie et du domaine d'usage qui fait la complexité de conception et de validation d'un tel véhicule.

Le domaine d'usage décrit des plages de fonctionnement du véhicule (ex. plage de vitesses) et d'environnement (type de voie, chemin, route, autoroute, météorologie). La validation et la certification du véhicule doivent être établies pour un domaine d'usage explicite et non ambigu.

Connaissance des différents niveaux d'automatisation

La complexité du sujet a amené à définir des niveaux standards d'automatisation qui permettent de se comprendre entre scientifiques, différents acteurs

industriels et pouvoirs publics pour élaborer les lois, normes et réglementations.

Ces niveaux décrivent en général pour chaque niveau les fonctions véhicules automatisées et le degré d'implication du conducteur dans la conduite.

Leur connaissance est indispensable pour les concepteurs de systèmes ou de véhicules, compte tenu des forts enjeux associés à chaque niveau, enjeux tant techniques et technologiques que responsabilités et réglementations associées.

Compétences liées à la transformation numérique et au véhicule connecté

Par ailleurs certaines des compétences liées à la transformation numérique (voir Ch.1) et au véhicule digital et connecté (§2.2 plus haut) ont une importance particulière pour un véhicule équipé de fonctions de conduite automatisées :

Compétences associées à la Transformation numérique (Cf chapitre 1)

- Intelligence artificielle, validation et certification des systèmes IA

Il est fait appel à l'intelligence artificielle pour agir sur les différentes fonctions du véhicule (direction, accélération, freinage, clignotants etc.) en fonction de sa situation et de la demande du conducteur (sauf autonomie totale sans chauffeur). Ces systèmes "apprennent" les différentes situations de conduite pour prendre les meilleures décisions.

Etant basés sur une algorithmie complexe d'apprentissage, leur validation et la construction du dossier de démonstration de leur sécurité permettant in fine l'homologation du véhicule demandent des connaissances sur l'IA et ses contraintes de validation spécifiques.

La confiance dans les modèles d'IA et dans les données est donc essentielle. Le secteur automobile – en tant que domaine d'application critique – se doit donc d'être en pointe pour contribuer à la recherche sur le sujet, maîtriser les compétences associées et adapter les standards d'ingénierie système.

- Fusion des données

L'appréciation d'une situation de conduite par le système est faite en utilisant plusieurs capteurs et informations venant de l'extérieur qui sont redondés

pour assurer la meilleure sécurité possible. Ce croisement d'informations digitalisées se fait à travers des méthodes mathématiques et informatiques particulières de "fusion des données", méthodes qui sont utilisées pour de nombreux champs d'application mais sont fondamentales pour le véhicule autonome, par ex. pour les fonctions de perception et de localisation, qui sont liées à la sécurité.

Compétences associées au véhicule digital et connecté (Cf chapitre 2, § « Véhicule digital et connecté »)

Tout d'abord le véhicule autonome, digital et "système de systèmes" complexe, demande des compétences sans faille en matière de :

- Sûreté de Fonctionnement (SDF) y compris la sûreté des fonctionnalités visées (SOTIF - Safety Of The Intended Functionality).

Ce point fondamental et transversal dans l'automobile est développé au chapitre 3.1.

Le véhicule à fonctions de conduite automatisées nécessite également de nombreuses interactions avec le conducteur pour enregistrer ses actions et demandes, l'alerter ou lui demander de reprendre la main dans certaines situations.

Les "interfaces homme machine" (IHM) doivent être simples à utiliser, compréhensibles, non ambiguës et fiables.

- Compétences décrites au § "Véhicule digital et connecté" : cognitive, IHM, haptique, écrans et capteurs.

La puissance de calcul et de stockage d'informations nécessaires, dans le véhicule et hors véhicule ("cloud") entraîne des consommations électriques significatives qui peuvent poser des problèmes de refroidissement des calculateurs embarqués, générer une surconsommation du véhicule entraînant une dépense énergétique globale significative. Comme pour le véhicule digital et connecté, des compétences sont donc requises en

- Optimisation de la consommation énergétique des systèmes électroniques et informatiques, dans le véhicule et hors véhicule : consommations des transferts de données, de leurs traitements et de leurs stockages dans les centres de données (le "cloud").



CHAPITRE 3

IMPACT SUR LES COMPÉTENCES
CŒUR DE L'AUTOMOBILE -
COMPÉTENCES
TRADITIONNELLES DE
L'AUTOMOBILE À RENFORCER

CHAPITRE 3

IMPACT SUR LES COMPÉTENCES CŒUR DE L'AUTOMOBILE - COMPÉTENCES TRADITIONNELLES DE L'AUTOMOBILE À RENFORCER

Profondément impacté par ces tendances sociétales et technologiques lourdes, l'objet automobile reste néanmoins soumis à des contraintes invariantes qui en font toute sa spécificité.

Avant toute chose, le véhicule doit assurer la sécurité des personnes qu'il transporte. Cette particularité, qu'il peut apparaître trivial de rappeler, est structurante et ce de la conception à la production, puis à la maintenance.

Ensuite, il s'agit d'un objet complexe mis dans les mains d'utilisateurs généralement non professionnels de la conduite et disposant d'une formation minimale. Il doit assurer une fiabilité sans faille et de longue durée dans des conditions extrêmement diverses et non contrôlées.

C'est un objet intégrant une multiplicité de technologies provenant d'un grand nombre de fournisseurs et qui doivent être développées et assemblées de manière cohérente, constante dans le temps et en grande série.

Enfin, le véhicule doit satisfaire à un très grand nombre croissant de réglementations dans des domaines particulièrement variés (sécurité active et passive, environnement, bruit, etc.). Si individuellement aucune de ces particularités ne présente de caractère exceptionnel, l'automobile est le seul objet manufacturé à y répondre simultanément, et au surplus dans un marché extrêmement concurrentiel concernant ses prestations, son coût d'achat et son coût d'usage.

Les compétences qui garantissent la satisfaction de ces nombreuses contraintes sont donc intrinsèques au monde automobile. Cependant, les domaines d'expertise sous-jacents permettant d'y satisfaire peuvent être sujets à évolutions.

On trouvera donc dans les sous chapitres suivants l'illustration de ces dimensions, en dissociant les compétences transversales systémiques des compétences technologiques.

Fondamentaux transversaux

Culture de base

Un préalable pour tout ingénieur de l'automobile est d'être muni des outils lui permettant de **comprendre l'environnement dans lequel il agit**.

Il est essentiel de rappeler que d'être « fluent in English » est une nécessité absolue pour accéder aux autres cultures, échanger au plus haut niveau avec ses pairs (réseaux d'experts, séminaires, articles scientifiques et technologiques), avec ses collègues au sein de l'entreprise et enfin avec tous les partenaires de l'entreprise (clients et fournisseurs). Le meilleur des experts risque de s'isoler et de ne pas avoir la possibilité d'opérer au plus haut niveau si son niveau d'anglais est insuffisant.

Travailler en équipe avec des collègues de cultures différentes (Asie, monde anglo-saxon, monde arabe, etc.) peut nécessiter, selon le contexte de l'entreprise, une formation spécifique de type initiation aux problèmes interculturels.

Le succès de nos entreprises dépend largement de leur compétitivité au sens large, en particulier de l'aptitude à se différencier par rapport aux concurrents autrement que par la réduction des coûts, en augmentant la valeur des produits et services proposés. Penser nouveaux usages des clients, réfléchir sur les problèmes qu'ils rencontrent (points de douleurs ou « Pain points »), c'est développer la créativité de l'entreprise par des solutions différenciées, porteuses d'avenir car porteuses de valeur. Il faut donc que tous nos ingénieurs soient pétris de cet état d'esprit et des techniques et méthodologies correspondantes :

- Se focaliser sur les usages « User Centric »,
- Trouver des solutions aux points douloureux : « Design thinking ».

Pour supporter cette approche, l'entreprise doit être munie de solides compétences (internes ou externes) et s'assurer d'une culture de base de ses ingénieurs en termes :

- De veille technologique (émergence des nouveautés, nouveaux usages, analyse de la concurrence), d'aptitude à monter des partenariats avec les start-ups en tenant compte de leurs cultures spécifiques, et de connaissance des marchés.
- De capitalisation des savoirs et de standardisation

des méthodologies, processus et solutions techniques issues des développements ou de la résolution des problèmes.

- De protection de ses innovations et de sa marque tout en s'assurant d'agir en toute légalité par rapport aux droits des tiers : c'est la propriété intellectuelle (valorisation et gestion du portefeuille des brevets).
- De lois, réglementations et normes : quelle que soit la taille de l'entreprise, la connaissance de l'environnement législatif, réglementaire et normatif est vitale pour assurer des développements efficaces et respectant ce cadre. L'entreprise devra donc intégrer des compétences (compréhension et application de ces lois, réglementations et normes) dans toutes ses fonctions et dans tous ses métiers.

Qualité, Fiabilité, Sûreté de fonctionnement

L'homologation des véhicules, c'est à dire l'autorisation de vente et d'usage accordée par les autorités publiques se fondera sur **notre capacité à démontrer la sûreté de fonctionnement de ces véhicules dans leurs champs d'usages**, démonstration particulièrement complexe dans le cas des véhicules de plus en plus autonomes et connectés qui demanderont des réévaluations récurrentes au fur et à mesure des éditions ("release") des algorithmes et logiciels en usage (dans le réseau après-vente ou "Over The Air").

La « Qualité, Fiabilité, Sûreté de Fonctionnement » est un domaine de compétences mature mais qui nécessite des mises à niveaux régulières des équipes techniques sur les méthodes et outils traditionnels, des approfondissements de ces méthodologies et outils, ainsi que le déploiement de compétences nouvelles nécessaires au développement des services et produits de plus en plus complexes liés à l'électrification des véhicules et à ceux autonomes et connectés.

Des notions de base couvrant ce domaine de compétences devraient être incluses dans les cursus de formations initiales, techniques ou commerciales.

L'initiation à la résolution de problèmes (à tous les niveaux de l'entreprise), supportée par des compétences de base en analyses statistiques permettent de factueliser les problèmes et assurent une communication transparente au sein de l'entreprise ainsi qu'avec ses partenaires.

Il est donc fortement recommandé de s'assurer du déploiement et de l'utilisation de la boîte à outils sta-

tistiques de l'ingénieur en développement ou en fabrication : « Fiabilité, Plans d'expériences, Méthodes Statistiques des Procédés (MSP-SPC) ».

Lorsque l'on intervient sur le développement de systèmes complexes et cyber-physiques, on doit envisager la formation d'experts en analyse de données complexes et multifactorielles et à l'utilisation des analyses graphiques adaptées.

Nous insistons sur l'utilisation systématique, dès les phases amont de nos développements de grandes séries, des méthodes traditionnelles permettant l'identification des risques techniques et leur traitement, ainsi que la démonstration de la robustesse des produits développés. On évitera ainsi de noyer les ressources en aval par le traitement tardif des problèmes (méthode de type QRQC- Quick Response Quality Control) générés par des développements manquant de rigueur.

Trop souvent ces méthodes sont appliquées superficiellement sous la contrainte des audits qualité internes ou des clients, manquant ainsi l'opportunité de solutions innovantes pour éradiquer les risques identifiés... pour peu qu'ils soient identifiés !

Il faut donc **prévoir le déploiement et la maintenance des compétences correspondantes** :

- L'analyse fonctionnelle et l'analyse de la valeur, 2 outils préalables aux AMDECS/FMEAs (analyses des défaillances et de leur criticité) au niveau du développement du produit, des procédés industriels et des moyens correspondants,
- Les méthodes du type APR (Analyse Prévisionnelle des Risques) ou formalisant des arbres de défaillances prévisionnels chiffrés,
- Les évaluations de la fiabilité fondées sur les essais à « rupture ou tronqués ».

Du fait de la mise en œuvre de systèmes de plus en plus complexes (électrification du groupe motopropulseur, véhicule connecté et/ou autonome), une initiation à la sûreté de fonctionnement (SDF) de nos équipes techniques et de leurs dirigeants opérationnels est indispensable dans toute la filière pour converger aux mêmes objectifs de fiabilité, qualité et sûreté par l'utilisation d'un langage commun.

La sûreté des fonctionnalités visées (SOTIF Safety Of The Intended Functionality) est un champ nouveau de la SDF qui vient d'être formalisé dans la norme

ISO 21448, particulièrement pertinent dans le cas des systèmes complexes ou cyber-physiques.

Ces nouveaux systèmes complexes utilisent de plus en plus de l'intelligence artificielle (voir chapitre 1) qui pose des défis quant à la démonstration de la sûreté de fonctionnement des systèmes hôtes mais ouvre aussi de nouvelles possibilités méthodologiques pour la simulation, la validation et la certification de ces systèmes (plans de validations sur simulations de cas d'usages... en association ou non avec les outils de la réalité augmentée).

Alors que les compétences en « fiabilité, qualité et sûreté de fonctionnement » sont largement établies dans l'automobile, même si parfois insuffisamment appliquées, nous manquons d'outils et de compétence sur la mesure de la satisfaction des clients, pourtant un maillon essentiel de la chaîne SDF.

En résumé

La fiabilité, la qualité et la sûreté de fonctionnement, domaines traditionnels de l'automobile, deviennent plus que jamais un fondement de la culture de l'entreprise qu'il faut sans cesse enrichir, qui ne pourra pas se dispenser de systèmes et méthodologies de capitalisation des savoirs et de standardisation robustes et structurées.

Ingénierie systèmes

L'automobile, en tant qu'objet technique de plus en plus complexe, pouvant interagir avec son environnement quand il est connecté, est un **système composé de multiples modules et composants** qu'on ne peut pas développer de façon indépendante au travers de spécifications simples.

Le développement de tels systèmes complexes fait appel à l'ingénierie des systèmes qui **nécessite des compétences et méthodologies bien décrites et bien développées dans les grandes entreprises mais qu'il faut plus diffuser dans l'ensemble de la filière.**

L'expérience montre que si ces organisations et processus de développement ne sont pas anticipés, il en découle souvent des remises en cause tardives de

parties entières du système conduisant à une perte considérable de temps, mettant en péril les jalons de livraison et les budgets.

Il s'agit là de développer des produits sûrs, de façon efficace et au moindre coût sur l'ensemble de la chaîne de développement, du constructeur aux fournisseurs de « rang n » et à tous les niveaux de fournitures jusqu'aux composants et matières. Le marché de l'emploi de l'Ingénierie des systèmes est sous la tension des demandes de secteurs traditionnellement considérés de haute technologie comme l'aéronautique et l'espace, la défense, le nucléaire et les transports publics.

Ces compétences sont donc rares et sont stratégiques pour l'automobile qui est devenu l'un des secteurs de très haute technologie, appliquée de surcroît à une industrialisation de particulièrement grandes séries.

L'ingénierie système est donc au cœur du processus de conception, que l'on soit acteur au niveau le plus haut (véhicule dans son environnement), au niveau des sous-systèmes (les équipementiers) ou de la fourniture de composants.

Cadre de l'ingénierie systèmes

Un préalable : tout ingénieur de l'automobile et tout dirigeant opérationnel doit bénéficier d'une initiation à l'ingénierie des systèmes.

Pour une bonne mise en œuvre, l'ingénierie systèmes doit par ailleurs s'appuyer sur :

- Une organisation de projet intégrant des équipes fonctionnelles (métiers),
- Une gouvernance des projets pour encadrer les développements,
- Des chefs de projets de grande séniorité. Ils doivent être rompus techniquement aux systèmes qu'ils développent, connaître les processus de développement et leur certification (type CMMI ou SPICE), savoir piloter des équipes fonctionnelles (intervenant à chacune des étapes du cycle en V, en particulier, le cas échéant des nouveaux métiers: intelligence artificielle et Big data, cybersécurité), maîtriser les logiciels de gestion technique des données (MRPs, ALM...) et être parfaitement informés de leur responsabilité en termes de respect des normes et réglementations (dont RGDP pour les données personnelles en Europe), de sûreté de fonctionnement (et SOTIF) et de cybersécurité.

Processus et outils de l'ingénierie des systèmes

D'un point de vue du processus de développement, selon la taille et la maturité des équipes on décidera d'intégrer une dose plus ou moins forte de méthodes de type AGILE pour gagner en réactivité de traitement des problèmes, ceci tout en assurant la robustesse du cycle en V traditionnel.

Quel que soit le choix dans cet équilibre, il nous semble important d'insister sur l'acquisition et la mise en place des compétences suivantes :

- L'architecture fonctionnelle ou « orientée services » des systèmes
- La modélisation des systèmes (processus et outils du type SYS-ML ou « model base system engineering »)
- Les processus d'intégration continue applicables non seulement aux développements logiciels mais à considérer dès le niveau système (validation en continu dans le système de chacune des composantes).
- La gestion des exigences et les outils associés (sur la totalité du cycle en V ou/et en mode Agile).

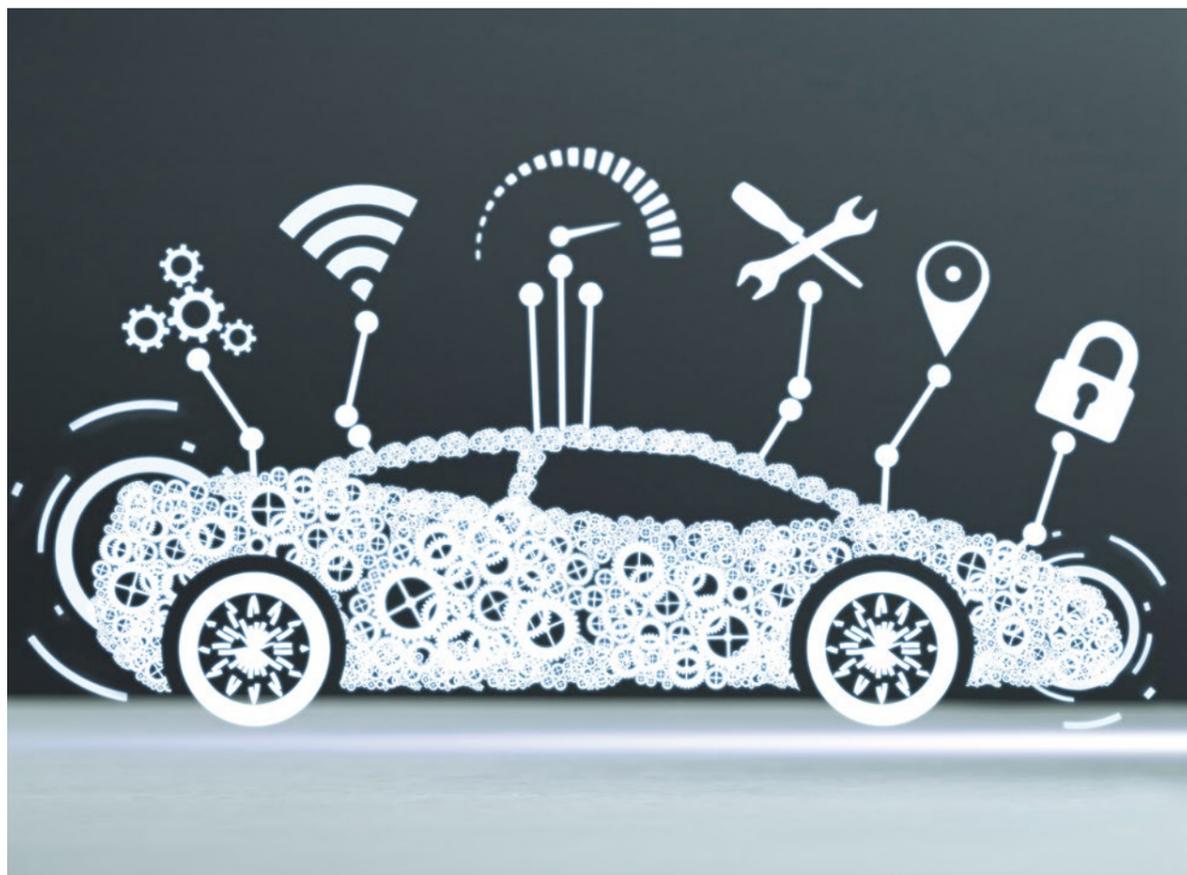
Aspects techniques importants de l'ingénierie des systèmes

Insistons à nouveau sur La sûreté de fonctionnement (SDF) y compris la sûreté des fonctionnalités visées (SOTIF Safety Of The Intended Functionality), sans oublier la cybersécurité sur l'ensemble du cycle de vie et sur des aspects plus techniques applicables aux systèmes complexes dont :

- Une connaissance minimum des contenus techniques des systèmes que les ingénieurs systèmes développent (par exemple les ADAS, intelligence artificielle, véhicule autonome cf Chap 1 et 2) : initiation aux ADAS et capteurs, initiation à l'Intelligence artificielle-IA- et au traitement des données -data science-),
- La connaissance des contraintes techniques apportées par la CEM (compatibilité électromagnétique) et de plus en plus par l'acoustique des systèmes.

Simulation et Validation

C'est un domaine en **évolution très rapide du fait de la complexité croissante des systèmes et du besoin impératif de démontrer qu'ils sont fiables et sûrs du point de vue de la sécurité des personnes et des biens** avec des objectifs à atteindre très ambitieux,



statistiquement non démontrables par des essais physiques en développement.

Comme déjà expliqué, l'intégration de l'intelligence artificielle dans la conception de ces systèmes complexes pose de nouveaux problèmes en termes de simulation, de validation et d'homologation par les autorités publiques mais ouvre aussi de nouveaux champs de possibles en méthodologies. Cette évolution n'est pas spécifique à l'automobile mais elle est indispensable à son avenir.

Il nous faudra donc recruter et construire des expertises pointues qui pourront faire la différence en compétitivité : confiance des clients, réduction des durées de développement, capitalisation des savoirs.

Cela concernera :

- La maîtrise de la chaîne complète conception/modélisation / validation de la robustesse et de la sécurité des systèmes complexes et cyber-phy-

siques (cybersécurité), dont l'utilisation des apports de l'intelligence artificielle dans cette chaîne,

- Les protocoles de validation sûre en fonction des cas d'usage, particulièrement quand les véhicules sont « connectés » en faisant appel aux différents niveaux de validations « in the Loop » pour « l'intégration » des systèmes (Software in the Loop-SIL-, hardware In the Loop-HIL-, Vehicle in the Loop-VIL-).

Mais aussi des **outils et expertises plus spécifiques**, pour certains évoqués aux paragraphes précédents comme :

- Les processus et outils « model base system engineering » du type SYS-ML,
- L'apport de l'intelligence Artificielle-IA- (et des données de masse-Big data).
- L'apport de la réalité virtuelle, notamment pour la mesure, le paramétrage et la simulation de la cosmétique et des aspects « haptiques » des matériaux.

Mécanique

C'est un domaine traditionnel et solide de l'automobile et de l'industrie en général, riche en formations académiques et continues, aux origines de l'ère industrielle dès le 19^{ème} siècle mais qui **risque de se déliter année après année si on n'y prend pas garde et qu'il faut continuer à enrichir** :

- Perte de l'aptitude à concevoir des produits mécaniques quand on ne les produit plus (savoir-faire sur les procédés de fabrication pointus déterminant la conception).
- Manque d'attractivité pour les nouvelles générations d'ingénieurs, aspirés par les domaines dits de haute technologie tel l'univers du numérique.

La conception mécanique

De nouvelles compétences sont requises, notamment (mais pas uniquement) en ce qui concerne la sécurité et le bien être à bord :

- La simulation numérique du comportement mécanique des matériaux nouveaux ou cosmétiques (liège, cuirs, matériaux souples...),
- La tribologie et les frottements, une compétence de base mais... rare (hors motoristes) à bon niveau !
- La prise en compte des phénomènes acoustiques en amont de la conception des systèmes pour éviter les remises en cause aval.
- Le champ des « possibles » ouvert par l'utilisation des données de masse et de la science des données (IA et Big Data) pour traiter des problèmes acoustiques.

Les matériaux

Outre la nécessité de maintenir les compétences et d'innover sur les domaines traditionnels de la métallurgie, de la transformation des métaux et sur la chimie et la transformation des matériaux organiques et polymères, l'arrivée en force de l'électrification et de l'automatisation progressive des véhicules (nécessairement de plus en plus connectés), demande des **expertises pointues sur le comportement mécanique, la simulation et le vieillissement de toute une variété de nouveaux matériaux** à mettre en œuvre industriellement :

- Le verre (importance de l'interface pare-brise/ADAS)
- Les biomatériaux (habitacle, batteries)
- Les matériaux (métaux, polymères, électrolytes, etc.) entrant dans la fabrication des batteries et des piles à combustibles

- Les aimants (terres rares ou solutions de remplacement, ferrites) et leurs constituants (additifs, liants, etc.)
- Les matériaux magnétiques en général et les solutions alternatives innovantes

La mécanique et les procédés Industriels

Certains savoir-faire traditionnels, mais pourtant nécessaires, se sont appauvris ou ont disparu. Ils sont cependant indispensables pour accroître notre aptitude à innover et donc à rester des leaders technologiques.

Nous ne savons pas concevoir ce que nous ne savons pas produire...

Notre capacité à concevoir la mécanique de nos objets est donc intimement liée à nos savoirs en processus industriels tels qu'évoqués au chapitre suivant (se référer à "Procédés de fabrication et organisation de la production" dans le chapitre 4 "Les compétences traditionnelles de l'automobile à maintenir").

Il est par ailleurs nécessaire de :

- Capitaliser et d'innover sur les technologies nouvelles telles que la plastronique ou la fabrication additive * (imprimantes 3D).
- Redéployer les compétences relatives à la mise en forme et à la transformation des matériaux métalliques et polymères (traditionnels ou nouveaux).

* La fabrication additive permet une optimisation de la conception et/ou du montage de pièces ou d'outillages. Très bien adaptée à des objets produits en petite série, nécessitant des changements rapides (par ex. pièces de personnalisation, prototypes) son champ d'application économiquement viable reste à préciser.

Électronique

De nombreux points évoqués dans cette partie sont déjà développés au chapitre 2 « véhicule digital et connecté ».

Cette partie rappelle les compétences de l'électronique en tant que métier transversal de l'automobile.

Comme déjà évoqué précédemment, l'électronique automobile est en **évolution très rapide** surtout en ce qui concerne :

- L'intégration de logiciels dits « embarqués » du plus en plus complexes, briques essentielles des systèmes eux-mêmes complexes au niveau du véhicule dans son environnement.
- La rapidité d'exécution quand on a besoin de traiter l'information en temps réel (une exigence des assistances à la conduite et plus encore pour l'automatisation des véhicules et leur connectivité).
- La masse des données qu'il faut transférer, mémoriser ou traiter.
- L'intégration physique des électroniques dans les systèmes qu'elles contrôlent : miniaturisation ou nouveaux composants et modules de plus en plus « intelligents » et/ou rapides.
- Intégration des modules électroniques dans les objets qu'ils contrôlent couvrant les domaines de la « mécatronique » et de la « plastronique ».
- L'assurance de la sûreté de fonctionnement (SDF et SOTIF) des systèmes contrôlés y compris la robustesse en cybersécurité et en compatibilité électromagnétiques (CEM).
- L'industrialisation (des composants, des modules dits mécatroniques et plastroniques) et la réduction des coûts.
- La prise en compte incontournable de l'économie circulaire et du respect de l'environnement (ex. : optimisation de la consommation énergétique dans la voiture et consommations des transferts de données de leurs traitements et de leurs stockages dans les centres de données).

Ces tendances technologiques sont communes à beaucoup de secteurs économiques (électronique grande consommation, avionique, défense, transports, etc.) **ce qui met le marché de certaines compétences sous tension.**

Dans le cadre des logiciels embarqués et du traitement des données de masse dans le « Cloud », et comme évoqué au Chapitre 2 (« véhicule digital et connecté »), **insistons sur l'optimisation des topologies de traitement de ces données** au plus proche de leur source : ce qu'on appelle les méthodologies de « Edge Computing », qui permettent de développer des solutions plus efficaces.

En ce qui concerne plus généralement les logiciels (software), et de façon cohérente avec l'ingénierie des systèmes évoquée plus haut, nous insisterons sur la connaissance des processus, la gouvernance

et l'organisation d'équipes Software décentralisées mais efficaces et garantissant la protection des savoirs stratégiques.

Il s'agit là d'une accumulation de compétences et d'expériences sur les postes de direction ou responsables des métiers électroniques qui doivent non seulement comprendre l'ensemble des métiers de l'électronique et mettre en place les organisations de développement nécessaires, mais aussi initier les ingénieurs et leurs directions opérationnelles à ce qu'est le logiciel embarqué :

- L'architecture des softwares (SOA : Software Oriented Architecture) et la topologie des boîtiers en lien avec l'architecture des systèmes citée plus haut.
- L'électronique dite en « temps réel » (rapidité d'exécution).
- L'algorithmie et la modélisation qui sont les outils incontournables pour la validation pas à pas des modules Software développés dans l'architecture du logiciel : l'intégration continue.
- Les méthodologies de fusion des données pour les ADAS et véhicules autonomes et connectés d'une part et pour le bien-être à bord d'autre part. (Se référer aussi à « véhicule digital et connecté »).

En ce qui concerne la partie physique de l'électronique (HW pour Hardware), domaine où les technologies sont plus matures, il nous semble important d'insister sur les compétences suivantes pour accompagner une intégration accrue et sûre au sens SDF et SOTIF :

- L'électronique de puissance et la mécatronique : la conception des systèmes compacts et sûrs nécessitant des compétences croisées en thermomécanique, en fiabilité/vieillesse des composants et modules qui les reçoivent, fortement coordonnées avec la mise en place des procédés d'industrialisation (assemblage des composants en modules, eux-mêmes intégrés au plus près des dispositifs qu'ils contrôlent),
- La modélisation et la prédiction de compatibilité électromagnétique (CEM) : il faut s'assurer que les systèmes sont robustes aux pollutions électromagnétiques de leur environnement et qu'ils ne polluent pas eux-mêmes cet environnement. Il s'agit de compétences connues mais qui font appel à des phénomènes physiques complexes nécessitant

expérience et capitalisation de savoir-faire et faisant appel à des outils de simulation eux-mêmes en pleine évolution.

L'impact de l'électronique sur l'environnement doit être intégré comme une compétence de base des électroniciens compte-tenu de la criticité des matériaux utilisés (pollution, éthique, rareté et aspects géopolitiques).

Cela nécessite des compétences pointues mais aussi une initiation de tout électronicien en analyse de cycle de vie et économie circulaire, et plus particulièrement en gestion de l'obsolescence des systèmes dans leurs usages et des composants électronique sourcés.

Compétences transversales de l'Ingénieur

Bien qu'en dehors du périmètre de ce document et des prérogatives de la SIA (centrées sur les compétences techniques), nous aimerions insister sur certaines compétences clé pour le pilotage des activités d'ingénierie et de projets :

- Initiation de nos ingénieurs à la finance d'entreprise et particulièrement au contrôle économique et financier des projets
- La propriété intellectuelle afin que les équipes techniques opèrent en toute responsabilité.

Les formations correspondantes sont disponibles sur le marché : il est du ressort de chaque entreprise de combler les manques sur ces sujets.

Une attention particulière doit être apportée à la reconnaissance de l'autorité technique des experts dans les processus de prises de décisions opérationnelles.

C'est une question :

- De positionnement dans les organisations (se référer au Livre Blanc de L'IESF - Société des Ingénieurs et Scientifiques de France - intitulé « Relever les défis d'une économie prospère et responsable »).
- Mais aussi d'accompagnement des experts sur leur aptitude à communiquer et à convaincre.

Il est du ressort des entreprises d'apporter ce soutien s'il y a lieu (nombreuses offres de formations sur le marché).



- D'initiation des directions opérationnelles à l'univers des ingénieurs.

Afin d'assurer un fonctionnement fluide et transparent des activités de développement, d'industrialisation et de distribution des produits systèmes, modules et services (gouvernance de l'innovation, gouvernance des projets amont ou applicatifs), nous devons nous assurer que **les directions opérationnelles concourent aux décisions stratégiques et à la gouvernance des projets soient en mesure d'appréhender l'univers technique des ingénieurs et experts** et donc de considérer leurs résultats et positions sur les sujets techniques comme il se doit.

Les grandes entreprises sont en général dotées de ces programmes « d'initiation à ».

Lors de la phase 2 de ce Livre Blanc, **la SIA se proposera de recommander ou de mettre à disposition de la filière ces formations d'initiation** (liste non exhaustive) dans les domaines nouveaux ou stratégiques, comme par exemple :

- L'initiation à l'écoconception et l'analyse des cycles de vie (optimisation de la consommation énergétique, impact sur l'effet de serre et sur la pollution de notre environnement, impacts éthiques et géopolitiques).
- L'initiation à l'ingénierie des systèmes.
- L'initiation aux divers aspects de la cybersécurité.
- L'initiation à l'intelligence artificielle (IA), au « Cloud » et aux données de masse (Big Data).



CHAPITRE 4

LES COMPÉTENCES
TRADITIONNELLES DE
L'AUTOMOBILE À MAINTENIR

CHAPITRE 4

LES COMPÉTENCES TRADITIONNELLES DE L'AUTOMOBILE À MAINTENIR

Le chapitre 3 décrit les compétences traditionnelles déjà utilisées dans l'automobile mais qu'il est nécessaire de renforcer du fait des tendances sociétales ou technologiques (chapitres 1 et 2) et de l'accroissement rapide de la complexité des systèmes utilisés.

Nous nous intéressons dans ce chapitre aux compétences qui resteront nécessaires indépendamment de ces innovations et changements profonds.

Nous attirons l'attention sur ces compétences, car le besoin de nouvelles acquisitions est tel, nécessitant un fort investissement des entreprises, qu'il existe un risque de laisser les premières se déliter et disparaître au fil des générations.

Nous avons identifié 3 principaux domaines :

- Moteurs thermiques
- Fondamentaux véhicule
- Procédés de fabrication et organisation de la production

Moteurs thermiques

Même s'il est clair que la décarbonation des transports et les exigences de réduction des émissions de polluants vont conduire à une baisse très significative du nombre de moteurs thermiques utilisés seuls, voire une disparition à terme, **des compétences sur ces moteurs doivent être maintenues à l'horizon 10 ans en ce qui concerne leur conception et leur fabrication.**

En effet les véhicules hybrides associant un moteur thermique à un moteur électrique et des batteries représenteront toujours une part importante du marché mondial à cet horizon.

Sous la contrainte des réglementations et des attentes des clients, le moteur thermique équipant ces véhicules devra encore être optimisé en consommation, émissions de polluants et bruit.

Les compétences à maintenir en conception sont (voir « Procédés de fabrication et organisation de la production » pour la fabrication) :

- Emissions de polluants et post-traitement : la réduction des émissions de polluants des moteurs thermiques va rester un enjeu majeur, ne serait-ce que pour les véhicules hybrides en phase de fonctionnement thermique.
- Optimisation de la combustion, réduction des frottements, permettant de réduire consommation et polluants en fonctionnement thermique.
- Connaissance des caractéristiques des différents combustibles alternatifs permettant une réduction des émissions de CO₂ "du puits à la roue" et adaptation des moteurs à ces carburants (matériaux, combustion et post-traitement, réglages et contrôle moteur).
- Optimisation de la conception du moteur thermique d'un véhicule hybride. Un moteur thermique associé à un moteur électrique de puissance significative peut être optimisé différemment dans sa conception, au profit d'une réduction de masse, de coût, de consommation et d'émissions de polluants.
- Pilotage optimisé des groupes motopropulseurs

pour les véhicules autonomes et hybrides sous contraintes de consommation d'énergie, d'émissions de polluants, de bruit, d'agrément etc. Le véhicule autonome et connecté pouvant disposer de nombreuses informations sur le trafic, le profil des routes et différents aléas (feux tricolores, travaux, zone silence etc.), il peut ainsi proposer au conducteur une adaptation de la conduite - ou le faire en autonomie. Pour les véhicules hybrides, la combinaison de 2 moteurs et de 2 sources d'énergie nécessite un pilotage cohérent de ces deux moteurs et permet également de nombreuses optimisations. Piloter de tels systèmes complexes nécessite de plus en plus des compétences en optimisation multi-contraintes.

Fondamentaux véhicule

Qu'il soit autonome, connecté, électrique, hybride ou thermique, le véhicule reste un objet roulant transportant des passagers : "une voiture reste une voiture". Sa conception requiert de nombreuses compétences pointues, accumulées et améliorées pendant des décennies d'industrie automobile. Le véhicule doit être sûr, fiable, confortable, agréable à conduire, peu énergivore, silencieux... et abordable... Sa conception est le résultat de compromis entre de très nombreuses contraintes, souvent contradictoires.

Cela nécessite des compétences en :

- Confort/comportement : conception et géométrie des trains avant et arrière, répartition des masses, suspension et amortissement, direction.
- Sécurité active et passive : demande d'une part une excellente connaissance de la réglementation actuelle et future ainsi que des "ratings" (ex EuroNCAP) et d'autre part des compétences très pointues dans la conception du véhicule : structure véhicule vis-à-vis de son comportement lors d'un choc, système de freinage, tenue de route et comportement (cf ci-dessus), nombreux systèmes d'aides à la conduite ("ADAS").
- Aérodynamique et traînée véhicule : la réduction de consommation passe par la réduction de la résistance à l'avancement du véhicule. C'est vrai pour les véhicules thermiques et d'autant plus pour les électriques afin d'augmenter leur autonomie, critère très concurrentiel et clé pour le déploiement de ces véhicules. Cela mobilise des compétences

en mécanique des fluides, conception des trains roulants, des pneus, etc.

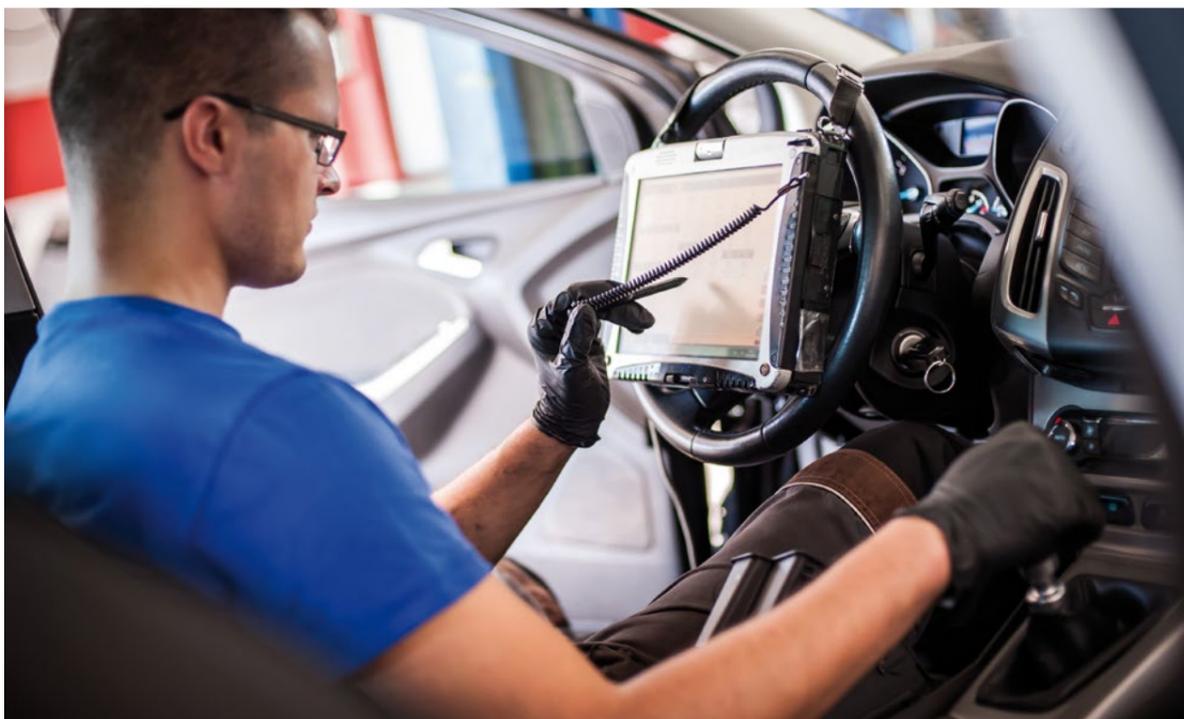
- Acoustique : le véhicule doit être peu bruyant, tant de l'extérieur qu'à l'intérieur pour ses occupants. C'est un élément essentiel du "bien être à bord " et cela répond à la fois à des exigences réglementaires pour le bruit extérieur ainsi qu'à des attentes des clients et de la société. Les compétences induites sont celles de l'acoustique et du vibratoire en général, la connaissance des réglementations actuelles et à venir, la conception mécanique des pièces et procédés d'assemblage vis-à-vis de ce critère. La difficulté particulière dans un véhicule est qu'il est constitué d'une multitude de pièces et systèmes complexes couplés entre eux.
- Synthèse véhicule : c'est une compétence très spécifique des constructeurs, qui doivent assurer que l'assemblage de toutes les pièces et systèmes du véhicule ("système de systèmes"), tant mécaniques qu'électroniques, va résulter en un véhicule complet répondant aux attentes des clients. Cela suppose de développer des compétences dans l'identification et la formalisation des attentes clients, des méthodes et outils de déploiement des réponses à ces attentes (prestations) et de leur évaluation, numérique ou physique. Parmi des méthodes à maîtriser, citons également les démarches "User centricity", déjà évoquée, afin de concevoir un véhicule pour ses utilisateurs et non "un véhicule d'ingénieur".

Nota

Des compétences de maintenance et de réparation devront être maintenues dans les réseaux commerciaux, tant sur les moteurs thermiques que sur les fonctions traditionnelles du véhicule (des moteurs thermiques resteront dans le parc automobile roulant pendant environ 20 ans après l'arrêt de leur production en Europe, plus longtemps encore dans certaines régions du monde). Ce point n'a pas fait l'objet à ce stade d'une analyse sur les compétences nécessaires, mais est à retenir.

Procédés de fabrication et organisation de la production

Quelles que soient les technologies utilisées, **la fabrication d'un véhicule**, objet complexe faisant appel à de nombreux acteurs (équipementiers, fournisseurs



ANNEXES

de pièces, systèmes, équipements de production) produit en très grande série et en maîtrisant la qualité, **requiert des connaissances elles aussi accumulées et améliorées pendant des décennies d'industrie automobile.**

On peut citer les compétences associées aux procédés eux-mêmes, et à leurs outillages de production :

- Procédés de transformation des métaux : Fonderie, usinage, emboutissage, forgeage, estampage, extrusion, etc.
- Procédés de transformation des matières plastiques : Injection, surmoulage, plastronique, etc.
- Procédés d'assemblage : Ferrage et soudure, géométrie caisse et habillages, vissage, collage, clip-sage, frettage, etc.

Par ailleurs l'équipement et l'organisation de la production d'une usine automobile nécessite des compétences particulières :

- Équipements de production
 - Systèmes de stockage et convoyage de pièces, alimentation des lignes de production.
 - Machines de production, extrêmement diversifiées en fonction des procédés.
 - Robots et cobots.

- Électronique et informatique industrielles, notamment pour la maintenance.
- Organisation, sécurité et ergonomie du poste de travail.

- Logistique interne usine et externe

- Organisation des flux physiques
- Gestion des stocks
- Outils de gestion et ordonnancement de la production

- Maîtrise de la Qualité

- Organisation pour la maîtrise de la qualité entrante et sortante
- Méthodes et outils (contrôle statistique de la production, plan de surveillance etc...)
- Indicateurs et tableaux de bord

Nota

Les compétences décrites ici restent à préciser avec la Communauté d'Experts Process-Production. Cela fera l'objet d'une future édition du livre blanc. Nous avons néanmoins souhaité ici attirer l'attention sur ce champ de compétences clé pour l'industrie automobile.

ANNEXES CHAP.1

ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Environnement et économie circulaire	Méthodes et outils d'Analyse des Cycles de Vie (ACV)	Matériaux et Carrosserie	<p>Une initiation de tout ingénieur de l'automobile est requise afin de systématiser et d'analyser les études d'impacts</p> <p>Nécessité d'une connexion académique, pour enrichir l'offre de formation</p> <p>Prendre en compte les particules issues du freinage et des pneus</p>
	Écoconception		
	Économie circulaire		
	Obsolescence		
	Pollutions et Impacts éthiques		
	Lois, réglementations et normes		
REACH : « Registration, Évaluation and Authorisation of Chemicals » Respect de la réglementation et participation aux discussions européennes			

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET NEUTRALITÉ CARBONE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Transition énergétique et neutralité carbone	Ecosystème énergétique des véhicules électrifiés	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Y compris Smartgrid, réseau de charge des batteries et impact de l'hydrogène
	ACV dont Impact CO ₂ des véhicules électrifiés	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Y compris empreinte énergétique du cycle de production
	ACV dont impact CO ₂ des véhicules thermiques	Technologies des chaînes de traction	Y compris empreinte énergétique du cycle de production

NOUVEAUX USAGES, NOUVELLES MOBILITÉS

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Nouveaux usages, Nouvelles mobilités	Comprendre les enjeux et anticiper les nouveaux usages	Nouveaux usages et services	Considérer les « Best Societal use »
	Infrastructures et V2X	Véhicule Connecté-Gestion des données-Cybersécurité	
	Protocoles de validation	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Intelligence Artificielle (IA) Big Data	Initiation IA/Big Data	IA-Big Data	Conception et industrialisation, support aux métiers, en incluant spécifiquement simulation et testing
	Datascience		Sensibilisation croisée entre métiers et statisticiens (Ex. : Formation SAFI de la SIA). La rétention de talents est un sujet critique
	Propriété et Gouvernance des données : collecte, contrôle qualité, gestion des référentiels, analyse de la valeur des données, éthique et RGD (Europe)		Privilégier des formations internes. La classification des données est un domaine important
	Algorithmie	Électronique et Architectures Electroniques et Logicielles	Voir électronique
	SDF/SOTIF en IA « IA de confiance »	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Validation, fiabilité, robustesse et certification des systèmes sécuritaires utilisant de l'intelligence Artificielle Compétence stratégique, encore l'objet de nombreuses recherches
	Management Projet IA (aspects spécifiques)	IA-Big Data	Possibilité de promouvoir des candidats internes. Intégration des processus spécifiques liés à l'Intelligence Artificielle et au Big data dans les processus de développement « systèmes »
	Infrastructure Informatique technique nécessaire à IA-Big data		Profil critiques, coûteux et compliqués à recruter et à retenir. Un traitement particulier de la part des Ressources Humaines est requis.
	Fusion de données dans les systèmes complexes	Méthodologie de Fusion des données	ADAS et véhicules autonomes
Cas « systèmes » ADAS et Véhicule Autonomes		ADAS et Véhicules Autonomes	Liste non exhaustive
Cas « systèmes » pour véhicules connectés		Véhicule Connecté-Gestion des données-Cybersécurité	
Cas systèmes bien-être à bord		Bien-être à bord	
Informatique Industrielle, Usine 4.0	Compétence IA/Big data pour les aspects industriels	Process-Production	Collecte et analyse des données de fabrication (performance et qualité)
	Simulation des processus industriels, « jumeaux numériques »		Collecte des données d'usage réel pour amélioration des produits et des procédés industriels
Logistique, Blockchain	Blockchain:Principes, contraintes et usages	Process-Production	Compétence émergente en lien avec plateformes data et avec la problématique d'échanges de données dans un écosystème
Cybersécurité	Initiation	Véhicule Connecté-Gestion des données-Cybersécurité	Préoccupation transverse nécessitant une initiation de tous les ingénieurs et des directions opérationnelles
	Méthodologies dans les métiers		Multiplis domaines d'application: Cybersécurité intégrée à la conception, Véhicules connectés, Cybersécurité des sites industriels et R&D...

VÉHICULES ÉLECTRIFIÉS

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Conception produit/process des machines électriques	• Optimisation électrotechnique	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Compatible avec les procédés de fabrication
Terres rares, aimants et matériaux magnétiques	• Technologies, matériaux	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique Matériaux et Carrosserie	Voir aussi rubrique « Matériaux » dans « Mécanique »
	• ACV et économie circulaire	Matériaux et Carrosserie	Pour la méthodologie à suivre et la validité des résultats
Conception Produit/process des Modules d'Électronique de puissance	• Logiques de pilotage	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Domaine comprenant les algorithmes de pilotage et la réalisation HW compatible aux procédés de fabrication
	• Onduleurs • Convertisseurs • Systèmes de charge intégrés • Mécatronique		Intégration produit/process et thermomécanique des composants et modules de puissance sur le HW et dans les boîtiers, assurant fiabilité, CEM et cybersécurité
Intégration des machines électriques et des modules Électroniques dans le véhicule	• Transmission et réducteurs	Technologies des chaînes de traction	Une attention particulière doit être apportée à la compatibilité électromagnétique (CEM), à l'acoustique et à la cybersécurité
	• Intégration des modules dans l'architecture électrique et électronique • Refroidissement des machines et électroniques de puissance	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	
Batteries : technologies, matériaux, électrochimie	• Technologies, matériaux • Thermodynamique et électrochimie des batteries, Impact CO ₂ • ACV et économie circulaire	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique Matériaux et Carrosserie	Pour la méthodologie à suivre et la validité des résultats
Conception produit/process des bornes de recharge (extérieures)	• Électronique de puissance • Algorithmes de Pilotage	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Pour l'intégration des stations de charges et du véhicule électrique dans « L'Écosystème énergétique des véhicules électrifiés », voir l'entrée « Transition énergétique, Neutralité carbone »
Sécurité Électrique du véhicule	• Conception produit/process répondant aux normes de sécurité électriques	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Au niveau Véhicule, borne de recharge et leur interface
Intégration véhicule	• Architectures refroidissement, thermique habitacle, groupe motopropulseur	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	
H2 et Piles à combustible, technologie et environnement	• Thermodynamique et électrochimie	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Pour la méthodologie à suivre et la validité des résultats
	• Architecture du Système • Conception et performances PAC • Intégration véhicule et refroidissement • ACV et économie circulaire	Technologie des Chaînes de traction Matériaux et Carrosserie	

VÉHICULE DIGITAL ET CONNECTÉ

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Cybersécurité	• Initiation à la • Conception "cyber by design" HW & SW • Réglementations et normes • Approfondissement	Véhicule Connecté- Gestion des données- Cybersécurité	Préoccupation transverse nécessitant une initiation de tous les ingénieurs et Directions opérationnelles. Nombreux domaines concernés dont Cybersécurité intégrée à la conception, Véhicules connectés et Autonomes, Cybersécurité des sites industriels et R&D...
Sécurité de Fonctionnement (SdF)	• Conception fonctionnelle sûre • SdF et SOTIF (Iso 26262/21448) appliqués aux véhicules autonomes et connectés	ADAS et Véhicules Autonomes	Le SOTIF est apparu par le développement des ADAS, des Véhicules autonomes et connectés et des nouvelles chaînes de traction Attention à la démonstration SdF/SOTIF en cas de recours à l'Intelligence Artificielle
Homologation	• Homologation et démonstration SdF des systèmes complexes dans un environnement complexe	Fiabilité-Qualité-Sécurité	En particulier pour véhicule autonome/électrifié/connecté
Validation et simulation robustes	• Protocoles de validation sûres en fonction des cas d'usage, véhicule connecté (Outillage et méthodologies)	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	Comment imaginer, comment valider efficacement un véhicule connecté (bases de scenarii, data...) Attention aux aspects cybersécurité : résistance aux attaques. Méthodologies de fuzzing ?
Fusion de données dans les systèmes complexes	• Méthodologie de Fusion des données • Cas « systèmes » ADAS et Véhicule Autonomes • Cas « système » pour véhicules connectés • Cas systèmes bien-être à bord	ADAS et Véhicules Autonomes Véhicule Connecté- Gestion des données- Cybersécurité Bien-être à bord	
			Définition : Traitement des données à la périphérie du réseau, près de leur source. Attention à la cybersécurité L'Ege Computing est particulièrement pertinent dans le cas d'utilisation de l'Intelligence Artificielle et d'une approche Big Data dans le cadre de l'apprentissage distribué au plus près des données (« federated learning ») Voir ingénierie systèmes (architecture fonctionnelle) Systèmes complexes (embarqué, débarqué, connectivité Cloud...)
Software	• Edge computing, Architecture SW • SOA (Software Oriented Architecture)	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	
HMI (Human Machine Interface)	• Contextualisation des Facteurs humains, Cognitif, Physiologie humaine • Haptique • Ergonomie	Bien-être à bord	Information par le toucher ou Feed-back suite à une action Dont lisibilité des écrans
	• Connaissance des nouveaux usages impliquant des HMI	Nouveaux usages et services	Usages roulants (communication, travail...) Usages à l'arrêt (notamment pour les utilitaires)
Optique	• Écrans • Holographie	Bien-être à bord	Performances et spécifications Voir aussi Véhicule Autonome
Plastronique	• Plastronique des matériaux souples (plastiques, cuirs...)	Bien-être à bord	Voir aussi Véhicule Autonome
Matériaux	• Nouveaux matériaux HMI, Bois, liège... souples	Bien-être à bord	Voir aussi Véhicule Autonome
Capteurs	• Connaissance des capteurs spécifiques (sons, images, odeurs...)	Bien-être à bord	Voir aussi Véhicule Autonome

AUTOMATISATION DE LA CONDUITE DU VÉHICULE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Cybersécurité	<ul style="list-style-type: none"> Initiation à la Conception "cyber by design" HW & SW Réglementations et normes Approfondissement 	Véhicule Connecté- Gestion des données- Cybersécurité	Préoccupation transverse, nécessitant initiation de tous les ingénieurs et Directions opérationnelles. Multiples domaines d'application: Cyber-sécurité intégrée à la conception, Véhicules connectés et Autonomes, Cybersécurité des sites industriels et R&D...
Sécurité de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> Conception fonctionnelle sûre SDF et SOTIF (Iso 26262/21448) appliqués aux véhicules autonomes et connectés 	ADAS et Véhicules Autonomes	Le SOTIF est apparu par le développement des ADAS, des Véhicules autonomes et connectés et des nouvelles chaînes de traction. Attention à la démonstration SDF/SOTF quand utilisation de l'Intelligence Artificielle
Homologation	<ul style="list-style-type: none"> Homologation des systèmes sécuritaires utilisant de l'intelligence Artificielle « IA de confiance » 	Fiabilité-Qualité-Sécurité	En particulier pour véhicule autonome/électrifié/connecté
Validation et simulation robustes	<ul style="list-style-type: none"> Simulations et validations sûres en fonction des cas d'usage (Outillage et méthodologies) 	Simulation-Testing- Réalité virtuelle	Comment imaginer comment valider efficacement un véhicule connecté (bases de scénarii ?, data ?....) Attention aux aspects cybersécurité : résistance aux attaques . Méthodologies de fuzzing ?
Système et Software	<ul style="list-style-type: none"> Fusion des données pour les systèmes Véhicules Autonomes 	ADAS et Véhicules Autonomes	Voir IA/Big Data Attention à la cybersécurité
Software	<ul style="list-style-type: none"> Edge computing, Architecture SW SOA (Software Oriented Architecture) 	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	Définition: Traitement des données à la périphérie du réseau, près de leur source. L'Ege Computing est particulièrement pertinent dans le cas d'utilisation de l'Intelligence Artificielle et d'une approche Big Data dans le cadre de l'apprentissage distribué au plus près des données (« federated learning ») -Voir également : ingénierie système (architecture fonctionnelle) -Systèmes complexes (embarqué, débarqué, connectivité Cloud...) Attention particulière à porter aux aspects de cybersécurité
HMI (Human Machine Interface)	<ul style="list-style-type: none"> Contextualisation des Facteurs humains Cognitivité Physiologie humaine Haptique Ergonomie 	Bien-être à bord	Information par le toucher ou Feed-back suite à une action Dont lisibilité des écrans
	<ul style="list-style-type: none"> Connaissance des nouveaux usages impliquant des HMI 	Nouveaux usages et services	Considérer non seulement les usages véhicules roulant (communication, travail...) mais aussi les usages à l'arrêt (notamment pour les utilisateurs) Voir aussi « Véhicule digital et connecté »

Optique	<ul style="list-style-type: none"> Optique Écrans Holographie 	Bien-être à bord	Performances et spécifications Voir aussi Véhicule Digital et Connecté
Plastronique	<ul style="list-style-type: none"> Plastronique des matériaux souples (plastiques, cuirs...) 	Bien-être à bord	Voir aussi Véhicule Digital et Connecté
Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> Nouveaux matériaux HMI Bois, liège...souples 	Bien-être à bord	Voir aussi Véhicule Digital et Connecté
ADAS et capteurs	<ul style="list-style-type: none"> Initiation aux niveaux d'automatisation L1 à L5 , aux ADAS et capteurs Connaissance approfondie des ADAS et capteurs associés 	ADAS et Véhicules Autonomes	L'assistance à la conduite et les véhicules autonomes et connectés sont une des révolutions de l'automobile. Tout ingénieur doit en comprendre les bases et les enjeux

FONDAMENTAUX TRANSVERSAUX - CULTURE DE BASE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Langues	Anglais	Transversal toute communauté d'Experts	Multitude d'offres de formations, (Niveau BRITE / TOEIC mini à définir en fonction des postes occupés)
Travail en équipes pluri-culturelles	Initiation aux spécificités interculturelles	Transversal toute communauté d'Experts Délégué aux compétences	Support à l'ingénierie multisites ou multi-régions
Créativité/ design thinking	Initiation Design Thinking-UX	Nouveaux usages et services	Fonction clé : « super bricoleur multi-métier »
Veille technologique et start-ups	Innovations et compétences issues de start-ups et benchmark	Transversal toute communauté d'Experts	Notamment Intelligence artificielle, Nouveaux Usages de la mobilité...
Capitalisation du savoir / standardisation	Initiation aux traitements des risques, capitalisation du savoir et standardisation	Transversal toute communauté d'Experts	Traditionnel à développer, importance d'un langage commun à la filière (PFA)
Propriété Intellectuelle	Initiation à la propriété intellectuelle	Transversal toute communauté d'Experts	Traditionnel à développer, importance d'un langage commun à la filière (PFA)
Normes et réglementations	Veille et interprétation	Transversal en coordination avec la PFA	

Analyse de la valeur	• Analyse de la valeur	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Traditionnel mais basique
AMDEC(s)	• AMDEC Produit • AMDEC procédés • AMDEC moyen	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Traditionnel mais basique
Analyses de risques	• APR • ERA • Décomposition et/ou Management des risques	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Traditionnel mais basique
Fiabilité	• Calculs Essais 0 défaillance, à rupture	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Traditionnel mais basique
Sûreté de fonctionnement (SDF ou RAMS)	• Initiation pour tous, SDF et RAMS • SOTIF	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Maitrise de la chaine complète : conception/modélisation /simulation/validation Extension de ISO 26262/21448
IA / big data	• Initiation: Aspects probabilistes (vs déterministes), validation et homologation des systèmes IA • Rôle des data : qualité des données, data-driven safety	IA-Big Data	Encore largement un sujet de recherche. Priorité sur les actions de sensibilisation & initiation : Évolution des standards ISO26262, SOTIF et SAFAD
Autres outils et méthodes	• Scanner 3D • Smart Gadget • Traçabilité	Fiabilité-Qualité-Sécurité	

FONDAMENTAUX TRANSVERSAUX - QUALITÉ, FIABILITÉ, SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Homologation	• Homologation et démonstration SDF des systèmes complexes dans un environnement complexe	Fiabilité-Qualité-Sécurité	En particulier pour véhicule autonome/électrifié/connecté
Démarche continue de qualité, fiabilité, sûreté de fonctionnement	• En innovation • En conception • En opérations	Fiabilité-Qualité-Sécurité	• à court terme en opérations: nécessaire pour FOTA (Firmware Over-The-Air), et correction des vulnérabilités cybersécurité • à moyen terme : SDF itérative et incrémentale
Connaissance du Client	• Mesure de la satisfaction	Fiabilité-Qualité-Sécurité	
Boîte à outils statistiques	• Analyses statistiques de bases • Boîte à Outils statistiques pour l'ingénieur : plans d'expérience, fiabilité... • Analyse des données complexes et multifactorielles • Analyses graphiques	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Acculturation nécessaire pour tous les ingénieurs Centrage sur le périmètre pertinent
Traitement des risques	• QRQC (Quick Response Quality Control)	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Culture da base à entretenir
Analyse Fonctionnelle	• Analyse fonctionnelle	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Traditionnel mais basique

INGÉNIERIE SYSTÈMES - CADRE DE L'INGÉNIERIE SYSTÈMES

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Ingénierie système	Initiation à l'ingénierie système	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Bien connu dans les grandes entreprises mais à déployer systématiquement dans la filière gestion des exigences, SPICE, Nouveau :SOTIF, cybersécurité , GDPR, Intelligence artificielle et Big Data
Organisation	Management d'équipes fonctionnelles	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Les projets complexes doivent être pilotés par des seniors de « l'ingénierie système » comprenant la gestion des exigences, SDF et SOTIF, cybersécurité , GRPD, la certification et l'impact de l'Intelligence artificielle et du BiG Data sur les développements « systèmes »
Pilotage de projets	Management de projets complexes	Transversal toute communauté d'Experts	
Logiciels de gestion des données techniques	ALM , MMRPs , MES/IS, G_PRO ...	Process-Production	Outils à la frontière de l'informatique et de l'industriel
Certification Systèmes et SW	SPICE/CMMI	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Très important car exigence de tous les constructeurs

INGÉNIERIE SYSTÈMES - PROCESSUS ET OUTILS

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Processus de développement	<ul style="list-style-type: none"> • Cycle en V • Méthode « Agile » 	Fiabilité-Qualité-Sécurité Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> • Architecture fonctionnelle ou « orientée service » 	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Sujet qui doit sortir du domaine exclusif de l'architecture SW
Modélisation des systèmes	<ul style="list-style-type: none"> • Processus et outils du type SYS-ML ou « model base system engineering » 	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	Voir aussi « validation, simulation, certification »
Intégration	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration continue des systèmes et logiciels 	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Entendre par intégration des systèmes, la validation au fur et à mesure de la conception des composants : se référer à l'intégration continue des SW
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion des exigences : processus et outils 	Fiabilité-Qualité-Sécurité	Très important et souvent mal traité, notamment quand des entreprises différentes travaillent sur le même système
Modélisation, simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Processus et outils du type SYS-ML, « model base system engineering » • Simulation des systèmes cyber-physiques ou complexes 	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	Formation prête à être diffusée en coordination avec « NAFEMS »
	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation numérique des matériaux, dont nouveaux matériaux 	Matériaux et Carrosserie	
IA/BIG data en simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Apport IA et big data pour la simulation : collecte des données • Simulation des cas d'usages à partir des données 	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	Dont « machine learning » Formation IA/big data à déployer dans le métier Simulation Testing. Génération de cas/situations virtuelles (dont RV), possiblement à partir des données collectées (voir FOT et NDS).
Apport de la Réalité Virtuelle en Simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de la réalité virtuelle pour la validation des usages et des systèmes • Mesure et paramétrage pour la simulation de la cosmétique des matériaux 	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	Population réduite et très spécifique

MÉCANIQUE - LA CONCEPTION MÉCANIQUE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation numérique des matériaux • Dont nouveaux matériaux • Mesure et paramétrage de la cosmétique des matériaux 	Matériaux et Carrosserie	Enjeu d'attractivité de la filière automobile Voir également « simulation, validation »
			Notamment pour allègement. Voir également « simulation validation » Important pour la conception de l'habitacle
Tribologie	<ul style="list-style-type: none"> • Tribologie 	Simulation-Testing-Réalité virtuelle	
Acoustique dans la conception	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte acoustique dans la conception mécanique 	NVH-Acoustique	Transverse pour tout ingénieur (bases) Enjeu d'attractivité de l'automobile
IA/Big Data	<ul style="list-style-type: none"> • Datascience et big data au service de l'acoustique 	NVH-Acoustique	Voir aussi IA-Big data

MÉCANIQUE - LES MATÉRIAUX

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Le verre 	Matériaux et Carrosserie	Importance des caractéristiques de verre pour les capteurs (Radars, cameras, lidars)
	<ul style="list-style-type: none"> • Biomatériaux 		Compétence en croissance
	<ul style="list-style-type: none"> • Métallurgie 		Compétence traditionnelle mais porteuse et demandant à être valorisée
	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance des Matériaux organiques et polymères 		Compétence traditionnelle mais porteuse et demandant à être valorisée
Matériaux pour Batteries	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux, technologie et chimie des batteries EV 	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Voir aussi « fondamentaux de l'automobile »
Matériaux pour Machines électriques	<ul style="list-style-type: none"> • Terres rares, aimants et matériaux magnétiques alternatifs 	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Voir aussi « fondamentaux de l'automobile »

MÉCANIQUE - LA MÉCANIQUE ET LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Plastronique	Plastronique	Bien-être à bord	Particulièrement utile pour l'habitacle
Mise en forme des matériaux	Mise en forme des matériaux métalliques et polymères	Matériaux et Carrosserie	
Fabrication Additive	Fabrication Additive	Process-Production	Voir commentaires dans « Industriel »

ÉLECTRONIQUE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Processus des Software	<ul style="list-style-type: none"> Processus de développement des logiciels Initiation 	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	Tout ingénieur, et les directions opérationnelles
Gestion des équipes Software	Gestion d'équipes SW décentralisées	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	Architecture des données, codage Attention à la cybersécurité
Méthodologies en Software	SW Embarqué, temps réel	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	Attention à la cybersécurité
	Architecture SW SOA (Software Oriented Architecture)		Voir ingénierie système (architecture fonctionnelle) Systèmes complexes (embarqué, débarqué, connectivité Cloud...) Attention à la cybersécurité
	Algorithmie		Voir IA/Big data Attention à la cybersécurité
	Modélisation		Attention à la cybersécurité
	CEM : initiation et approfondissement		Compétence traditionnelle mais différenciante pour l'avenir. C'est une compétence assez rare. Peut être une compétence pointue spécifique à certaines entreprises mais une initiation est recommandée pour tous les ingénieurs.
HW	Électronique de puissance, mécanique	Véhicule Électrique et Écosystème Énergétique	Électronique de puissance et mécanique sont deux sujets indissociables Attention à la cybersécurité
	CEM : initiation et approfondissement	Électronique et Architectures Électroniques et Logicielles	Compétence traditionnelle mais différenciante pour l'avenir. Peut être une compétence pointue spécifique à certaines entreprises mais une initiation est recommandée pour tous les ingénieurs. Voir également « fondamentaux de l'automobile, ingénierie systèmes » Attention à la cybersécurité
ACV et économie circulaire des modules et composants	ACV et économie circulaire des composants et modules	Matériaux et Carrosserie	Voir aussi « environnement et économie circulaire »

COMPÉTENCES TRANSVERSALES DE L'INGÉNIEUR

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Entreprenariat	Management des projets complexes	Transverse	Voir « Ingénierie systèmes » Multitude d'offres de formation en gestion de projets mais pas toujours adaptées aux besoins (systèmes, cybersécurité...)
	Contrôle financier appliqué au développement		Multitude d'offres de formation hors domaine technologique
Autorité de l'Expertise et Management opérationnel	<ul style="list-style-type: none"> Autorité des Experts Positionnement 	Transverse	Suppose, au préalable, une gestion de l'Expertise en niveaux, Se référer au Livre Blanc IESF
	<ul style="list-style-type: none"> Communiquer et convaincre Ecouter et diriger sur « dire d'experts » 		Ceci ne peut pas être dissocié de la reconnaissance de l'expertise. Les managers doivent apprendre à écouter et décider sur « dire d'Experts ». Voir travaux IESF

MOTEURS THERMIQUES

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Pilotage optimisé des GMP	Optimisation du pilotage des GMP des véhicules électrifiés et autonomes sous contraintes	Technologies des chaînes de traction	Contraintes : Autonomie, bruit, consommation énergie/ émissions de CO ₂ , pollution. Compétence en optimisation multi-factorielle : voir « boîte à outils » chapitre Qualité, Fiabilité, Sûreté de Fonctionnement »
Optimisation du moteur thermique	<ul style="list-style-type: none"> Conception moteur thermique pour véhicules électrifiés Optimisation de la combustion Réduction des frottements Connaissance et adaptation aux Combustibles alternatifs Réduction des cylindrées Rendement Post-traitement et réduction des émissions de particules 	Technologies des chaînes de traction	<p>Importance du maintien des compétences dans le domaine des moteurs thermiques dans la transition thermique /électrique jusqu'en 2035 : réduction de l'impact CO₂, pollution, plus généralement ACV</p> <p>Notamment adaptation des matériaux, de la combustion et de post-traitement, contrôle moteur</p>

LES FONDAMENTAUX VÉHICULE

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Synthèse véhicule	Méthodologies et approche système	Technologies des chaînes de traction	Voir aussi chapitre « ingénierie systèmes »
	Connaissance des besoins clients: design thinking, Usage Centric (UX)		Voir aussi le chapitre « fondamentaux transversaux, culture des base »
Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> Connaissance des réglementations : EuroNCAP... Sécurité Active : Freinage et tenue de route, connaissance des ADAS 	ADAS et Véhicules Autonomes	Voir aussi chapitre « ingénierie systèmes, aspects techniques »
	<ul style="list-style-type: none"> Sécurité passive : Structure du véhicule 	Technologies des chaînes de traction	
Pertes	<ul style="list-style-type: none"> Aérodynamique et trainée du véhicule Frottements de roulage 	Technologies des chaînes de traction	
Acoustique	<ul style="list-style-type: none"> Connaissance des réglementations Acoustique compartiment et extérieure 	NVH-Acoustique	Voir aussi chapitre « mécanique »

PROCÉDÉS DE FABRICATION ET ORGANISATION DE LA PRODUCTION

Thèmes	Compétences	Communauté d'Experts en charge de la thématique	Commentaires
Procédés et Machines	<ul style="list-style-type: none"> Assemblages : ferrage vissage, collage, clipsage, fretage...) Usinages Soudures dont laser et géométrie de caisse Robots et cobots Microélectronique : Assemblage, contrôle-SPC.. Mécatronique (principalement pour l'électronique de puissance) 	Process-Production	Savoir-faire produit/process qui garantissent faisabilité et compétitivité
	<ul style="list-style-type: none"> Mise en forme des matériaux métalliques et polymères Outillages de mises en formes des matériaux métalliques et polymères Outillages pour plastronique 	Matériaux et Carrosserie	Compétences multiples : injection , fonderie et moulage, usinage, estampage, extrusion, forgeage... (non exhaustif)
		Process-Production	Compétences multiples : outillage d'injection , de surmoulage, de formage, d'usinage, de vissage... (non exhaustif)
	Nouveaux Procédés	Fabrication Additive	Process-Production
Logistique interne et externe usines	<ul style="list-style-type: none"> Organisation des flux physiques Gestion des stocks Outils de gestion et ordonnancement 	Process-Production	
Maîtrise de la qualité	<ul style="list-style-type: none"> Organisation Qualité Méthodes et Outils Gestion de la Qualité et indicateurs 	Process-Production	

La Société des Ingénieurs de l'Automobile

Depuis 1927, la Société des Ingénieurs de l'Automobile a pour ambition de favoriser le développement et le partage des connaissances des ingénieurs, cadres et techniciens de sociétés et grands groupes français ou présents en France, dans le domaine de l'automobile et de la mobilité du futur.

La SIA au sein de la filière automobile

En France

La SIA participe activement à la filière automobile française en lien avec les principales organisations professionnelles automobiles (CCFA pour les constructeurs ou FIEV pour les équipementiers), pôles de compétitivité de la filière, instituts sous l'égide de la PFA.

À ce titre, elle est en charge du secrétariat général des Comités Automobiles et Conseils Opérationnels de la filière en lien avec les nouvelles technologies produit ou de production.

À l'international

Membre de la FISITA (Fédération Internationale des Sociétés des Ingénieurs des Techniques de l'Automobile) forte de plus de 190 000 ingénieurs de l'automobile appartenant aux associations nationales réparties dans 36 pays, la SIA permet à ses communautés d'experts des échanges au-delà des frontières françaises.

Ce que nous proposons

À nos membres...

- Des activités et des rencontres réservées aux membres
- Des tarifs préférentiels
- Des publications réservées aux membres
- Un annuaire des membres

À l'ensemble du monde automobile...

- Manifestations et événements scientifiques et techniques, de niveau international
- Des formations
- Des publications scientifiques & techniques
- Des supports d'information & de communication

LA SIA C'EST...



2 000
membres



15 000
spécialistes et experts
dans notre réseau



30
rendez-vous et
rencontres annuels



100
Sociétés et Écoles
membres*

*entreprises, établissements d'enseignement, associations, institutions

13 communautés d'experts

Des Communautés d'Experts au cœur des enjeux de demain

La SIA s'appuie sur ses 13 C.E. (Communautés d'Experts) qui couvrent l'ensemble des domaines de la recherche, de l'innovation, des nouvelles technologies de l'ingénierie produit à la production.

Chaque communauté, formée des meilleurs experts présents en France, participe par ses groupes de travail sur son domaine d'expertise au développement du savoir, à la détermination des positions communes sur les technologies de demain, à la préparation des compétences de demain, et à la réalisation de rencontres internationales (congrès, journées d'études, ateliers).

1. ADAS & véhicules autonomes
2. Bien-être à bord (NVH – IHM – Performances dynamiques)
3. Électronique - Architectures électroniques et logicielles
4. Fiabilité – Qualité – Sécurité
5. Gestion des énergies à bord
6. IA Big data
7. Matériaux & carrosserie
8. Nouveaux usages et services
9. Process - Production
10. Simulation – Testing et Réalité Virtuelle
11. Technologies des chaînes de traction
12. Véhicule connecté – gestion des données - cybersécurité
13. Véhicule électrique et écosystème énergétique