L'AUTOMOBILE 2.0 : *photonics inside*

Jacques COCHARD, Clémentine BOUYÉ
TEMATYS, Exploration of Photonics Markets
jcochard@tematys.com, cbouye@tematys.com

Les industriels de la photonique recherchent régulièrement de nouveaux champs d'application au-delà des marchés les plus établis (défense, science, télécommunication) et c'est sur ces nouveaux marchés que s'entretient la croissance des marchés photoniques. L'introduction de lasers de puissance pour le travail des métaux et verres a été, il y a quinze ans, un premier pas vers l'industrie automobile, mais la photonique restait alors majoritairement en dehors du véhicule lui-même (à l'exception notable des optiques de phares).

Pourtant, depuis 20 ans, la photonique a vu une double évolution, dans ses coûts de production d'une part, et dans ses coûts d'entretien et de maintenance d'autre part. D'une technologie coûteuse et requérant des compétences d'experts (astronomes, militaires), elle est aujourd'hui capable de produire à des volumes de (dizaines de) millions de pièces des composants extrêmement fiables et peu coûteux. Ces baisses de coût dans les différents produits photoniques et l'apparition de besoins nouveaux créent aujourd'hui des opportunités pour une intégration sur le véhicule lui-même. Comme on va le voir, il s'agit principalement de circonscrire au plus vite et avec grande précision l'environnement du véhicule et de transmettre cette information au conducteur de la manière la plus naturelle possible. Des technologies radar ou sonar permettent aujourd'hui une première analyse de l'environnement proche mais l'élargissement du périmètre sous contrôle requiert de nouvelles technologies.

Concrètement, quels sont les nouveaux produits attendus et quel est le niveau de diffusion actuel de ces produits ?

L'automobile, un marché en forte croissance au niveau mondial

Les informations nationales sur la filière reflètent le plus souvent un environnement difficile. Pourtant, au niveau mondial, ce marché automobile reste en croissance soutenue. Après un reflux de la production autour de 64 millions de véhicules légers pendant la crise financière et économique depuis 2008, la production est remontée en 2013 à plus de 83 millions de véhicules et la barre des 100 millions de véhicules est attendue par la plupart des observateurs autour de l'année 2019.

La croissance est principalement drainée par l'augmentation du pouvoir d'achat dans les pays émergents. On voit qu'au-dessus de 10 000 $ de parité en pouvoir d'achat, le taux d'équipement des ménages en automobile augmente très significativement pour se stabiliser autour de 500 à 600 véhicules pour 1000 habitants (taux atteint dans la plupart des pays OCDE). Des pays comme la Chine, la Malaisie, la Turquie sont autour de ce point d'inflexion qui se traduit par une arrivée massive de nouveaux consommateurs.

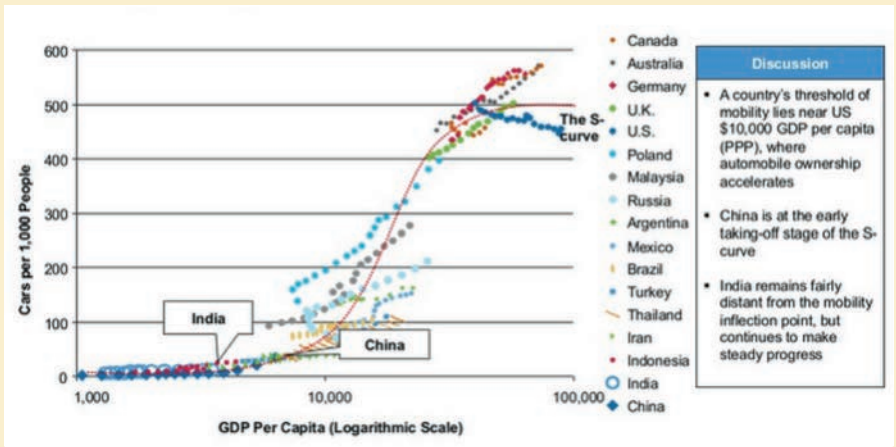


Figure 1. Parc automobile par pays. (Source : China Auto YearBook, 2014)

http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168014

Ces nouveaux consommateurs n'ont pas la même perception du véhicule que celle qui domine en Europe, et l'envisagent immédiatement dans sa version connectée (aux autres véhicules, aux infrastructures, à son domicile...). Ces nouveaux usages sont particulièrement intéressants pour la photonique dans deux de ses domaines de prédilection (la projection d'information et la mesure de l'environnement).

Where?	In the Car					Car Manufacturing	
Types of Systems	Sensing and imaging systems	Communication systems	Screens, Displays, Projectors	Systems based on LED, OLED and other sources	Photovoltaic systems	Laser systems	Sensing and imaging systems
Photonic Functions	Acquiring information	Transmitting information	Delivering information	Light providing	Energy providing	Processing	Acquiring information
Products examples	- Imaging: CMOS cameras, IR cameras ... - Sensing: Various types of sensors (see figure below) - Proximity and gesture control	Optical communication systems in cars: - MOST networks, - FlexRay ...	Displays for: - Entertainment, - Driver information, - GPS information, - Others ...	Lighting systems (inside & outside the car) based on: - LED, - OLED, - Lasers ...	Photovoltaic devices for energy providing in cars.	Laser systems for: - Welding, - Cutting, - Drilling, - Marking ...	Non Destructive Testing & QA/QC: - Machine vision, - Reflectometry, - Thermography - Profilometry - Shearography ...

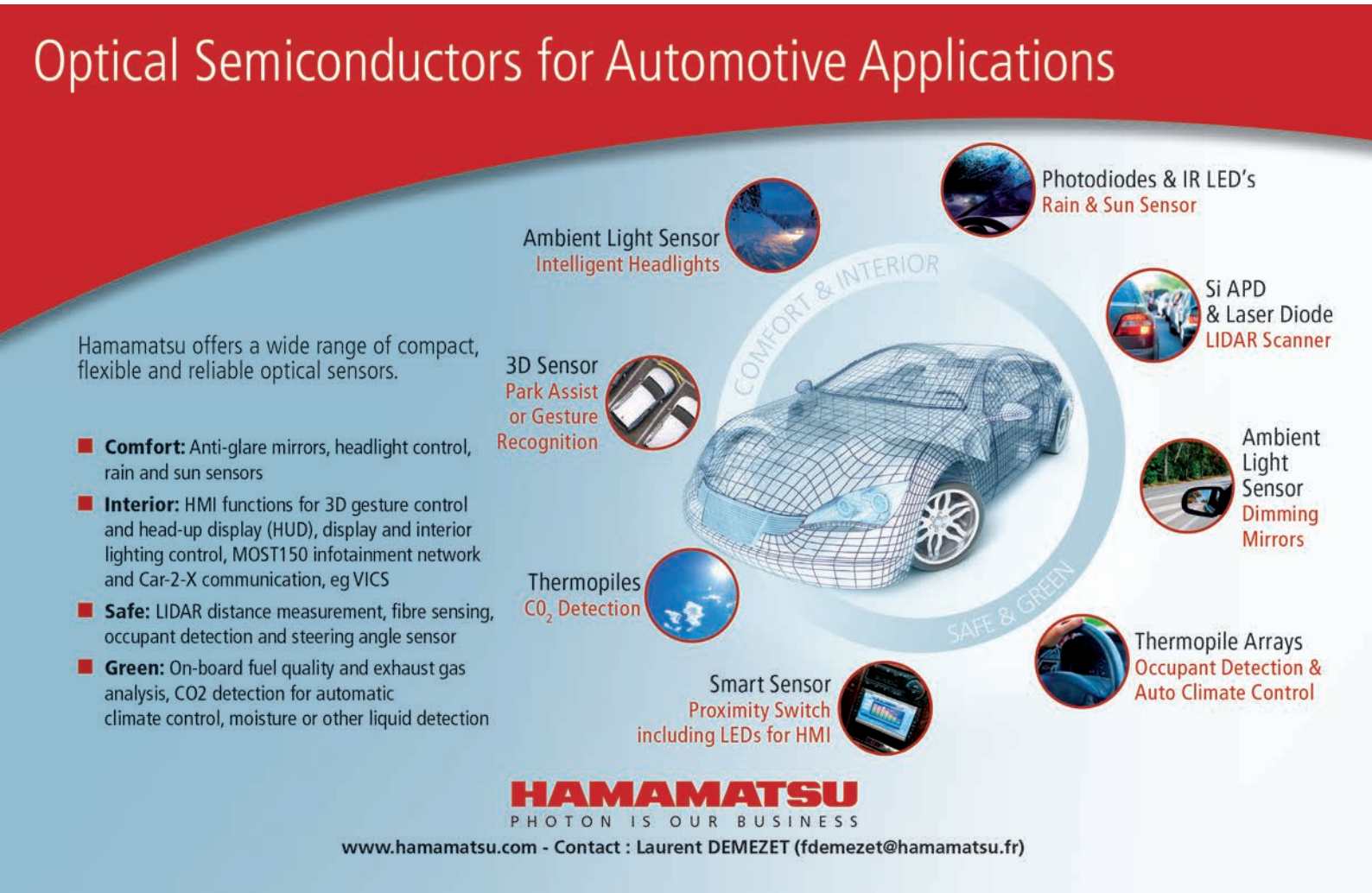
Tableau 1. Composants photoniques par fonctions. (Source : Tematys, 2015)

Des véhicules assemblés au plus près des marchés

Cette croissance au niveau de la consommation se répercute toutefois au niveau de la production et de l'assemblage des véhicules par un profond transfert vers les pays asiatiques (de 8 % de la production en 2000 à 36 % en 2014 – voir *figure 2*), sans toutefois réduire notablement la production européenne, stable autour de 20 millions de véhicules annuels depuis 15 ans.

Au sein de l'Union Européenne, l'Allemagne représente aujourd'hui à elle seule 20 % des sites d'assemblages (41 sur 208) et 30 % de la production européenne de véhicules motorisés. La France a produit en 2014 1,8 millions de véhicules sur 33 sites de production. Ces chiffres donnent d'ailleurs de bons ordres de grandeurs des différents marchés accessibles pour la photonique.

- Équipement de véhicules légers : 80 à 100 millions de véhicules.
- Équipement de voitures haut de gamme : 10 % de la production mondiale, soit 8 à 10 millions de véhicules, avec comme principaux constructeurs Mercedes, Audi, BMW.
- Équipement de production : environ un millier de sites d'assemblages (dont 20 % dans les 28 pays de l'Union Européenne).
- Équipement de contrôle (éclairages, crash test) : une centaine de sites de contrôle et de R&D.



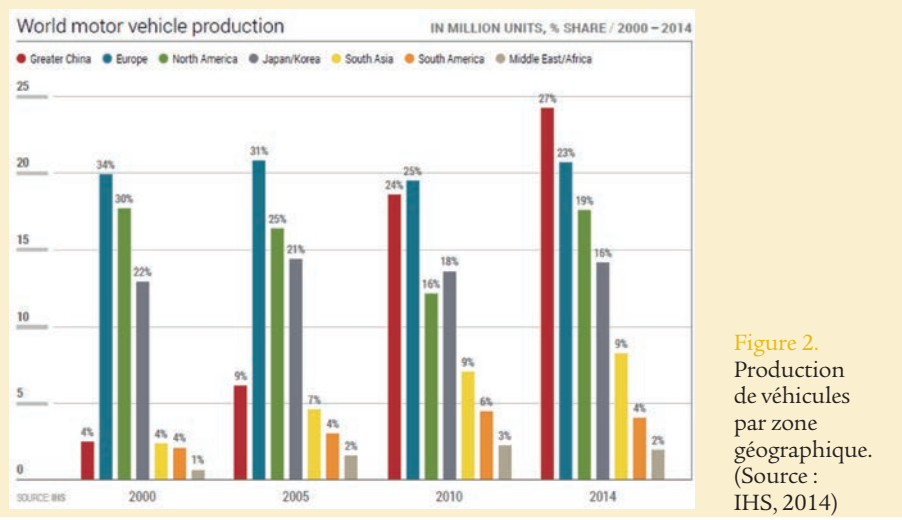


Figure 2. Production de véhicules par zone géographique. (Source : IHS, 2014)

Les technologies et produits photoniques en forte croissance

Le marché des composants photoniques dans le véhicule (à savoir les cinq premières catégories énoncées dans le tableau 1) est évalué **de 16,7 b$ en 2013 à 26,7 b$ en 2018**, soit une croissance moyenne de 9,8 % dans les 5 prochaines années. Cette croissance est inégalement répartie sur les différents segments et est principalement centrée sur les technologies d'assistance au conducteur (qui vont évoluer vers des solutions de pilotage automatique du véhicule). La croissance attendue sur ces fonctions ADAS (*advanced driver assistance system*) est de 21,4 %. Cette croissance est à mettre en regard de la croissance du marché de l'automobile (3,2 %) et de la croissance des équipementiers de rang 1 (3,0 %) sur la même période (source : cabinet Roland Berger, 2013).

L'éclairage : un marché en plein renouvellement

L'optique a fait son entrée très tôt dans le secteur automobile via le domaine des éclairages. Il s'agissait alors de distribuer de la manière la plus performante possible des photons produits par des lampes halogène puis xénon, puis par des éclairages à diodes électroluminescentes. Ce segment représente encore le segment majoritaire (plus de 62 % de la valeur en 2018) avec des renouvellements de plus en plus rapides des technologies, comme on peut le voir sur la *figure 3*.

L'arrivée simultanée de nouvelles technologies de sources de lumières (LED puis éventuellement lasers) plus économes en énergie, de technologies de projection, de traitement numérique des images et d'intégration poussée dans le véhicule font migrer les systèmes d'éclairages (*advanced frontlighting system*) vers des produits à très haute valeur ajoutée (éviter l'éblouissement des voitures rencontrées, à moyen-terme dialoguer par projection lumineuse avec les piétons).

	INTERIOR				
	IMAGING	SENSING	LIGHTING	COMMUNICATION	DISPLAYS
COMFORT	Cameras for rear passengers observation	Spectroscopy for air quality monitoring IR active systems for gesture recognition	Halogen lamps, Neon lamps, LEDs, Optical fibers OLEDs		LED/LCD for dashboard
ENTER-TAINMENT			Diffractive optics*	MOST (Media Oriented Systems Transport) for communication between media in the car Plastic Optical Fiber	LCD, electrochromic displays, ... for passengers

Tableau 2. Composants photoniques pour l'habitacle intérieur. (Source : Tematys, 2015)

L'équipement intérieur du véhicule dominé par l'Asie

La croissance s'est faite au début des années 2000, dans la suite des développements télécoms réseaux, sur les systèmes de communication interne du véhicule (*transceivers* et transmission par fibre plastique) et sur des composants à bas coût (photodiodes, LEDs pour éclairage interne) pour des organes non critiques du véhicule. La production de ces composants s'est principalement développée en Asie (Taiwan, Japon, Corée puis Chine).

Assistance à la conduite : un fort potentiel de croissance

Mais la zone de croissance la plus prometteuse tient aujourd'hui dans l'assistance au pilotage, dont le déploiement est prévu à la fois à grande échelle et à court terme. En 2014–2015, six des plus importants équipementiers (Bosch, Magna, Continental, Denso, Hyunday, ZF) ont lancé d'importants programmes de développement et d'intégration. Chez Bosch (n° 1 mondial des équipementiers), les ventes de caméras et de radars ont doublé entre 2013 et 2014 et encore presque doublé dans les 12 derniers mois. Au niveau des constructeurs, Toyota a prévu d'équiper l'ensemble de sa gamme de systèmes ADAS dès la fin de cette année 2016 et Renault prévoit de nombreux modèles équipés d'ici 3 ans. On voit sur l'étude réalisée par Cap Gemini en 2015 que, au-delà de l'assistance, c'est la conduite autonome qui est très attendue sur les nouveaux pays consommateurs.

Les composants actuels, caméras et radars, rencontreront leurs limites par exemple pour autoriser le véhicule à changer automatiquement de son couloir. Dans une logique de

http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168014

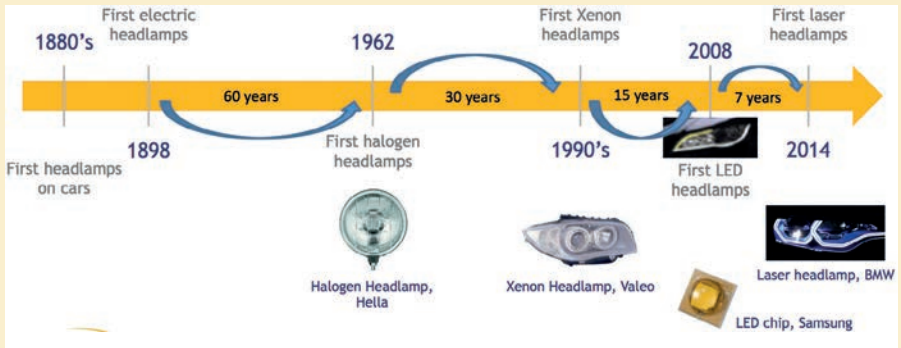


Figure 3. Évolution des éclairages automobiles. (Source : Tematys, 2015)

conduite automatisée sur des espaces simples à modéliser (périphériques urbains, autoroutes), les LIDARs seront un composant critique pour obtenir une image numérique à 360° de l'environnement. Valeo avec son partenaire IBEO, Bosch en interne avec un développement de plus de 10 capteurs (caméras, radars, lidars) élargissent ainsi la voie ouverte par Velodyne sur les LIDARs embarqués et Vitronic sur les LIDARs d'infrastructure. Entre les caméras, les nouveaux capteurs, des modes de projection innovants, c'est un marché de plus de 8 b€ qui est attendu dans ce domaine d'ici 4 ans.

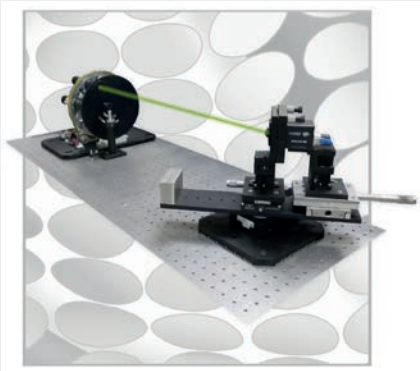
La fiabilité de l'ensemble de ces composants dans des environnements complexes (brouillard, pluie) pose encore quelques difficultés techniques ainsi que le coût de ces différents composants (la deuxième génération de Velodyne était facturée 30 000 $), mais des solutions sont attendues en dessous de 1000 € d'ici quelques mois – pour des performances suffisantes.

En marge des composants, la croissance principale se fera principalement dans le logiciel d'analyse des données. La multiplication des capteurs générera un besoin d'organiser et d'analyser en temps réel ces données, que ce soit dans

Objectifs « fish-eye » dans les systèmes d'aide à la conduite

En automobile, les objectifs « fish-eye » à grand angle de vue sont utilisés dans les systèmes d'aide à la conduite. Afin d'offrir une identification fiable dans des conditions environnementales variables et complexes, leur contraste doit être uniforme dans tout le champ de vue et sur tout le spectre visible. Leur forte distorsion intrinsèque doit en outre être calibrée pour guider les algorithmes d'identification.

Caractériser optiquement ces objectifs est indispensable pour sélectionner le meilleur à intégrer et vérifier les spécifications fournisseur. La mesure seule de la FTM n'est pas suffisante car elle permet difficilement d'évaluer l'impact concret de l'objectif sur la qualité des images. La mesure de front d'onde répond au besoin des intégrateurs de ces optiques car elle donne accès directement à toutes les composantes de la lumière transmise par l'optique. En partenariat avec Renault, Phasics a développé un banc automatisé de contrôle polychromatique donnant, en une seule acquisition par angle de champ, les valeurs de FTM, d'écart aberrant et de distorsion dans la pupille de sortie des optiques, ce qui permet leur benchmark rigoureux.



◁ Banc mis au point par Phasics.

http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168014

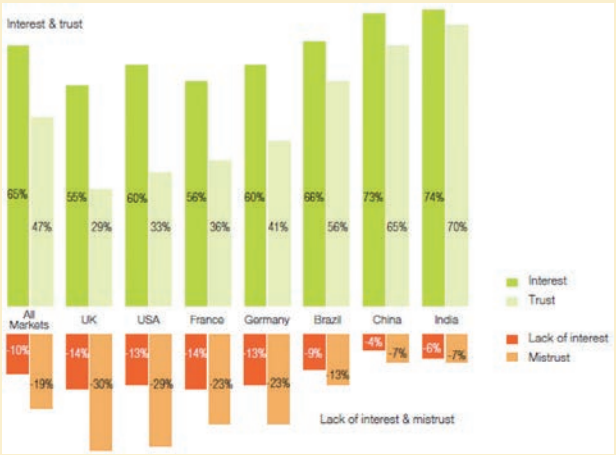


Figure 4. Intérêt et confiance dans les voitures autonomes par pays, 2015. (Source : Cap Gemini)

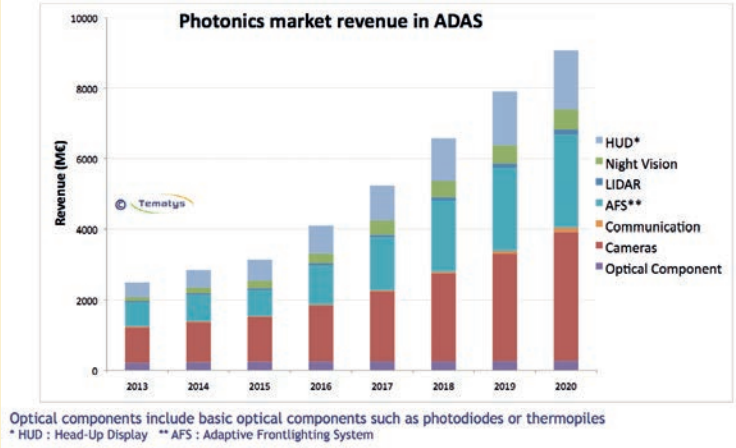


Figure 5. Marché des Composants photoniques pour les fonctions ADAS (Source : Tematys, 2015)

le domaine de la sécurité ou du contrôle de la vigilance du conducteur. Il s'agit d'opportunités intéressantes pour des nouveaux entrants dans le domaine automobile. MobilEye en Israël collabore déjà avec la plupart des équipementiers de rang 1 pour livrer un diagnostic de sécurité. Des sociétés françaises (Innov plus, Chronocam) se positionnent également sur des segments spécifiques (analyse de la vigilance du conducteur).

Quels risques et quels écueils éviter pour l'industrie photonique ?

Au niveau de la maîtrise de l'environnement en 3 dimensions à grande distance, la photonique semble encore être le seul moyen de fournir l'image adéquate (via les caméras visible et IR, et les LIDARs) et les modalités radars et ultrasons devraient simplement cohabiter avec les méthodes photoniques. Les premiers marchés (gammes premium et luxe) représentent 10 à 15 millions de véhicules à équiper, les 70 millions suivants seront liés à d'importantes baisses de coûts (ce que les fabricants de caméras visibles CMOS sont déjà en train de réaliser).

L'actualité récente sur les mesures d'émission polluantes et l'impact écologique dans les nouveaux pays consommateurs (Chine, Malaisie) vont également mobiliser des ressources pour de la détection sur le véhicule lui-même des polluants gaz et particules du véhicule et probablement dans le véhicule, l'air intérieur de l'habitacle apparaissant particulièrement pollué. C'est tout un ensemble de composants dédiés à la spectroscopie qui peut s'ouvrir de nouveaux marchés.

Mais ces marchés à forte croissance n'ont pas retenu que l'attention des industriels de la photonique. Dans le domaine précédent, des solutions électrochimiques très bas coût se développent. Dans le domaine de la communication avec les véhicules ou l'infrastructure, le WiFi offre une alternative intéressante au Li-Fi avec des standards parfaitement bien élaborés, de nombreuses compétences disponibles, une capacité à répartir les coûts de développement sur de vastes champs applicatifs et in fine à supporter des baisses de coûts qui sont inhérentes au marché des composants automobiles. Ce type de compétition entre ethernet et les transceivers optiques MOST sur l'architecture interne du véhicule a vu la confrontation tourner à l'avantage de l'industrie la plus standardisée, le format MOST n'ayant pas conclu les percées espérées dans d'autres marchés applicatifs.

Si ces nouvelles technologies photoniques peuvent bénéficier dans l'environnement automobile de marchés de volume à moyen terme, elles doivent toutefois diffuser sur d'autres applications de volume pour regrouper des industriels de poids dans la mise au point de standard. Enfin, rappelons que la qualité de l'information acquise n'est rien si on ne peut l'exploiter et la valoriser. Le rapprochement des industriels de la photonique avec ceux des technologies de l'information est ici un point crucial pour le développement à moyen terme de la photonique dans le véhicule.

	ADAS				
	IMAGING & SENSING INSIDE	IMAGING & SENSING OUTSIDE	LIGHTING	COMMUNICATION	DISPLAYS
SAFETY	Thermopiles for detection of passengers presence Cameras for driver drowsiness monitoring	Photodiodes, IR sources for rain detection, luminosity monitoring, ... Backup camera LIDAR and cameras for collision avoidance, traffic sign recognition Active and passive IR systems for night vision and pedestrian protection	Adaptive frontlighting systems	Optical communication (VLC, ...) for V2V and V2I communication	Head-up displays (HUD) (holography, projectors, augmented reality)

Tableau 3. Composants photoniques pour les fonctions ADAS.

http://dx.doi.org/10.1051/photon/20168014