

---

Rapport de projet 1A : groupe 38

## Photographie Schlieren et onde de choc

---

Hovanes BOKSYAN  
Aymeric FREREJEAN  
Nada KOUDDANE  
Léo LAFFAY  
Alexandre OCKIER  
Yvonne SAUTRIOT  
Nino VIVIAND

**Tuteur du projet :** David RIASSETTO

### Membres des Jurys :

Daniel BELLET  
Benoit CLEYET-MAREL

Nicolas RUTY  
Mathias VOISIN-FRADIN

Phelma - juin 2022

# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>4</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>1 EFFET SCHLIEREN</b>	<b>7</b>
1.1 Principe du dispositif . . . . .	7
1.1.1 Dispositif avec miroir sphérique . . . . .	8
1.1.2 Dispositif avec lentilles convergentes . . . . .	8
1.2 Protocole et organisation . . . . .	8
1.2.1 Cahier des charges . . . . .	8
1.2.2 Mise en place des montages optiques . . . . .	9
1.2.3 Améliorations des montages . . . . .	9
1.3 Observations et conclusion . . . . .	9
1.3.1 Description des résultats . . . . .	9
1.3.2 Interprétation . . . . .	9
1.3.3 Conclusion partielle . . . . .	9
<b>2 DISPOSITIF À ONDE DE CHOC</b>	<b>10</b>
2.1 Théorie du tube à choc . . . . .	10
2.2 Protocole et organisation . . . . .	10
2.2.1 Cahier des charges . . . . .	10
2.2.2 Mise en place du dispositif . . . . .	10
2.3 Observations et conclusion . . . . .	10
2.3.1 Description des résultats . . . . .	10
2.3.2 Interprétation . . . . .	10

---

2.3.3	Conclusion partielle . . . . .	10
<b>3</b>	<b>PHOTOGRAPHIE DE L'ONDE DE CHOC</b>	<b>11</b>
3.1	Protocole et organisation . . . . .	11
3.1.1	Cahier des charges . . . . .	11
3.1.2	Mise en place du système final . . . . .	11
3.2	Observations . . . . .	11
3.2.1	Description des résultats . . . . .	11
3.2.2	Interprétation . . . . .	11
	<b>Références</b>	<b>12</b>
	<b>Résumé</b>	<b>13</b>
	<b>Abstract</b>	<b>13</b>

# Table des figures

1.1	<i>Diagramme de GANTT prévu pour le dispositif d'imagerie Schlieren . . .</i>	8
-----	---	---

# Liste des tableaux

1.1	<i>Tableau des membres et des tâches attribuées . . . . .</i>	8
-----	---	---

## Introduction

La visualisation des ondes de choc générées par les avions permet d'étudier leur mouvement et contribue aux recherches dans le domaine de l'aéronautique et au développement de nouveaux engins. L'observation du mouvement de l'air autour des appareils supersoniques peut être réalisée à l'aide d'un dispositif simple et efficace : le dispositif d'imagerie Schlieren. Celui-ci s'appuie sur les principes de base de transferts thermiques et d'optique géométrique, principes utiles à tout étudiant en filière ingénierie physique. Ce projet constitue donc un moyen de mise en œuvre de connaissances théoriques pour la réalisation d'un livrable concret.

La problématique majeure du projet est la combinaison de deux systèmes distincts qui permettrait de visualiser et de photographier une onde de choc. Il faut en effet réaliser cette dernière ainsi que le dispositif de photographie par effet Schlieren.

L'objectif de ce rapport est donc de présenter non seulement les différents moyens déployés afin de mener à bien ce projet, que ce soit sur le niveau technique ou organisationnel, mais aussi les résultats obtenus lors de ce travail.

Ainsi, ce document est réparti en trois parties : la première porte sur les différents aspects du dispositif d'imagerie Schlieren. La deuxième est, quant à elle, consacrée à l'étude et la réalisation du dispositif à onde de choc. La troisième présente la combinaison des deux parties énoncées précédemment, et donc l'enjeu global du projet. Enfin, une conclusion en guise de récapitulatif sera donnée à la fin du rapport.

# PARTIE 1

## EFFET SCHLIEREN

### 1.1 Principe du dispositif

L'air est fluide transparent, il possède un indice de réfraction qui suit une évolution linéaire par rapport à la densité [1] :

$$n = 1 + k \rho \quad (1.1)$$

où  $n$  est l'indice de réfraction du fluide,  $\rho$  sa densité et  $k$  une constante appelée constante de Gladstone-Dale. Si  $n_i$  et  $n_r$  sont respectivement les indices de réfraction des rayons incident et réfléchi,  $\theta_i$  l'angle d'incidence et  $\theta_r$  l'angle de réfraction, on peut écrire la loi de Snell-Descartes :

$$n_i \times \sin(\theta_i) = n_r \times \sin(\theta_r) \quad (1.2)$$

En faisant varier de manière non uniforme la température ou la pression de l'air, on fait apparaître des gradients de densité, ce qui fait que l'indice de réfraction ne varie pas de la même façon partout dans le fluide. Par conséquent, les rayons lumineux sont déviés, ce qui permet d'observer l'effet Schlieren.

### 1.1.1 Dispositif avec miroir sphérique

### 1.1.2 Dispositif avec lentilles convergentes

## 1.2 Protocole et organisation

### 1.2.1 Cahier des charges

Une fois l'objectif de la première partie défini, la mise en place d'un plan d'organisation s'est avérée judicieuse pour avancer dans le projet. Pour ce faire, le diagramme de GANTT de la figure 1.1 a été établi :

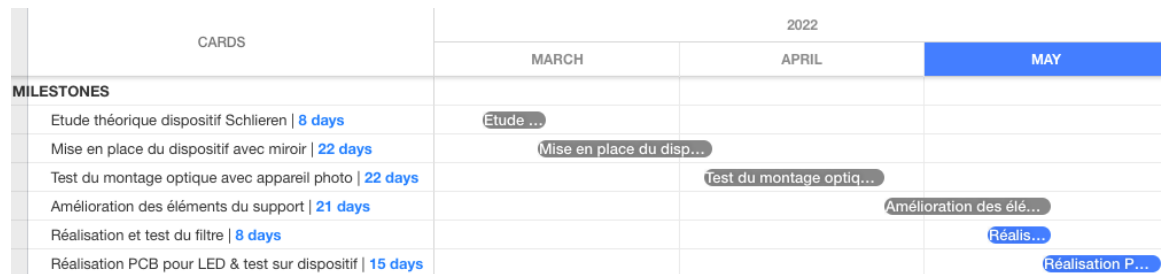


FIGURE 1.1 – Diagramme de GANTT prévu pour le dispositif d'imagerie Schlieren

Par ailleurs, parmi les sept membres du groupe, quatre se sont chargés de mettre en place le système optique, un rôle a été attribué à chacun des membres :

Chef de projet	Responsable communication	Responsable conception 3D	Responsable planning
Yvonne SAUTROIT	Léo LAFFAY	Alexandre OCKIER	Nada KOUDDANE

TABLE 1.1 – Tableau des membres et des tâches attribuées



**1.2.2 Mise en place des montages optiques**

**1.2.3 Améliorations des montages**

**1.3 Observations et conclusion**

**1.3.1 Description des résultats**

**1.3.2 Interprétation**

**1.3.3 Conclusion partielle**

## PARTIE 2

### DISPOSITIF À ONDE DE CHOC

#### 2.1 Théorie du tube à choc

#### 2.2 Protocole et organisation

##### 2.2.1 Cahier des charges

##### 2.2.2 Mise en place du dispositif

#### 2.3 Observations et conclusion

##### 2.3.1 Description des résultats

##### 2.3.2 Interprétation

##### 2.3.3 Conclusion partielle

## PARTIE 3

### PHOTOGRAPHIE DE L'ONDE DE CHOC

#### 3.1 Protocole et organisation

##### 3.1.1 Cahier des charges

##### 3.1.2 Mise en place du système final

#### 3.2 Observations

##### 3.2.1 Description des résultats

##### 3.2.2 Interprétation

## Références

- [1] Harvard University, "*Schlieren Optics*", consulté le 28 mai 2022, [En ligne] :  
<https://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/schlieren-optics>

## Résumé

La chaleur émanant d'une bougie, l'air sortant d'un sèche-cheveux ou encore l'onde de choc produite par un avion entraînent des fluctuations de la densité optique. Celles-ci sont toutefois invisibles à l'œil nu, il faut donc concevoir des dispositifs d'imagerie afin de pouvoir les visualiser. Ce projet a porté sur l'étude d'un système d'imagerie Schlieren, dont le principe est similaire au filtrage du son : il s'agit de couper une partie des rayons déviés par un changement d'indice de réfraction afin d'agir sur la luminosité de l'image en sortie. L'équipement consiste en un miroir sphérique, dont le but est de concentrer la lumière d'une source ponctuelle, et d'une lame de rasoir en guise de filtre. L'effet de la source de chaleur est ensuite observé à l'aide d'un appareil photo. Le système conçu a donné des résultats satisfaisants : le contraste pourrait être amélioré, mais l'effet Schlieren est bien visible. L'objectif final de ce projet est de concevoir une onde de choc et de la visualiser à l'aide du dispositif optique.

**Mots-clés :** effet Schlieren, onde de choc, densité optique, indice de réfraction, filtre

## Abstract

Heat emanating from a candle, air coming through a hairdryer or a shock wave produced by a plane create fluctuations in optical density. However, they aren't visible to the naked eye; a specific system is needed in order to observe and analyse these phenomena. Schlieren imaging systems are based on light filtering : similarly to sound filtering, the purpose is to cut off part of the incoming light to create darker spots where it has been deflected by a change in the refractive index of the air. The device that was set in place consists of a spherical mirror that focuses the light coming from a point source and a razor blade that acts as a filter. Once the components are all in place, the interfering object is set in front of the mirror and the result is captured on camera. Experiments with matches gave pretty convincing results : although the contrast and focus still need to be improved, the heat coming out was clearly visible on screen. The final aim of this project is to generate a shockwave through a series of tubes directing air pressure and to observe it with Schlieren photography.

**Keywords :** Schlieren effect, shock wave, optical density, refractive index, filter