

Rapport de projet - CSO

Talla DIAGNE

27 juin 2025

Table des matières

1	Choix du sujet et problématique	2
2	Étude du système et dimensionnement	2
3	Mise en place et optimisation	3
4	Tolérancement en non-séquentiel	4

Conception et optimisation d'un Head-up display

Conception de systèmes optiques - ZEMAX

Talla DIAGNE

Nous attestons que ce travail est original, que nous citons en référence toutes les sources utilisées et qu'il ne comporte pas de plagiat.

1 Choix du sujet et problématique

Le **Head-Up Display (HUD)** est un système optique largement utilisé dans les domaines de l'aéronautique, de l'automobile et de l'électronique de consommation. Son objectif principal est de projeter des informations directement dans le champ de vision de l'utilisateur, améliorant ainsi la sécurité et le confort. Le sujet a été choisi pour son intérêt croissant dans l'industrie automobile, où l'intégration de la réalité augmentée et des systèmes de navigation avancés devient incontournable.

Le choix de ce projet découle de mon expérience en alternance au CEA-Leti de Grenoble dans la caractérisation des microécrans microLEDs pour des applications de type réalité augmentée (AR) et virtuelle (VR). Les microécrans microLEDs se distinguent par leur luminosité élevée, leur faible consommation énergétique et leur compacité, des qualités idéales pour des applications HUD. Le sujet est également pertinent face aux tendances industrielles :

- dans l'industrie automobile, les HUD sont de plus en plus utilisés pour afficher des indications de navigation, d'aide à la conduite et de diagnostics directement dans le champ de vision du conducteur
- dans l'électronique portable, les HUD servent de base aux dispositifs innovants tels que les lunettes connectées. Ainsi, ce projet combine des domaines émergents (VR/AR) et des applications pratiques, tout en exploitant mes connaissances des microécrans microLEDs

La problématique principale du projet est donc de concevoir un HUD utilisé dans une voiture pour afficher des informations utiles telles que la vitesse. Il doit être performant en tenant compte des contraintes de l'industrie : ergonomie, pour garantir la lisibilité des informations en toutes conditions et compacité, pour une intégration facile dans des espaces réduits. Zemax OpticStudio, avec ses outils puissants de conception et d'analyse optique, a été choisi comme logiciel central pour relever ces défis.

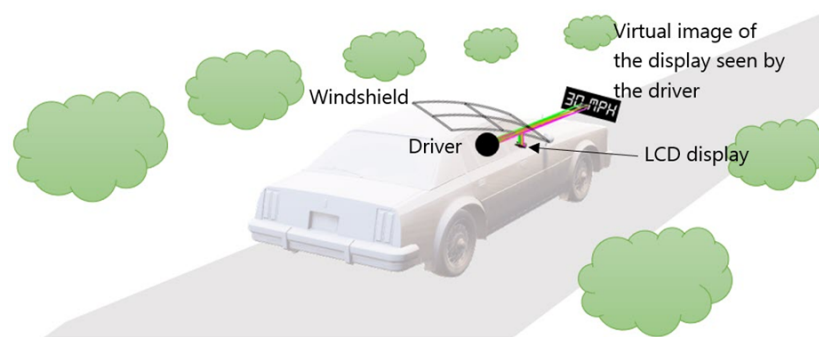


FIGURE 1 – Exemple de HUD utilisé dans une voiture

2 Étude du système et dimensionnement

Un système HUD comprend plusieurs éléments : une source lumineuse (souvent LED ou laser), un système optique (lentilles et miroirs), un écran d'affichage (LCD dans notre cas), et le pare-brise de la voiture. L'étude de ce projet a débuté par une modélisation de ces composants dans Zemax en mode séquentielle, pour évaluer leur interaction et leur performance.

Initialement, ce design a déjà été étudié par Zemax (Référence : <https://support.zemax.com/hc/en-us/articles/1500005577782-Which-tools-to-use-when-working-on-a-Head-up-Display>). C'est ainsi que le design sur la Figure [2] a été proposé. Tout l'objectif de mon étude porte donc sur la simplification de leur design en essayant au maximum de minimum les pertes de performances que cela engendrera obligatoirement.

Source lumineuse : Le choix s'est porté sur une LED pour obtenir une intensité lumineuse suffisante, notamment pour une lisibilité en plein jour

Système optique : Le système optique commence par une LED qui génère la lumière, réfléchié par un miroir vers une surface freeform. Cette surface freeform redirige la lumière pour corriger les aberrations et optimiser la forme de l'image. La lumière se réfléchit ensuite par le même miroir pour ajuster l'orientation du faisceau avant d'atteindre le pare-brise semi-réfléchissant qui reflète l'image vers le conducteur

Affichage : La résolution a été optimisée à l'aide des simulations de Modulation Transfer Function (MTF), garantissant une projection d'image claire et sans pixellisation. La capacité de Zemax à modéliser les interactions entre les composants, en particulier grâce à des analyses comme les Spot Diagrams et la PSF (Point Spread Function), a permis d'affiner le design et de réduire les aberrations optiques

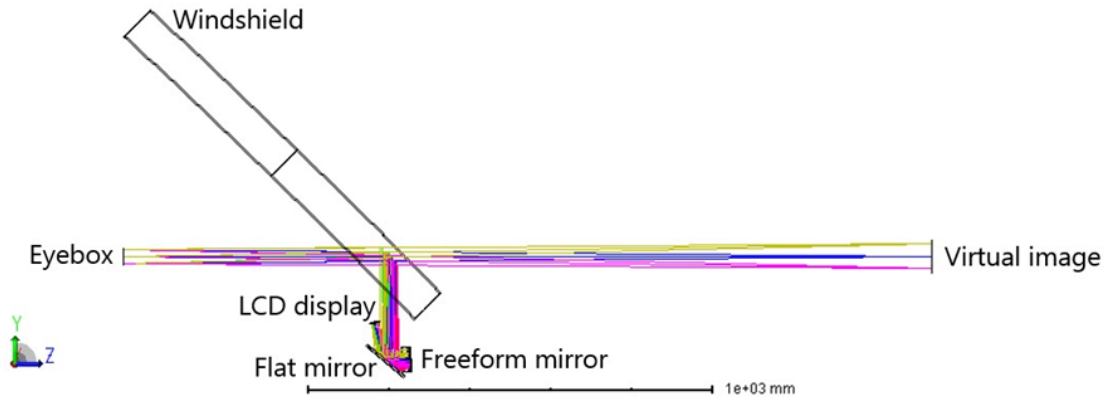


FIGURE 2 – Système optique utilisé pour ce HUD

Les paramètres essentiels pour dimensionner notre HUD incluent :

Champ de vision (FOV) : initialement, elle est fixée à 30×75 mm. En considérant un microdisplay microLED comme ceux avec lesquels je travaille en entreprise, on peut considérer la réduire jusqu'à 5×5 mm tout en gardant une très bonne résolution

Distance de l'image virtuelle : définie à 2 mètres pour un confort visuel optimal. Cette distance permet une mise au point naturelle pour le conducteur et réduit la fatigue oculaire

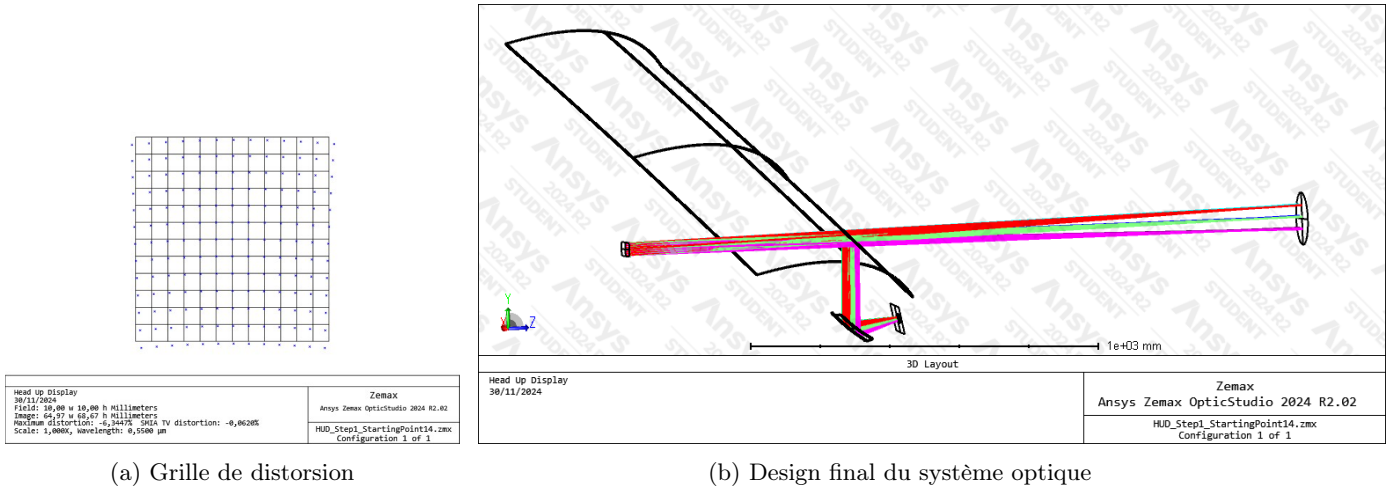
Eyebox La position des yeux du conducteur est située dans une zone de ± 100 mm en largeur et ± 40 mm en hauteur. Le design optique doit permettre au contenu projeté de rester visible, même si la position des yeux varie légèrement. Cette valeur a été doublée lorsqu'on le compare à celle de l'étude initiale, ce qui aura un impact sur la résolution

3 Mise en place et optimisation

Le design proposé a été assemblé et simulé en étapes successives :

- **Phase 1 : Simplification de la *data lense*** pour ne garder au final que le micro-écran, le miroir freeform et le pare-brise
- **Phase 2 : Optimisation** en jouant successivement sur plusieurs variables : la distance entre le micro-écran et le miroir, celle entre le miroir et le pare-brise, la courbure du miroir, sa conicité ainsi que les diverses variables pour designer sa surface freeform. On trouve après optimisation une distorsion maximale à 6% (Figure[3a]), ce qui commence à être visible à l'œil nu ($> 5\%$) mais est encore tolérable. C'est néanmoins 4% de plus que dans le design initial
- **Phase 3 : Retournement du système optique :** On commence par un design "à l'envers" pour un HUD afin de garantir que l'image perçue par l'utilisateur soit claire, bien positionnée et conforme aux spécifications. Cette méthode assez courante permet d'optimiser les performances du système en remontant depuis la vue finale jusqu'aux éléments optiques nécessaires.

Des itérations successives ont permis d'atteindre un alignement précis entre les composants.



L'illustration ci-dessous permet d'évaluer la correspondance entre le rendu simulé et la réalité après optimisation du système optique :

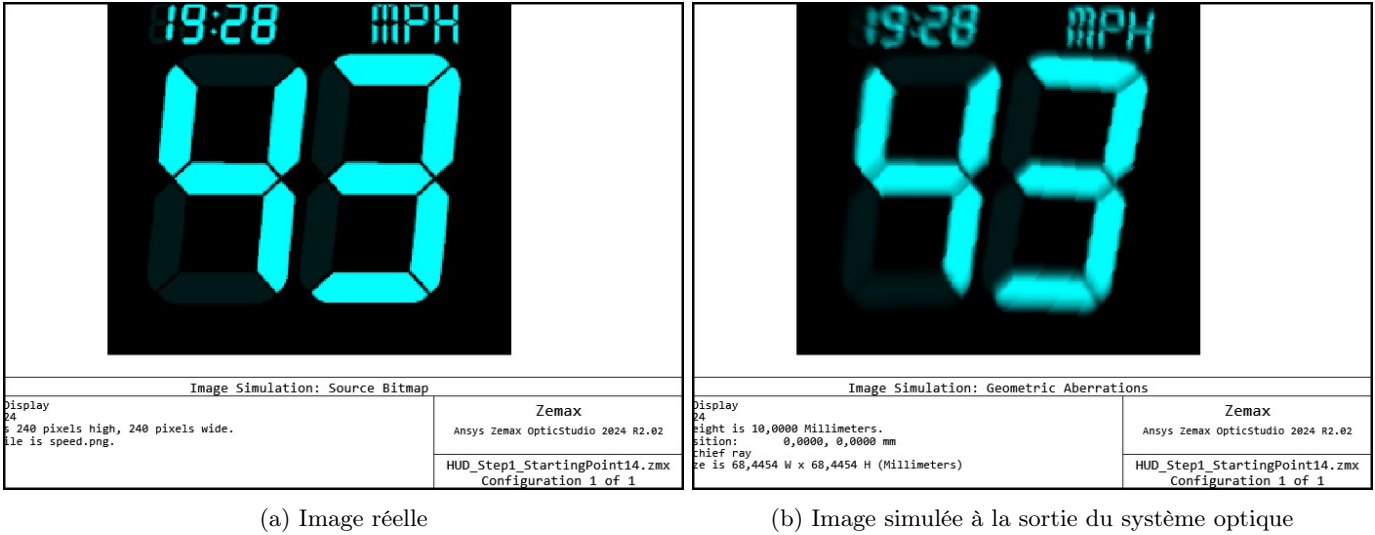


FIGURE 4 – Exemple de projection de la vitesse du véhicule

4 Tolérancement en non-séquentiel

Le tolérancement en mode non-séquentiel est une étape essentielle pour évaluer les effets complexes qui ne peuvent pas être modélisés dans le cadre séquentiel classique comment avec toutes les étapes précédentes. Ce mode est particulièrement adapté pour étudier l'influence de la lumière extérieure, notamment l'impact du soleil sur le HUD. Il permet notamment de simuler les effets de la lumière incidente à partir de directions variées afin d'analyser les sources de lumière parasites et les réflexions sur les surfaces optiques (comme le pare-brise ou le miroir freeform). L'objectif est d'évaluer comment l'intensité et l'angle du soleil peuvent affecter la visibilité de l'image projetée sur le pare-brise, ce qui peut entraîner une dégradation de la lisibilité ou même des éblouissements.

Cependant, étant donné que ma version étudiante de Zemax ne permet pas d'utiliser le mode non-séquentiel, je n'ai pas pu bien avancer sur cette des simulations. En outre, de par le fait que je fais mon alternance à Grenoble, je n'ai pas accès aux ordinateurs de l'école. Ce mode serait pourtant indispensable pour simuler correctement l'impact de l'illumination extérieure et pour optimiser la conception du HUD en tenant compte des conditions d'éclairage réelles.