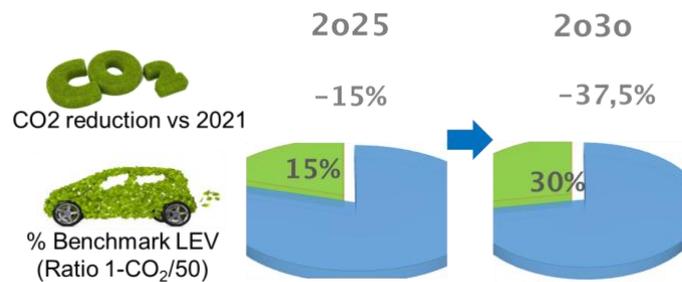


## LES MATERIAUX POUR L'ALLEGEMENT DES VEHICULES

### ➤ INTRODUCTION

L'automobile se doit de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre sous la pression des réglementations européennes mais aussi internationales. L'automobile représente environ 10% des émissions globales de CO<sub>2</sub> au niveau mondial et les objectifs fixés en Europe (en cycle NEDC) à l'horizon 2020 sont à 95g de CO<sub>2</sub>/km, soit une réduction de 36% par rapport à 2019. A partir de 2021, le cycle d'homologation sera le WLTP, plus proche d'un cycle d'utilisation client, et les objectifs de réduction des émissions se traduiront de la façon suivante :



Cette réduction sera permise par la diminution des consommations des véhicules thermiques, mais également la mise sur le marché de véhicules à faibles émissions avec des chaînes de traction partiellement ou entièrement électrifiées.

Ces objectifs, s'ils sont contraignants pour les constructeurs automobiles, devraient être par ailleurs bénéfiques pour l'utilisateur qui devrait voir le coût complet d'utilisation de son véhicule baisser parallèlement à la baisse de consommation.

Face à cela les constructeurs automobiles travaillent les différentes pistes contributrices :

- Augmenter le rendement de la chaîne de traction
- Electrifier/hybrider le véhicule
- Optimiser les résistances à l'avancement (aérodynamique, résistance au roulement, ...)
- Réduire la masse

La masse est un contributeur majeur à la puissance dissipée par le véhicule puisqu'elle intervient proportionnellement à la résistance au roulement, à l'accélération et à la déclivité des routes.

Sur le cycle WLTP il est communément admis qu'une réduction de masse de 100 kg engendre un gain d'émission de CO<sub>2</sub> d'environ 4g/km (valable à partir de 2021) pour un véhicule à moteur thermique.

Cependant, si la réduction de masse est incontournable elle ne pourra se faire sans une maîtrise économique globale, l'utilisateur n'étant pas prêt à en supporter directement tous les coûts.

## ➤ CONTEXTE/ENVIRONNEMENT

L'environnement « matériaux et procédés » bouge, si l'on en juge par les différents congrès, symposiums ou communications qui sont consacrés aux thèmes des matériaux pour l'automobile et/ou de l'allègement à l'échelle mondiale. Il est à noter depuis quelques temps la présence dans ces conférences des acteurs chinois des filières matériaux et le regain d'intérêt affiché (nombre de publications) pour les matériaux « traditionnels » (aciers, aluminium) .

Etat des lieux hors France

Différents programmes aidés nationaux (ex : programme SMILE en D) visent à développer des fonctions allégées, souvent en mixant les matériaux utilisés et travaillant les process issus d'autres industries pour les adapter aux besoins de l'automobile par exemple en terme de cadence ou de prix de revient.

Ces programmes s'appuient généralement sur des plateformes de développement « pré industrielles », permettant de travailler conjointement les caractéristiques mécaniques, thermiques, etc ... sur pièces et tous les aspects liés aux procédés.

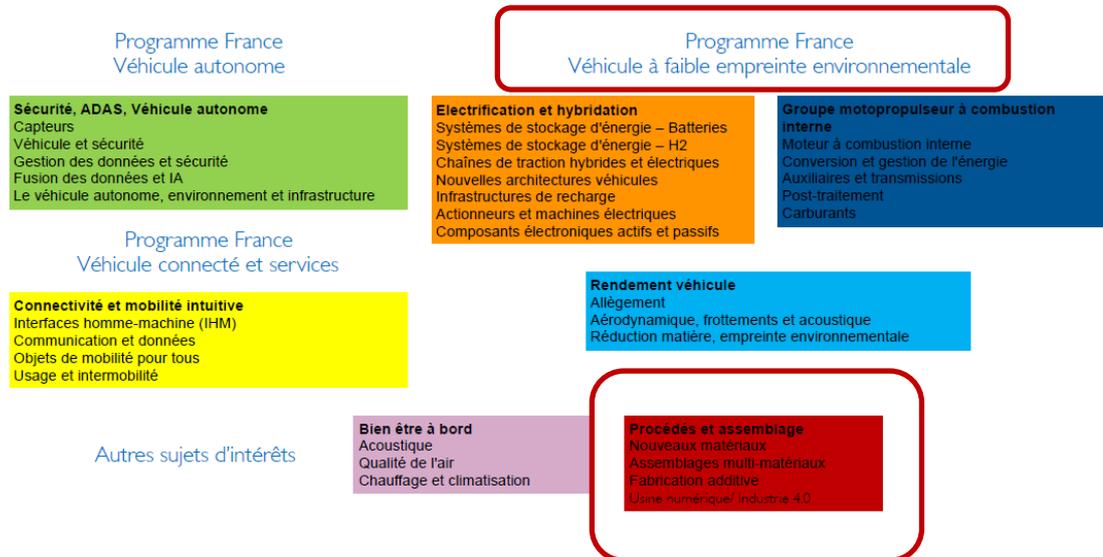
Côté français, la filière peut s'appuyer sur des acteurs « mondiaux » dans le domaine des matériaux (ArcelorMittal pour les aciers, Constellium pour les aluminium, Michelin, Tier 1 comme PO, Faurecia, Novares, sur les polymères et composites, adossés aux chimistes de premier plan comme Arkema, Total, ...) et des développements technologiques « tirés » par quelques fournisseurs majeurs de rang 1.

Le lancement des IRT, notamment Jules Verne et M2P pour l'automobile, est un élément important du retour à la compétitivité de la R&D et à la performance industrielle sur les matériaux et les procédés de transformation.

## ➤ ENJEUX/OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont multiples :

- évaluer les besoins de la filière automobile en termes de matériaux et technologies de transformation (mise en forme et assemblage) pour proposer des solutions d'allègement aux différents types de pièces et fonctions constitutives d'une voiture produite en grande cadence (à partir de 100 000 véhicules/an)
- identifier les solutions porteuses d'avenir et sur lesquelles la filière souhaite orienter ses travaux prioritairement, en lien avec les fiches du projet « Véhicule à Faible Empreinte Environnementale » de la PFA (voir ci-dessous)



L'enjeu est de générer un avantage concurrentiel temporaire pour la filière automobile française. Il est évident que l'évaluation des performances et des coûts associés sont déterminants pour positionner les différentes technologies. Néanmoins les investigations doivent se limiter à du précompétitif basé sur des formes types et non des produits « pseudo-aboutis » décrivant des architectures par exemple. Chaque fois qu'il est possible, des critères quantitatifs seront utilisés mais ces études nécessiteront également des critères qualitatifs permettant de mieux évaluer les technologies/matériaux sans dépasser les limites du précompétitif.

Exemples :

BESOINS EN INNOVATIONS 2018

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>Rendement véhicule</p> <p><b>Allègement</b></p> <p>Bénéfices attendus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gain quantitatif de 20 à 30 % sur le système assemblé à un coût acceptable</li> <li>Résistance au vieillissement</li> <li>Recyclabilité</li> </ul> | <p>Besoin : Amélioration du rendement véhicule par l'allègement</p> <p>Axes de réflexion</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Optimisation de processus de conception et d'industrialisation de pièces en aluminium</li> <li>Proposition de procédés de transformation de matériaux composites pour grandes séries</li> <li>Allègement des pièces à haute température</li> <li>Applications du composite carbone à bas coûts</li> <li>Simulation composite / Vieillessement</li> <li>Eco conception, recyclage, ACV</li> </ol> | <p>Mots clés</p> <p>Haute performance</p> <p>Aluminium</p> <p>Composite</p> |
| <p>Groupes de travail référents : PFA-CRA-MAT-01 – Matériaux et Allègement<br/>PFA-CRA-MAT-02 – Projet FORCE</p>   |  |   |

BESOINS EN INNOVATIONS 2018

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Procédés et assemblage</p> <p><b>Nouveaux matériaux</b></p> <p>Bénéfices attendus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction du CO2</li> <li>• Optimisation du ratio coût/valeur des solutions.</li> <li>• Gain masse</li> </ul> | <p><b>Besoin : Procédés industriels d'intégration des nouveaux matériaux</b></p> <p>Axes de réflexion</p> <p>156. Diminution du temps de cycle des technologies de préformage de fibres et de tissus pour le procédé Resin Transfer Molding (RTM)</p> <p>157. Optimisation du thermo-management et réduction de l'encombrement, de la masse et des coûts - Management de chaleur dans des systèmes fonctionnant à haute température (&gt; 250°C)</p> <p>158. Proposition des solutions permettant d'appréhender par calcul le comportement à la rupture des matériaux plastiques chargés ou des composites pour des contraintes allant jusqu'à 180 MPa</p> <p>159. Sécurisation de la soudure de pièces en tôles minces en acier &lt; 1.5mm</p> <p>160. Matériaux plastiques à très faible coefficient de frottement</p> <p>161. Recyclabilité, Cycle de vie (Focus : matériaux composites avec résine thermodurcissable)</p> | <p>Mots clés</p> <p>Technologies «near net shape »</p> <p>Nouveaux matériaux isolants thermiquement</p> <p>Recyclabilité</p> <p>Cycle de vie</p> <p>Simulation</p> <p>Composite</p> <p>Matériaux hybrides</p> |
| <p>Groupes de travail référents : PFA-CRA-MAT-01 - Matériaux et allègements<br/>PFA-CRA-MAT-04 - Matériaux bio inspirés</p>   |   |   |

BESOINS EN INNOVATIONS 2018

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>Procédés et assemblage</p> <p><b>Assemblage multi matériaux</b></p> <p>Bénéfices attendus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allègement, qualité d'aspect et durabilité</li> <li>• Réduction de consommation et de coût</li> <li>• Temps de cycle court, tenue en fatigue</li> </ul> | <p><b>Besoin : Procédés d'intégration des nouveaux matériaux</b></p> <p>Axes de réflexion</p> <p>162. Proposition de process de soudure pour des assemblages multi-matériaux en vue de l'allègement</p> <p>163. Assemblage multi-matériaux plastique composite insert métal (par ex problématique de l'étanchéité aux gaz des interfaces métal/plastique)</p> <p>164. Proposition de technologies permettant d'optimiser l'assemblage des matériaux composites thermo durs</p> | <p>Mots clés</p> <p>Anticorrosion aux interfaces</p> <p>Process</p> <p>Soudure</p> <p>Technologie hybride</p> |
| <p>Groupes de travail référents : PFA-CRA-MAT-01 - Matériaux et allègements</p>   |  |   |

BESOINS EN INNOVATIONS 2018

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>Procédés et assemblage</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;"><b>Fabrication additive</b></p> <p>Bénéfices attendus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction du coût des prototypes fonctionnels, capacité à produire des « petites séries automobile » (&lt;10000 / an)</li> <li>• Changement aisé de série (gamme produit)</li> <li>• Limitation des coûts investissements et coûts de validation véhicule (prototype=process série)</li> <li>• Développement du tissu de fournisseurs répondant aux besoins de la FA plastique / métal</li> </ul> | <p style="text-align: center; color: #800000;"><b>Besoin : prototypage rapide à moindre cout</b></p> <p>Axes de réflexion</p> <p>165. Matériaux: Plastiques, métaux, validation fonctionnelles</p> <p>166. Machines: Réduire les temps de cycle et augmenter les capacités de production</p> <p>167. Design : Aide à la décision: quand le 3D Printing est-il pertinent?</p> <p>168. Outillages: moules, outillages industriels yc smart grippers</p> <p>169. Multi-matériaux: Plastique ou métaux + circuits intégrés; cuirs et plastiques; mélanges plastiques mous/durs; autres</p> <p>170. Eclairage de l'impact HSE :évolution des normes &amp; standards</p> | <p>Mots clés</p> <p>Matériaux thermoplastiques imperméables</p> <p>Outillage</p> <p>Moules</p> <p>Impression 3D</p> <p>Validation fonctionnelles</p> |
|---|--|--|

Groupe de travail référent : PFA-CRA-MAT-03 - 3D Printing  
Projet « Real 3D » - PFA CRA



FILIERE  
AUTOMOBILE  
& MOBILITÉS

**ETAT DE L'ART**

**Les matériaux**

On peut classer les matériaux en 6 grandes familles représentatives pour couvrir l'essentiel de la masse d'un véhicule (hors fluides) : les aciers, les polymères (dont les élastomères), les alliages légers, les cuivreux, les composites et le verre.

Ces différents matériaux possèdent des caractéristiques mécaniques intrinsèques qui permettent de les situer et de les comparer entre eux pour établir une première classification élémentaire.

Tableau de valeurs types des principales caractéristiques Matériaux

| MATERIAU      | DENSITE | Rm (MPa)   | ELASTICITE (GPa) |
|---------------|---------|------------|------------------|
| ACIER         | 7,8     | 450 - 2000 | 210              |
| ALUMINIUM     | 2,7     | 250-550    | 72               |
| MAGNESIUM     | 1,8     | 230        | 45               |
| VERRE         | 2,5     | 1100       | 70               |
| Fibre CARBONE | 1,8     | 3500       | 300              |
| POLYAMIDE     | 1,2     | 80         | 3,2              |
| POLYPROPYLENE | 0,9     | 33         | 1-2              |

On peut ainsi porter un premier constat :

- **Les aciers** possèdent des caractéristiques élevées dans tous les domaines (résistance ultime, rigidité et tenue au crash (allongement à la rupture)) ce qui a fait leur succès mais leur densité élevée ne leur confère pas les meilleurs ratios performance mécanique / masse
- **Les alliages d'aluminium** ont des caractéristiques mécaniques plus faibles en résistance ultime et en rigidité mais aussi en absorption d'énergie pour la technologie moulée ; cependant, sa densité plus faible que l'acier, d'un facteur d'environ 3, lui permet d'afficher un potentiel d'allègement de l'ordre de 20% à 40% en fonction des pièces acier remplacées (pièces de structure ou peaux)
- **Les alliages de magnésium** sont comparables à ceux d'aluminium en terme de performances mécaniques bien que sa rigidité ne soit que 64% de celle de l'aluminium, grâce à sa densité (1,8), la plus faible des matériaux métalliques étudiés), il offre de plus grandes possibilités pour la réduction de masse comparativement à l'acier et à l'aluminium:
  - o 25 à 50% par rapport à l'acier suivant qu'il s'agisse de pièces de structure ou non
  - o 15 à 30% par rapport à l'aluminium suivant qu'il s'agisse de pièces de structure ou non.

Ceci est illustré par le ratio (Rm/d). Cependant dans sa version moulée le magnésium ne présente pas de caractéristiques suffisantes d'absorption d'énergie, ce qui peut limiter son usage pour des applications en choc

#### - Les Polymères et composites

Les **polymères** présentent les densités les plus faibles (0.9 pour le polypropylène) parmi les matériaux de l'étude, offrant ainsi un potentiel d'allègement important.

Les polymères seuls (non chargés/non renforcés) présentant des comportements thermomécaniques inférieurs aux métaux, ils ne peuvent être utilisés sur les pièces de structure.

Néanmoins, l'utilisation de résines techniques comme le polyamide ou des alliages comme le PPE/PA tendent à étendre les applications possibles.

La gamme de matériaux polymères disponible est très importante (depuis les mousses jusqu'aux composites rigides) et offre un spectre de propriétés mécaniques, thermiques et rhéologiques très large.

Les polymères peuvent être de nature thermoplastique -comme le polypropylène ou le polyamide- qui sont recyclables ou de nature therm durcissable -comme l'époxy- qui présente des propriétés thermomécaniques nettement supérieures aux thermoplastiques mais qui ne sont pas recyclables actuellement.

Un **composite** est un matériau constitué d'au moins deux composants de natures différentes aux propriétés complémentaires. Le composite est ainsi composé :

- Du renfort fibreux, qui constitue l'ossature de la pièce, et supporte l'essentiel des contraintes. Les fibres peuvent présenter des longueurs de quelques mm à continues. Elles peuvent être de nature organique d'origine chimique (carbone), organique d'origine végétale (fibres de lin, de chanvre) ou inorganique d'origine minérale (verre).
- De la matrice, qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts, et protège les renforts. La matrice peut être de nature céramique, polymérique ou métallique. Sur le marché automobile, seules les matrices polymères sont utilisées.
- 

Les polymères associés à des renforts optimisés confèrent aux composites des performances structurelles élevées très largement optimisées durant les 10 dernières années.

Avec une faible densité et des performances structurelles élevées, les polymères et tout particulièrement les composites, présentent le meilleur potentiel de gain masse.

Des process hybrides innovants permettent d'envisager des substitutions accrues de pièces métalliques.

#### **Les élastomères**

Les polymères peuvent également être de nature élastomérique comme le caoutchouc naturel, ou l'EPDM – qui sont déformables, élastiques mais non recyclables. Le fort développement des élastomères thermoplastiques (TPE) depuis plus de 30 ans permet d'obtenir des matériaux à la fois déformables et recyclables. Ils sont de densité généralement inférieures aux élastomères (proche de 1 contre 1,3) et permettent ainsi de réduire les masses à design équivalent. Pour les pièces élastomères ne pouvant être changées en TPE (tenue température, niveau d'élasticité exigé), des développements récents ont permis de réduire la densité de certains élastomères base EPDM (< 1) sans dégrader les propriétés mécaniques. Le gain potentiel en masse peut être de plusieurs centaines de grammes pour les joints d'étanchéité du véhicule par exemple.

#### **- Le verre**

Le verre est caractérisé par une densité non négligeable (2,5) et est utilisé dans les vitrages automobiles. Il représente cependant 3 à 4 % de la masse du véhicule.

#### **- Les cuivreux**

Le cuivre a une densité de 8,6 et son utilisation la plus importante se trouve dans les câblages électriques. Quelques utilisations complémentaires sont faites sous forme d'alliage (laiton, bronze) dans les pièces de « frottantes » (faibles masses)

#### **Les principales technologies de transformation :**

Il est indispensable de tenir compte des technologies de transformation et de réalisation des pièces dans leur dimensionnement, car les différentes étapes des procédés influent l'ensemble des propriétés d'usage des matériaux

D'un point de vue général, on peut dire que toutes les transformations opérées à froid sur des produits métalliques plats ou extrudés augmentent les caractéristiques mécaniques car il y a un phénomène de consolidation qui se produit. C'est le cas lors de l'emboutissage ou du cintrage.

Des transformations de matériaux métalliques à chaud avec refroidissement rapide, tel que celui mis en œuvre lors de l’emboutissage des aciers au bore, permettent d’augmenter les caractéristiques de résistance dans des proportions de l’ordre de 50% mais réduisent les capacités d’absorption d’énergie. Ces limitations peuvent être compensées avec les nouvelles générations d’Aciers au Bore monolithiques ou sous forme de flans soudés (Combinaisons 1000 ou 2000 Mpa) et leurs technologies d’emboutissage associées.

La fonderie sous pression des matériaux métalliques comme l’aluminium ou le magnésium provoque une baisse sensible des caractéristiques d’absorption d’énergie et ceci est d’autant plus vrai que les pièces ont des dimensions importantes. Ceci est dû en partie aux turbulences générées lors de l’injection qui entraînent de l’air et créent des porosités dans la matière. En revanche la diversité des formes et des renforts que l’on peut générer est une opportunité importante pour cette technologie.

Pour ce qui est des composites, le challenge majeur est l’optimisation des interfaces entre fibres et matrices afin d’atteindre les meilleures propriétés. Le process de transformation présente donc un impact très important dans cette phase. D’autre part, les cadences de production de ces matériaux sont à optimiser afin de les rendre compétitives avec les technologies actuellement disponibles

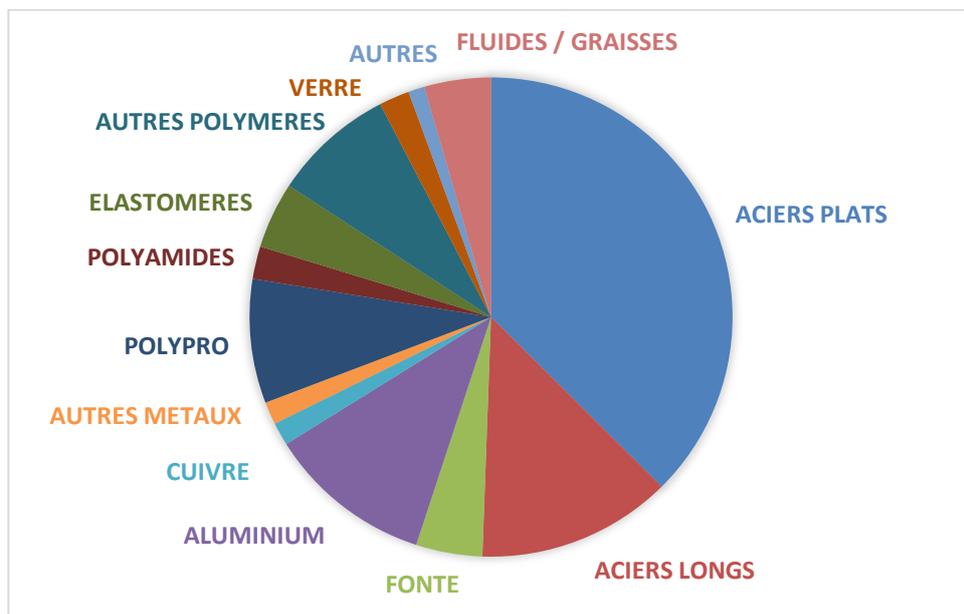
Une nouvelle voie s’est ouverte depuis quelques années avec les technologies regroupées sous le terme de « fabrication additive ». Là aussi, il est important de relier la paramétrie process aux caractéristiques locales sur pièces.

**LES MATERIAUX APPLIQUES A L’AUTOMOBILE – ETAT DE LIEUX**

- Décomposition de la masse d’un véhicule de segment B

**Répartition des matières (%)**

Répartition moyenne , en masse des familles matériaux pour un véhicule ICE



- **Les aciers** représentent encore aujourd’hui près de 60% de la masse d’un véhicule moyen.

C’est en effet un matériau qui permet de répondre aux différents challenges des constructeurs automobiles tels que l’allègement, la sécurité, le coût, la recyclabilité...

L’évolution continue des nuances d’acier leur a permis d’augmenter leur formabilité et leur résistance mécanique. Le développement de nouvelles nuances, couplé à des procédés de mise en forme existants ou adaptés (emboutissages à chaud ou à froid, profilage..) offre de larges possibilités d’allègement sur un grand nombre de pièces de la caisse en blanc ou du châssis, en offrant des performances élevées avec un rapport cout/valeur adapté. Le champ d’application de ces nouvelles nuances s’élargit à des modules comme les portes ou les sièges pour lesquels des allègements jusqu’à 20 % peuvent être observés.

Autre avantage de l’utilisation des nouvelles nuances, elles sont bien moins « perturbantes » pour les procédés existants pour l’assemblage des caisses ou des organes que l’introduction de nouveaux matériaux souvent synonymes d’adaptations lourdes des procédés et donc d’investissements industriels importants.

Fonte : nous constatons une diminution sensible des volumes des pièces concernées liées à un besoin d’allègement des moteurs thermiques et surtout un basculement du mix énergétique vers l’électrique

- **L’aluminium** présente une densité de 2,7 comparée à 7,8 pour l’acier ce qui lui donne un potentiel intrinsèque de réduction de masse important. Mais L’aluminium présente un module d’élasticité et des caractéristiques mécaniques inférieures.

Les alliages d’aluminium sont « traditionnellement » utilisés en fonderie pour la réalisation de pièces moteurs comme les carters cylindres ou les culasses, et de nombreux carters de boite de vitesses, de mécanismes ...

Les alliages d’aluminium utilisés sous forme de tôles ou d’extrudés disponibles aujourd’hui pour les conceptions offrent en général, par rapport aux aciers, un allègement potentiel de 20% à 40% (plutôt 40% pour les pièces de peaux, et plutôt 20% pour les pièces de structures dimensionnées en résistance pure)

- **Le magnésium** présente une densité de 1,8 qui le place comme un candidat de taille à l’allègement. Mais on le trouve peu dans l’automobile aujourd’hui (moins de 1% en masse). Il est utilisé majoritairement en injection pour former des pièces moulées de forme complexe (carters, armatures de volants, supports de planches de bord, âmes de portes et de hayons arrière, ...). L’avantage du Mg en fonderie réside entre autres dans les faibles épaisseurs de parois réalisables grâce, en particulier, à une fluidité plus importante à l’état liquide (entre 1,4mm et 2,5mm en application série). Les applications de tôles de magnésium restent limitées à quelques applications « niches ».

Cependant la filière du magnésium n’est présente en France que pour la fonderie ; la question du développement d’autres produits/filières reste à suivre.

**Les Polymères** représentent 20 à 25% de la masse du véhicule. Leurs faibles densités (les plus basses des matériaux de l’étude) associées à des process de transformation type injection leur confère un attrait accru ces 30 dernières années dans l’automobile.

Les process de transformation de type injection présentent des temps de cycles très optimisés et offrent la liberté de design ainsi que la possibilité d'intégration de fonction la plus importante parmi les procédés actuellement disponibles.

Combinées à des fibres naturelles, minérales ou organiques, les polymères peuvent étendre leurs applications à des pièces semi structurelles.

A horizon 2030, les matières plastiques représenteront 30 à 35% du véhicule.

Les familles de polymères les plus usitées dans les applications automobiles sont :

- Le polypropylène, éventuellement chargé d'une charge minérale (talc, mica...)
- Les polyuréthanes pour les mousses (sièges, planches de bord)
- Les peaux sont de nature PVC, TPU ou TPO.

Les polymères chargés ou non, sont actuellement utilisés sur de nombreuses applications intérieures (comme les planches de bord, les panneaux de portes, consoles, carters de sièges, mousse de sièges, habillages intérieurs et de coffres, tapis, tablettes...) et extérieures (boucliers, modules de boucliers, ailes....).

### ***Les élastomères (cas spécifique des pneumatiques)***

Concernant l'enveloppe pneumatique, les axes de recherche actuels et futurs n'ont de sens que si l'on conçoit un pneumatique sans sacrifier le compromis multi performance de celui-ci (comportement, usure, résistance au roulement, adhérence, bruit, confort,...).

Les points principaux, allant dans le sens de l'allègement se regroupent autour des axes suivants :

- L'optimisation de l'efficacité de la matière avec des technologies constitutives du pneumatique (optimisation des mélanges de gommes et de leurs épaisseurs, optimisation des renforts textiles et métalliques). Cette orientation d'efficacité de la matière pourrait conduire à un allègement de l'ordre de 15 à 20% à l'horizon 2030.

- L'allègement des véhicules s'accompagne d'une réduction du besoin en charge portée par les pneumatiques. La capacité de charge d'un pneumatique (Load Index) est en lien direct avec son volume d'air. Dans ce contexte, le choix dimensionnel peut être basé sur des pneumatiques de Load Index (LI) plus faibles, présentant une masse inférieure et utilisant une roue elle-même plus légère.

En augmentant encore le domaine de fonctionnement charge / pression (projet de nouvelle norme en discussion), à iso diamètre au seat et iso diamètre extérieur, la réduction de la largeur du pneumatique permet un gain de masse de l'ensemble monté de l'ordre de 8 %.

### ***Les composites***

Dans le cadre d'applications automobiles, la matrice constitutive du composite est de nature polymère, thermoplastique (polypropylène ou polyamide) ou thermodurcissable (polyester ou epoxy). Les composites à matrice thermodurcissables présentent les propriétés mécaniques les plus élevées mais ne sont pas recyclables. Associés à de la fibre de verre courte, ils sont utilisés par exemple dans des hayons, des planchers arrière.

Associé à des fibres longues de carbone, le matériau composite peut atteindre des caractéristiques proches de l'acier et présenter un potentiel d'allègement de plus de 50% (ratio  $R_m/d$  3 à 4 fois supérieur à celui de l'acier). Cependant ces fibres restent actuellement économiquement inaccessibles pour le marché automobile.

Il est à noter que certains facteurs comme l'anisotropie, la température et/ou le fluage peuvent être des facteurs limitant leur emploi sur certaines fonctions du véhicule.

Une vigilance importante est à mettre en exergue sur l'équation économique à iso prestation.

De nombreuses avancées technologiques, tant en termes de performances matériaux que de progrès dans les procédés ont permis aux composites organiques à fibres continues de remplacer certains matériaux métalliques dans différents secteurs (aéronautique, énergie). Le secteur de l'automobile contraint par des volumes importants et des bilans économiques draconiens ne permet pas encore une expansion importante de ces matériaux lorsqu'il s'agit d'applications structurelles induisant l'utilisation de fibres continues et tout particulièrement des fibres de carbone. Des progrès importants dans les process de synthèse de ces fibres laissent envisager une perspective intéressante de déploiement de ces technologies dans le futur.

### **Le verre**

Il est techniquement possible pour certains vitrages (custode, fenestron, lunette) de substituer le verre par un matériau plastique transparent polycarbonate revêtu d'un vernis, ce qui permet une diminution de la densité par 2. En revanche, cette solution reste onéreuse et l'innovation se concentre depuis quelques années sur des vitrages performants à feuilles de verres amincies notamment pour l'application pare-brise. Le gain masse obtenu peut dépasser allègrement le kg comparé aux solutions standards.

#### **➤ APPROCHE**

L'étude a consisté en une investigation la plus large possible en prenant en compte :

- Les technologies/matériaux par types de pièce pour des cadences automobiles
- La maturité actuelle mais surtout les évolutions potentielles de performance produit et/ou process envisageables à moyen terme
- Les gains de masse associés

Le tableau présenté en annexe résume cette étude en croisant un certain nombre de technologies et de fonctions véhicules, en précisant celles actuellement matures, celles non ou difficilement applicables, et les voies qui seraient à explorer (TRL insuffisant pour envisager un développement en projet et une industrialisation)

Il permet d'identifier des axes de progrès à mettre en œuvre pour renforcer la compétitivité de la filière automobile française.

### **Conclusions et orientations de l'étude par famille Matières**

#### **1. Aciers**

Une nouvelle génération d'aciers pour emboutissage à chaud rend possible la conception de pièces de structure à très grande résistance anti intrusion (nuance 2000 MPa- protection de l'habitacle passager) et à importante absorption d'énergie (nuance 1000 Mpa – grande ductilité au crash en compression ou flexion, longerons avant ou arrière, bas de pied milieu).

Toutes ces nuances pour emboutissage à chaud peuvent être utilisées sous forme monolithique ou bien sous forme de flans soudés ou patchés. Le procédé de trempe différentielle (« soft zone ») peut être également utilisé afin de créer des zones localement ductiles pour l'absorption d'énergie au sein de pièces embouties à chaud.

Parallèlement au développement de l'emboutissage à chaud, la troisième génération d'Aciers Haute résistance pour emboutissage à froid offre une combinaison intéressante entre haute résistance et formabilité. Ces produits offrent des potentiels d'allègement de 10 à 20 %.

Pour l'ensemble de ces nouvelles nuances, dites de « 3<sup>ème</sup> génération », il est indispensable d'étudier en détail les technologies + paramétries d'assemblage, et de développer en parallèle les simulations produit/process.

D'autres pistes d'études concernent des développements de revêtements pour emboutissage à chaud pour une tenue à la corrosion améliorée ou à froid pour une amélioration des fragilisations par hydrogène.

En conclusion, la combinaison judicieuse des nouvelles nuances d'aciers et technologies de mise en forme (chaud et froid) doit permettre d'atteindre des performances en crash très élevées avec un allègement important (10-20%) à un cout très compétitif (entre 0 et +3€/kg gagné).

D'un point de vue recyclabilité, à ce jour 85% à 90 % des produits en acier sont recyclés en fin de vie pour produire de nouveaux aciers (industrie auto ou autre en fonction des propriétés attendues). Avec son taux de recyclage élevé, l'acier est un matériau idéal pour faire face notamment aux challenges de l'économie circulaire.

## 2. Alliages d'Aluminium

Coté tôles et extrudés, les fournisseurs d'aluminium sont en mesure de proposer, grâce à des progrès sur la métallurgie et sur leurs procédés, des alliages dont les caractéristiques sont meilleures que celles des nuances actuellement utilisées dans les véhicules.,

La mise en œuvre de ces solutions nécessite en général l'implication d'acteurs entre les constructeurs et les fournisseurs d'aluminium, par exemple les équipementiers fournissant des pièces de structure ou des composants. Ces acteurs existent pour les produits extrudés, forgés ou moulés, mais il y a peu d'acteurs engagés dans la proposition de composants s'appuyant sur des produits plats aluminium à haute performance.

A l'image des alliages de la série 7XXX utilisés dans le cadre du programme coopératif ALLEGRIA et ayant conduit à un développement de procédé de mise forme à chaud performant, il faut poursuivre ce type de développement dans deux axes :

- L'amélioration des caractéristiques mécaniques et/ou de « processabilité » (emboutissage, sertissage, aptitude au collage, au soudage..) et/ou de tenue anticorrosion
- La diminution des coûts, des demi-produits et des procédés, pour étendre le champ des applications possibles

Coté forge et fonderie, l'augmentation des puissances spécifiques des moteurs thermiques et la recherche d'allègement via la diminution des épaisseurs de toiles pour des carters, des trains roulants, des pièces de caisse ou des bacs batterie nécessite à la fois des travaux sur l'optimisation des nuances (meilleure tenue à chaud, meilleure coulabilité...) et des procédés. La simulation de la « chaine complète » depuis l'aluminium liquide jusqu'au propriétés d'usage sur pièces, en tenant compte des dispersions possibles, des états de surface et des parachèvements et des éventuelles imperfections reste également un axe de travail à poursuivre.

Cablage alu : pour les applications câblage, le Cuivre peut être concurrencé par de l'Aluminium mais la conductivité de ce dernier oblige à augmenter les sections de passage et donc les volumes à allouer dans l'architecture du véhicule, ce qui est fortement limitant à ce jour.

Le recyclage de l'aluminium est possible techniquement et vertueux sur le plan environnemental. Si les chutes d'emboutissage ou les rebuts de fonderie sont aujourd'hui régulièrement valorisés, le recyclage en fin de vie doit être développé pour la carrosserie. Il est nécessaire de développer les filières industrielles permettant de récupérer l'aluminium des véhicules en fin de vie (non seulement le bloc moteur, mais également les ouvrants à l'avenir), et de le transformer en un mix dont la qualité serait suffisante pour être valorisable dans les fours de recyclage, et si possible réutilisables dans la filière automobile.

### 3. Alliages de Magnésium

Comme signalé dans l'état des lieux, des fonctions utilisant le magnésium existent ; elles sont issues de la filière « fonderie » et sont limitées à un nombre relativement restreint de pièces.

Potentiellement, le développement peut se faire sur le périmètre des pièces en aluminium de fonderie ou des pièces de tôleries acier complexes et non fortement sollicitées en crash.

Coté tôles, les coûts matière et procédés de mise en forme (emboutissage à chaud) freinent les vellétés de développement, du moins pour des applications hors « petites cadences ». Les fournisseurs potentiels de tôles sont également peu nombreux.

Cependant la filière du magnésium est peu présente en France et la question de la pertinence de son développement reste soumise à un modèle économique viable.

### 4. Polymères et composites

Les polymères et composites sont les matériaux présentant le plus haut potentiel de gain masse.

Concernant les polymères chargés ou non, principalement transformés par injection ou compression, les principaux axes de développement/déploiement envisagés sont :

- Le déploiement de l'utilisation du moussage physique ou chimique par injection des polymères. Cette technologie utilisée chez certains tier1 et constructeurs pourrait être déployées plus largement.
- Utilisation de nouveaux types de charges et renforts
  - Fibres naturelles. Différents acteurs majeurs de l'automobile ont développé des matériaux renforcés de fibres naturelles présentant des gains masse atteignant 35%
  - Fibres de carbone à coût réduit. Un projet financé – FORCE, réunissant des acteurs majeurs de l'automobile- vise activement à réduire de manière draconienne de coût de production de la fibre de carbone
  - Billes de verre creuses
  - ....
- Un développement combiné des process & matériaux & architecture optimisés sera indiscutablement la solution permettant d'atteindre les gains masses les plus importants

Concernant les composites fibres longues ou continues, certains verrous technologiques restent cependant à lever afin de déployer largement leur utilisation et tout particulièrement pour des applications structurelles et ou de carrosserie :

- la stabilisation des propriétés mécaniques sur une large plage de température correspondant à la plage d'utilisation automobile -30° à 100°C
- le développement des filières de recyclage adaptées et identification des filières de réutilisation
- le développement des technologies d'assemblage multi matériaux (incluant l'assemblage à la caisse) – les composites actuellement disponibles n'étant pas compatibles à la soudure
- le développement de nouveaux composites compatibles avec la catharèse
- le développement de composites permettant de substituer les métaux à des prix compétitifs
  - En termes de cadence de production
  - Mais également en termes de coût matière et tout particulièrement une optimisation du coût de la fibre de carbone est nécessaire.

Des réflexions sur l'intégration de fonctions et sur les problématiques de gestion de l'aspect sont à mener (à combiner avec d'autres procédés => hybridation de process)

Des développements sont en cours ou à construire (notamment sur l'aspect recyclage) pour résoudre l'ensemble des verrous :

- sur les procédés de thermoestampage/surmoulage, le RTM (resin transfer molding)
- sur les procédés combinant composite à fibres continues, surmoulage et pièces métalliques

Ces matériaux présentent le plus haut potentiel de gain de masse pouvant atteindre 30% via les composites fibres de verre et 50% via l'utilisation de composites fibres de carbone.

## 5. Fabrication additive

La fabrication additive, de par la possibilité de réaliser des formes complexes, d'intégrer des fonctions ou de réaliser plusieurs pièces en une, constitue une voie prometteuse pour l'automobile.

Un autre intérêt évident est l'absence d'outillage spécifique, avantage déjà largement utilisé pour la réalisation de pièces prototypes ou maquettes tant en matériaux polymères que métalliques. Enfin les logiciels d'optimisation topologique actuellement disponibles doivent permettre de tirer profit des possibilités des technologies en terme de géométries/formes, pour envisager des gains en masse important.

Les technologies, et les machines de fabrications additives ont fait l'objet de développement très importants ces 5 dernières années.

De fortes contraintes et verrous sont cependant à lever afin de déployer cette technologie pour des applications « série » (au-delà de séries limitées à quelques centaines de pièces) :

- La productivité des machines (temps cycle et rendement opérationnel)
- L'augmentation des tailles de pièces imprimables
- La qualité d'aspect des pièces imprimées
- L'optimisation des parachèvements indispensables (métaux)
- La reproductibilité des caractéristiques obtenues
- L'impression de pièces de couleur (polymères)
- L'impression de pièces multi matières industrielles

Concernant les matériaux polymères, la disponibilité des matières est extrêmement réduite (se limitant à quelques familles type PA, TPU, epoxy) et tout particulièrement pour les technologies qualifiées d'industrielles ou préindustrielles permettant les cadences les plus élevées.

D'autre part, les prix très élevés de ces polymères bloquent actuellement la technologie sur le marché automobile

Coté fabrication additive « métal », les principales familles sont actuellement disponibles, mais il reste néanmoins vrai que des développements de nuances spécifiques seront indispensables pour des utilisations « grande série », et en particulier les procédés de fabrication de poudres métalliques sont à travailler pour en optimiser les coûts

Plus globalement la compétitivité économique de cette technologie freine très largement son expansion. Des travaux sont donc à mener afin de converger vers des bilans économiques viables et compatibles avec les enjeux de l'industrie automobile.

### ➤ CONCLUSION

Beaucoup d'initiatives sont aujourd'hui en cours pour optimiser les technologies existantes en s'appuyant sur les réseaux des centres techniques existants (ex : IRT) et via des projets collaboratifs pour faire aboutir les solutions matériaux et procédés évoquées précédemment : aciers 3<sup>e</sup> génération et Press Hardened Steel, alliages aluminium formables à tiède et à froid, amélioration des procédés RTM ou d'hybridation TP pour aller chercher de nouvelles applications cibles permettant la baisse des coûts (par l'intégration de fonction ou la création de « modules »).

Le travail en profondeur sur les nouvelles technologies doit les rendre plus compétitives pour des applications grandes séries. Après une première phase de mise en place, qui s'est traduite par des investissements importants pour le démarrage et la structuration des équipes mixtes autour de ces pôles, il est important de poursuivre dans cette voie, d'y intégrer plus de PME, TPE, startups ... afin de pérenniser la dynamique ainsi créée.

Les verrous résiduels à l'intégration de ces nouveaux matériaux / technologies seront de maîtriser les assemblages multimatériaux dans les process des constructeurs ou des équipementiers, à moindre coût et avec une flexibilité maximale à la diversité des lignes de production actuelles.

La filière numérique complète de modélisation et simulation de ces procédés, des caractéristiques obtenues sur pièces et du comportement en service se doit d'être construite en même temps que le matériau et ses procédés de mise en forme et d'assemblage.

Concernant la filière numérique des matériaux métalliques, de ses procédés et assemblages à iso famille, elle est relativement mature et a atteint une prédictivité suffisante au niveau académique pour être utilisée comme outil de conception. Il est maintenant prioritaire de développer les interactions avec les autres filières matériaux si l'on veut notamment pour répondre efficacement aux enjeux d'allègement (notamment d'assemblage multimatériaux).

Plus récemment développée, la filière numérique des composites, qui présentent des comportements visco-élasto-plastiques plus complexes que ceux des métaux, est beaucoup moins bien maîtrisée. Le développement de protocoles spécifiques et complexes, nécessitant des investissements importants sont nécessaires afin de mieux appréhender le comportement de ces matériaux hybrides, souvent utilisés en multicouches, ce qui complexifie d'autant plus le problème

D'autre part, nous devons prendre en compte systématiquement les contraintes et enjeux environnementaux et sociétaux associés aux politiques françaises et européennes sur le climat, et garder dans chacune des voies de développement citées un regard sur la recyclabilité de nos matériaux et de l'utilisation de matières plus « vertes » (naturelles et/ou recyclées)

- Recyclage / recyclabilité des nouveaux matériaux pour répondre aux exigences légales
- Utilisation de matériaux recyclés dans les pièces auto polymères et composites:
  - Nécessité d'être travaillées pour que les matières intégrant plus de matériaux recyclés ne dégradent pas les profils techniques
  - Ceci présuppose que les capacités de recyclage de ces matières existent chez les recycleurs afin de mettre sur le marché des matières compétitives par rapport aux matériaux vierges
- Utilisation de matériaux recyclés dans les pièces alu
  - La filière de recyclage doit s'améliorer sur le tri et se structurer pour mettre à disposition des matériaux permettant une réutilisation dans les alus de carrosserie
- Utilisation de matériaux recyclés dans les pièces acier :
  - Avec son taux de recyclage élevé, l'acier est un matériau idéal pour faire face notamment aux challenges de l'économie circulaire.
  - D'un point de vue recyclabilité, à ce jour 85% à 90 % des produits en acier sont recyclés en fin de vie pour produire de nouveaux aciers (industrie auto ou autre en fonction des propriétés attendues). Les propriétés de séparation magnétiques rendent cette opération particulièrement efficace.

Chaque développement de nouveau matériaux ou technologie pour les solutions d'allègement cités dans ce document devra démontrer par une analyse de cycle de vie l'amélioration des indicateurs environnementaux (Global Warming, Photochemical Oxydation, Eutrophication, Abiotic Depletion, Acidification)

A partir de ces éléments, la PFA aura un rôle à jouer dans la structuration de la filière matériaux (universités, centres de recherche, fournisseurs de machines, outillages, fournisseurs de rang n et constructeurs), à partir d'une cartographie à réaliser en 2020, pour développer des produits respectant les cahiers des charges technico-économiques cibles.