

Nouvelles technologies de micro-affichage pour les lunettes connectées

Les casques de réalité virtuelle (VR), de réalité augmentée (AR) ou de réalité mixte (MR) et les lunettes intelligentes ont fait l'objet de nombreuses attentes au cours de la dernière décennie. Cependant, malgré leur potentiel, ces appareils n'ont pas été largement adoptés par les consommateurs, en partie à cause du manque de cas d'utilisation universels, ainsi que de problèmes de confort. Mais ces casques et lunettes ont connu du succès sur les marchés des entreprises, de l'industrie et de la défense, où ils répondent à des cas d'utilisation spécialisés et à des applications de niche. Les développements technologiques – dont beaucoup sont rendus possibles par l'optique et la photonique – pourraient contribuer à combler ce fossé.



<https://doi.org/10.1051/photon/202412723>

Bernard KRESS*

Président de SPIE 2023 et directeur XR Hardware chez Google

* bernard.kress@gmail.com

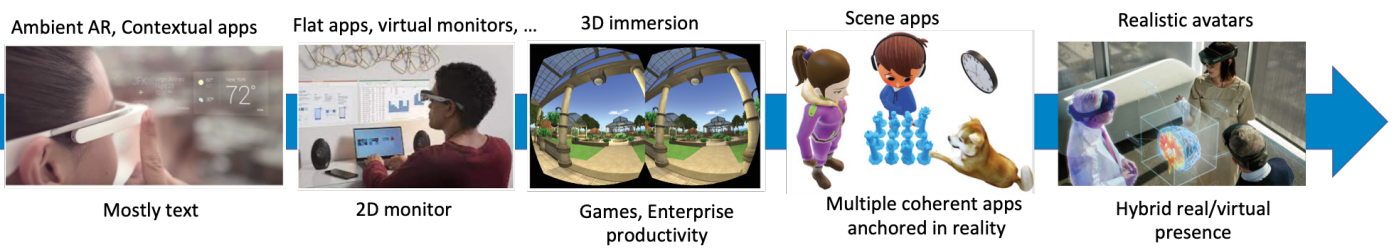
Loptique et la photonique sont au cœur de tous les systèmes AR, VR et MR, servant d'éléments de base pour les sous-systèmes d'affichage, d'imagerie et de capteurs. L'ensemble du sous-système d'affichage (Display Sub Assembly ou DSA), l'ensemble du sous-système d'imagerie (Imaging sub Assembly ou ISA) et l'ensemble du sous-système de capteur (Sensing Sub Assembly ou SSA) sont intimement liés entre eux et calibrés de manière croisée pour offrir la meilleure expérience immersive à l'utilisateur. Alors que les premiers casques AR utilisaient des composants de plate-forme existants, il est désormais nécessaire de développer des éléments technologiques spécifiques pour chacun. Dans cet article, nous nous concentrerons sur le sous-système d'affichage. Le DSA comprend généralement trois parties : le moteur d'affichage dans lequel l'image est générée ; le combineur optique, qui combine l'affichage et la scène transparente ; et la pile transparente qui comprend toutes les optiques supplémentaires, les verres de prescription de vision, les visières de protection ainsi que les capteurs (suivi oculaire et pupillaire, reconnaissance de l'iris, suivi des expressions du visage, détection des gestes) ainsi que les technologies de gradation de transparence (globales ou pixellisées).

Cas d'utilisations des diverses architectures de systèmes AR portables

Systèmes d'affichage

Les systèmes d'affichage conventionnels pour les casques VR utilisent aujourd'hui des panneaux LCD ou AMOLED, tandis que les casques AR et les lunettes intelligentes utilisent des panneaux à micro-affichage comme LCoS (Liquid Crystal on Silicon), DLP (Digital Light Processing), micro-OLED et, plus récemment, micro-LED. Les systèmes de scanner à faisceau laser MEMS (Laser Beam Scanning ou LBS), initialement développés pour les applications de télécommunications, ont été largement utilisés dans les lunettes intelligentes et les casques MR. Cependant, les systèmes LBS ●●●

	Lunettes audio	Lunettes monoculaire	Lunettes binoculaires	Casque AR	Transparence optique	Transparence vidéo
Poids	<30 g	<45 g	<75 g	<150 g	<400 g	<600 g
Forme	Lunettes connectées	Lunettes connectées	Lunettes connectées	Grandes lunettes	Casque OST	Casque VST
Puissance requise	<1/2W	<1W	<1.5W	<2.5W	<6W	<8W
Immersion	Audio	<20 deg de champ monoculaire	20-30 deg de champ Binoculaire	30-50 deg de champ Binoculaire	>50-70 deg de champ Binoculaire	>90 deg de champ
Ancrage du display	Pas de display, Ancrage audio	Ancrage tete ou corps	Ancrage externe	Ancrage externe	Occlusions, Ancrage externe	All of the above
Senseurs	Camera, audio, IMU,...	+ , Wink, ...	+ 3 DOF HeT	+ 6 DOF HeT, Gesture sensing,	+ Face tracking, spatial mapping	All of the above
Cas d'usage	Apps audio	+ Display contextuel	+ Flat apps	+ 3D apps	+ Scene apps, holoportation	+ realistic avatars
Marché	Consomateur		Professionnel		Entreprise	
Exemples produits	Ray Ban stories, Bose, Echo frames	Google Glass, Tooz smart glasses,...	Vuzix Blade, Digilens Crystal 30,...	nReal light, Lenovo A3 ThinkReality, ,...	Magic Leap 2, Hololens 2,	Lynx VR, Oculus Quest Pro, Apple vision Pro...



sont confrontés à des défis lorsqu'ils sont intégrés à des guides d'ondes diffractifs en raison de problèmes de cohérence temporelle, tels que l'uniformité des couleurs (liées aux multiples interférences dans le guide) et la petite taille de la pupille de sortie, ainsi que des complexités découlant de la commande de l'électronique et de l'espace requis par les diverses puces à mesure que le système de numérisation devient plus complexe. Pour les systèmes AR compacts, les panneaux micro-LED pourront offrir bientôt des avantages incontestables car ils sont émissifs, ne nécessitent aucun système d'éclairage et peuvent fournir les images les plus lumineuses (> 1 million de nits au niveau du panneau). Cependant, aujourd'hui, la mise en œuvre d'un système d'affichage micro-LED RVB complet nécessite

Figure 1. Cas d'usage de divers produits AR et VR, et systèmes nécessaires pour leur implementation.

l'alignement de trois panneaux monochromes R, V et B sur un X-cube miniature, ce qui présente des défis importants pour un système compact et des prix abordables pour le public. Les panneaux intégrés R,V et B en microLED ne sont toujours pas disponibles sur le marché, malgré des investissements et un développement considérables depuis plus d'une décennie. La sortie de lumière polarisée des panneaux d'affichage est souhaitable, en particulier lorsque le combineur est plus efficace pour une polarisation que pour l'autre, comme on le voit

Technologies d'affichage

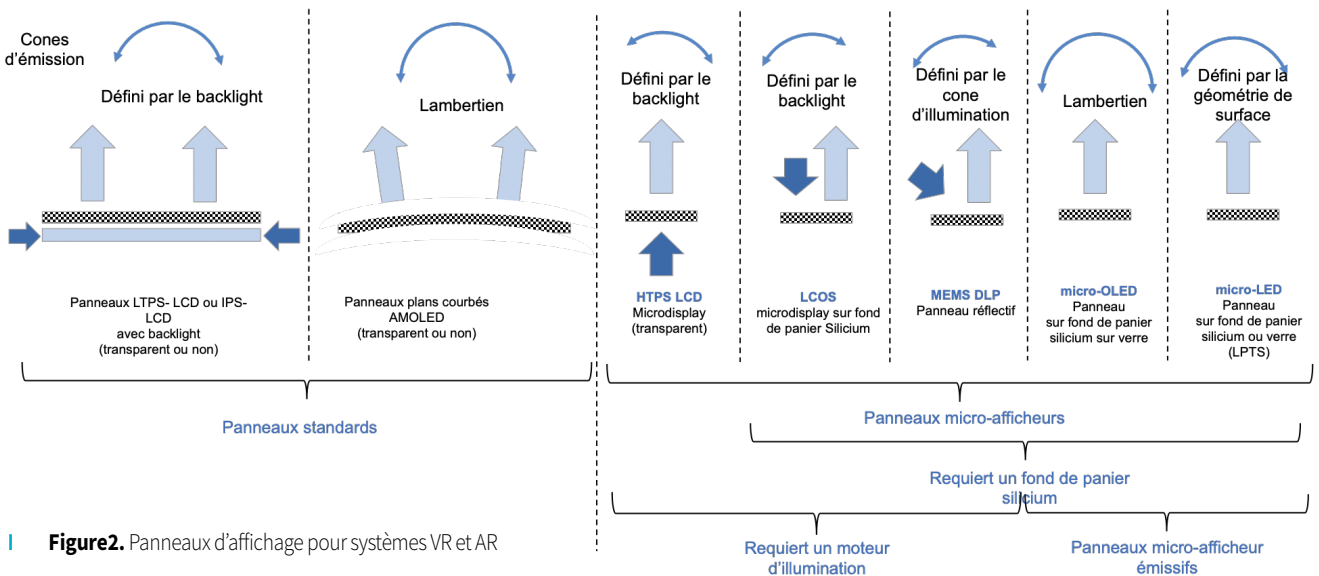
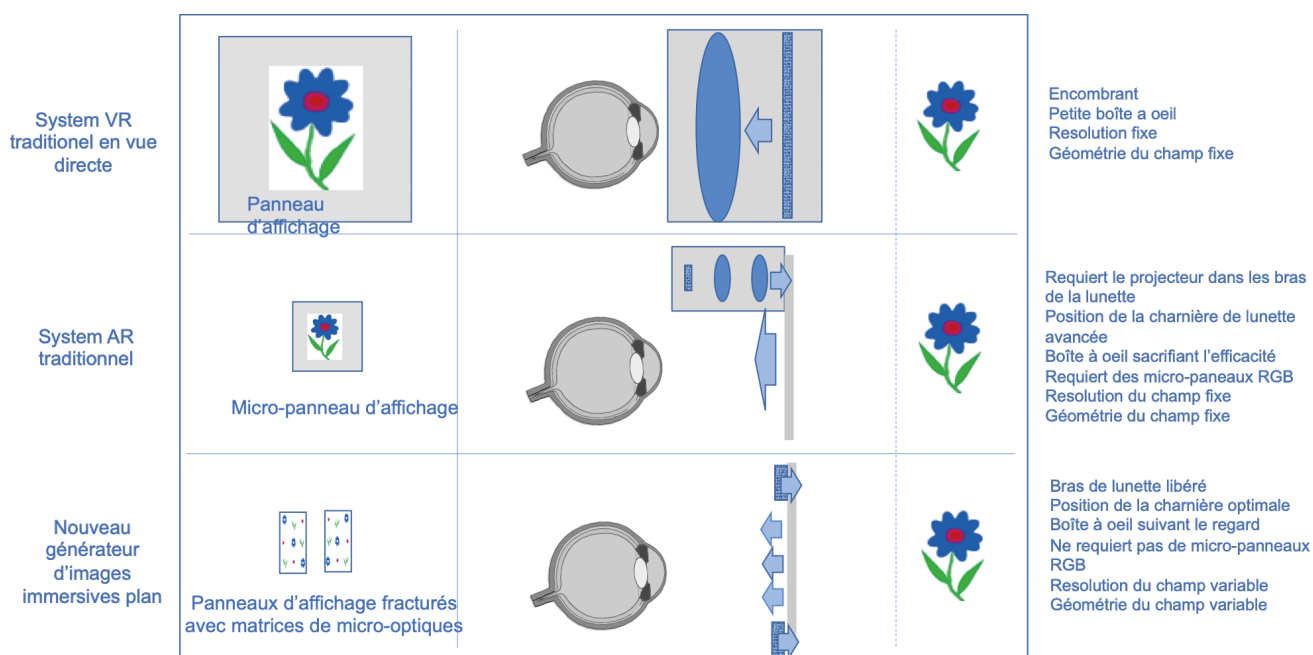


Figure 2. Panneaux d'affichage pour systèmes VR et AR



avec les guides d'ondes holographiques ou les guides d'ondes à réseau de relief de surface (Surface Relief Gratings, ou SRGs). Les guides d'ondes géométriques réfléchissants (de type Lumus en verre ou LetinAR en plastique), en revanche, offrent une efficacité similaire pour les deux polarisations, ce qui les rend mieux adaptés aux moteurs d'affichage non polarisés.

Consommation énergétique

La consommation d'énergie est une préoccupation cruciale pour les lunettes intelligentes utilisables toute la journée. Pour de telles lunettes, pour lesquelles un affichage immersif complet comme les casques MR n'est peut-être pas nécessaire, le nombre moyen de pixels actifs (Average Pixel Lit ou APL) dans les cas d'utilisation typiques peut être réduit à moins de 10 %, voire 5 % (affichage contextuel simple ou affichage AR ambiant). Ceci est particulièrement avantageux lors de l'utilisation d'écrans émissifs tels que les microLED et les LBS (dans une moindre mesure les microOLED). Les systèmes d'affichage MicroLED et LBS nécessitent généralement une faible consommation d'énergie pour un APL faible, mais consomment beaucoup plus d'énergie pour un APL plus élevé que leurs homologues non émissifs (LCoS et DLP). Cela définit leur meilleur ajustement pour la RA ambiante et l'affichage contextuel dans les lunettes intelligentes (<math><1/4W</math> pour le DSA). Pour les casques dotés de batteries plus grosses capables de fournir plus de puissance au système (jusqu'à 6-8 W pour l'ensemble du système de lunettes), un APL plus élevé et plus adapté aux cas d'utilisation en MR immersive peut être affiché, comme le montrent les casques HoloLens et Magic Leap.

La réduction de la taille de la zone active des LED à des tailles de pixels et des pas similaires à ceux du LCoS, du DLP ou du micro-OLED entraîne une efficacité réduite en raison de la

Figure 3. Architectures d'affichage conventionnels VR et AR et afficheurs de nouvelle génération tout-en-un planaires.

recombinaison des bords et d'autres effets parasites. Diverses techniques, telles que le pick and place, ont été étudiées, mais se sont révélées non évolutives pour les écrans AR. Les microLED monolithiques RVB (rouge, vert, bleu) sont devenues l'architecture ultime pour beaucoup. Cependant, la génération de couleurs rouges reste difficile dans le GaN/InGaN monolithique malgré les pixels bleus et verts efficaces produits par le GaN conventionnel et les pixels rouges efficaces par AlInGaP. Certaines entreprises ont exploré l'utilisation de nanofils verticaux pour augmenter la surface effective des pixels, tandis que d'autres utilisent la conversion de points quantiques (Quantum Dots) pour le vert et le rouge, tout en maintenant l'émission naturelle du bleu du GaN, et même la conversion avec des couches Perovskites plus adaptées au processus intégré sur Silicium. L'intégration RVB monolithique dans un seul panneau d'affichage reste un Saint Graal pour de nombreuses start-ups microLED.

Les panneaux micro-LED sont idéaux pour le nouveau système d'affichage AR « tout-en-un » fin, ce qui en fait des sources d'images souhaitables pour les nouvelles architectures DSA comme celles de Lusovu et NewSight Reality. Ces architectures peuvent combiner des micropanneaux monocolores séparés utilisant des MLA (Micro Lens Array, ou MLAs) transmissifs ou réfléchissants non uniformes pour non seulement générer l'image, mais également créer synthétiquement un champ de vision (FOV), une boîte à oeil, une couleur et même obtenir un affichage fovéal et un champ lumineux. Un tel système d'affichage peut être réglé dynamiquement lorsqu'il est lié à un dispositif de suivi de la pupille/du regard pour réduire la consommation d'énergie globale en générant la boîte ●●●

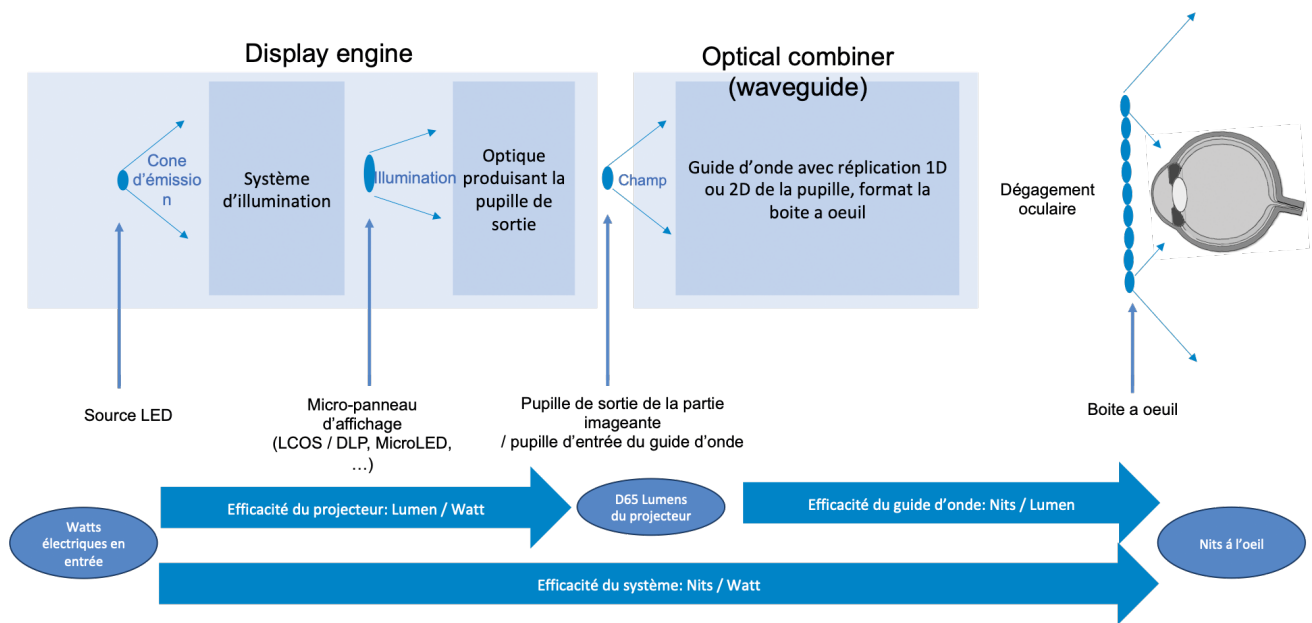


Figure 4. Efficacité d'un système d'affichage AR, découplant le projecteur du combineur optique

à œil et la résolution angulaire la mieux adaptée (orientation de la pupille, affichage fovéal, modulation de luminosité, couleur, format du champ de vision,...). Grâce à de tels systèmes, la luminosité de l'œil peut être supérieure à celle de l'écran, ce qui les rend également adaptés aux panneaux microOLED. Dans les architectures DSA conventionnelles, l'efficacité dépend à la fois du moteur d'affichage et du combineur, l'efficacité du guide d'onde étant souvent définie en Nits/Lumens. La correspondance de l'étendue est cruciale pour augmenter l'efficacité du moteur d'affichage, les écrans émissifs (microOLED ou microLED) étant lambertiens et les écrans non émissifs (LCOS et DLP) fournissant un éclairage sous un cône bien précis correspondant à la pupille de sortie et au champ de vue, conduisant à des moteurs d'affichage plus efficaces.

Guides d'onde optiques

Les systèmes AR récents utilisent de plus en plus les guides d'onde diffractifs comme combineurs de choix, associés aux LCOS ou aux DLP ou aux très attendus panneaux de micro-affichage microLED RVB. Il existe aujourd'hui trois plates-formes de guides d'ondes : les architectures holographiques, à réseau de diffraction et à guide d'onde géométriques réfléchissants en verre ou en plastique. Les combineurs plats de type guides d'ondes sont préférés aux systèmes basés sur des architectures de type « Bird Bath » pour les lunettes intelligentes en raison de leur schéma d'expansion de pupille 2D offrant une grande boîte à œil et un facteur de forme plus compact. Cependant, des moteurs d'affichage à haute luminosité sont nécessaires pour des combineurs de guides d'ondes efficaces, ce qui rend les panneaux micro-OLED adaptés aux architectures à visière de type « Bird Bath » tandis que les panneaux micro-LED semblent mieux adaptés aux combineurs de guides d'ondes. Les combineurs de guides d'ondes holographiques ont été mis en œuvre pour la première fois dans les années 1990, tandis que les combineurs de guides d'ondes à réseaux de diffraction ont été explorés pour diverses applications avant de devenir courants

dans les lunettes intelligentes. Les guides d'ondes géométriques réfléchissants peuvent transporter un champ de vision plus grand que les guides d'ondes diffractifs ou holographiques pour un même indice de réfraction du guide, et les guides d'ondes en verre géométriques réfléchissant de type Lumus offrent une excellente alternative. Plusieurs entreprises développent également des solutions de guides d'ondes réfléchissants en plastique. La pile transparente des systèmes d'affichage AR ajoute des fonctions essentielles telles que la position de l'image virtuelle devant l'utilisateur, l'intégration de verres correcteurs, le système de suivi oculaire et pupillaire, les capteurs d'alignement de l'affichage binoculaire, etc. Le guide d'onde, qui constitue le plus grand espace des lunettes intelligentes, est utilisé pour mettre en œuvre bon nombre de ces fonctions tout en offrant une expérience de transparence inchangée.

Conclusion

Les progrès en matière de guides d'ondes, de micro-LED/OLED et de balayage par faisceau laser piloteront la prochaine génération de systèmes d'affichage, mais nécessiteront une ingénierie optique intelligente associée à la science des matériaux et aux technologies d'intégration pour en exploiter pleinement le potentiel. Et même si le marché grand public des appareils AR/VR/MR a mis du temps à mûrir, principalement en raison du manque d'applications universelles pour favoriser l'adoption par le grand public, les améliorations techniques des technologies d'affichage permettent de résoudre les problèmes liés au confort et à la portabilité. Le développement récent de moteurs d'intelligence artificielle de type « assistant IA » est une des directions privilégiées pour les acteurs majeurs sur le marché des lunettes connectées et de leur cas d'utilisation universelle (Meta, Google, Amazon et Microsoft). ●