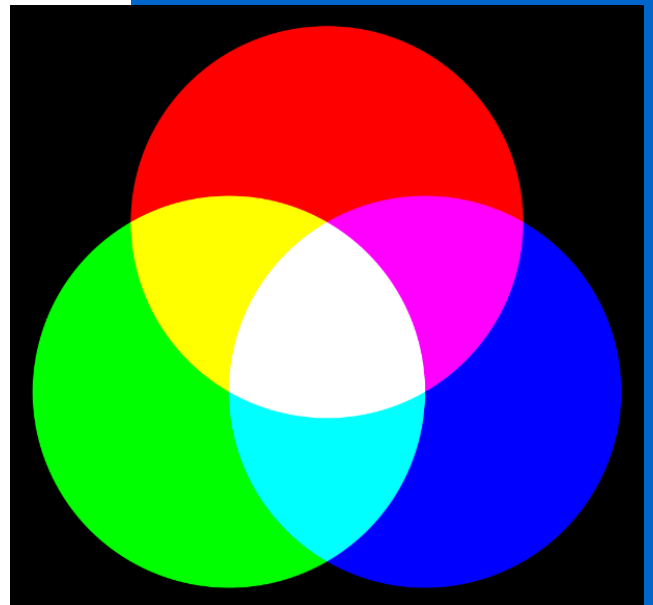




EIT.swiss

Mathématiques
Unité d'apprentissage 100
Optique
4e semestre





1	Optique.....	1
1.1	Lumière.....	1
1.2	Photons (quantum de lumière).....	1
1.3	La lumière en tant qu'onde électromagnétique	2
1.3.1	Exercices sur la vitesse de la lumière.....	2
1.3.2	Interactions entre la lumière et la matière (facultatif)	3
1.4	Fibre optique / fibre de verre (FO)	3
1.4.1	Fonctionnement des fibres optiques.....	3
1.4.2	Fibre monomode ou single mode.....	4
1.4.3	Fibre multimode	4
1.4.4	FO dans la pratique	4
1.4.5	Questions relatives aux fibres optiques.....	5
1.5	Lentilles optiques.....	6
1.5.1	Lentilles convexes.....	6
1.5.2	Lentilles concaves	7
1.5.3	Exercices avec des lentilles convexes	8
1.5.4	L'équation des lentilles	9
1.5.5	Exercices relatifs aux équations des lentilles:	11
1.6	Mélange de couleurs.....	12
1.6.1	Synthèse additive.....	12
1.6.2	Synthèse soustractive	12
1.7	Unités de masse de la lumière	13
1.7.1	Lumen lm	13
1.7.2	Candela cd.....	13
1.7.3	Lux lx	13
1.7.4	Température de couleur en kelvin K.....	14
1.7.5	La mesure de l'éblouissement UGR (Unified Glare Rating, évaluation unifiée de l'éblouissement)	15
1.7.6	Exercices:	16

1 Optique

1.1 Lumière

La lumière est un rayonnement électromagnétique visible par l'homme. Cette partie du spectre électromagnétique couvre les longueurs d'ondes situées entre 380 nm et 780 nm environ. Cela correspond à des fréquences d'environ 789 THz à 384 THz. Il est impossible de définir une limite précise, car la sensibilité de l'œil aux limites de la perception ne diminue pas brusquement, mais de façon progressive. Souvent, les zones de rayonnement infrarouge et ultraviolet adjacentes à la lumière visible sont également appelées lumière.

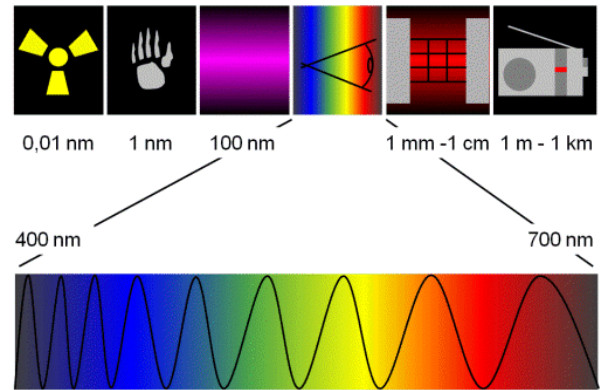


Fig. 1: Spectre¹

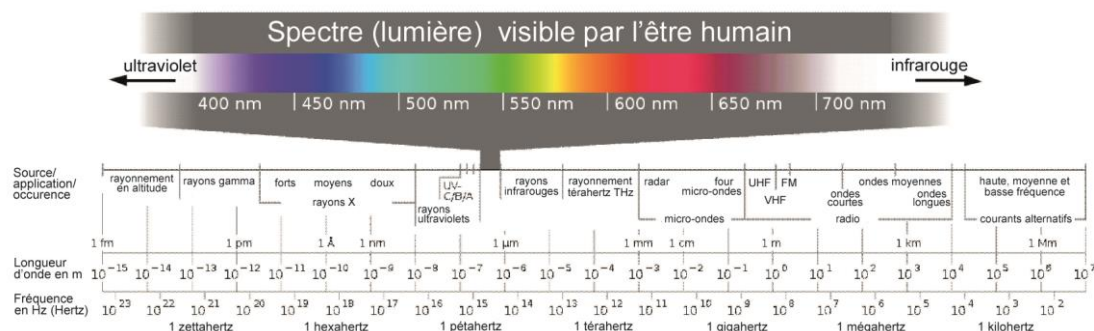


Fig. 2: Spectre électromagnétique²

La conversion de la longueur d'ondes en une fréquence f s'effectue avec la formule simple $f = \frac{c}{\lambda}$, autrement dit, vitesse de la lumière c (dans le média concerné) divisée par la longueur d'ondes λ (lambda). La longueur d'ondes λ indique la distance parcourue par le rayonnement pendant une période.

$$\text{Vitesse de la lumière: } c = 299'792 \frac{\text{km}}{\text{s}} \approx 300'000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

1.2 Photons (quantum de lumière)

Le photon est un modèle de lumière. Le photon est l'énergie quantifiée du champ électromagnétique. Quantifié signifie que le photon possède une certaine énergie.

¹ (Wikipédia, Onde électromagnétique, 2022)

² (Wikipédia, Onde électromagnétique, 2022)

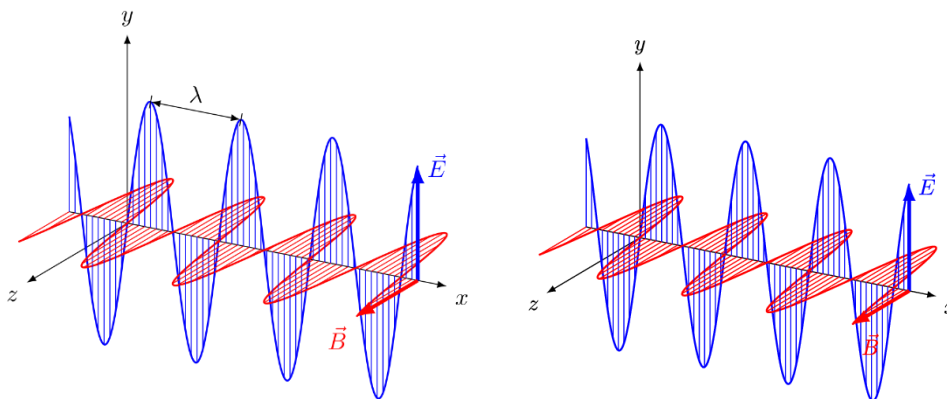
En termes concrets, les photons sont ce qui compose le rayonnement électromagnétique, c'est pourquoi on utilise parfois le terme de particules de lumière. Un photon est une particule élémentaire ou, plus précisément: un boson avec une masse au repos de 0 et qui se déplace toujours à la vitesse de la lumière c .

En 1951, dans une lettre adressée à Michele Besso (1873–1955), Albert Einstein a écrit: „Les 50 années de réflexion consciente ne m'ont pas rapproché de la réponse à la question « Que sont les quanta de lumière ». Aujourd'hui, tout le monde croit le savoir, mais il se trompe...“!

1.3 La lumière en tant qu'onde électromagnétique

Fig. 3: Onde électromagnétique³

Champ électrique (\vec{E} , bleu) et champ magnétique (\vec{B} , rouge) (voir fig. 2) d'une onde se propageant vers la droite dans le vide, polarisée linéairement dans le sens vertical, le long de la direction de propagation pour un instant donné, λ est la longueur d'onde. À gauche, une illustration d'une onde électromagnétique, à droite, la vue dans le sens inverse de la



propagation: E , B et le vecteur d'ondes k sont perpendiculaires l'un à l'autre.

1.3.1 Exercices sur la vitesse de la lumière

- 1) Combien de temps met un photon émis par le soleil pour atteindre la Terre (distance du soleil à la terre: $149.6 \cdot 10^6$ km)

$$t = \frac{s}{v} = \frac{149.6 \cdot 10^9 m}{299'792 \cdot 10^3 \frac{m}{s}} = 499s = 8'20''$$

- 2) Un projecteur est situé à 11 m de l'écran de projection. Combien de temps met la lumière de la lampe pour atteindre l'écran?

$$t = \frac{s}{v} = \frac{11m}{299'792 \cdot 10^3 \frac{m}{s}} = 36.7 \cdot 10^{-9}s = 36.7ns$$

³ (Wikipédia, Onde électromagnétique, 2022)

- 3) Le soleil est une étoile parmi des milliards d'autres dans notre système de la Voie lactée. L'étoile de la Voie lactée la plus proche du Soleil est α -Centauri. Elle se trouve à environ 4,5 années-lumière (al) du soleil. Combien de kilomètres cela représente-t-il?

$$s = v \cdot t = 299'792 \frac{km}{s} \cdot 4,5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600s = 42,5 \cdot 10^{12} km = 42,5 Tkm$$

1.3.2 Interactions entre la lumière et la matière (facultatif)

- Diffusion: la lumière modifie sa propagation, non pas dans une direction définie comme dans le cas de la réflexion, mais de manière diffuse dans toutes les directions possibles de l'espace.
- Absorption: l'énergie de la lumière incidente est absorbée par un corps. Cela peut avoir pour effet d'élever un électron à un niveau d'énergie supérieur, de réchauffer le corps. Si le rayonnement est absorbé indépendamment de sa longueur d'onde, le corps apparaît noir. Si seule une partie du spectre est absorbée, les parties restantes du spectre déterminent la couleur du corps (mélange de couleurs soustractif), voir:
 - mélange de couleurs soustractif. Dans le cas d'une excitation électronique, l'énergie peut également être restituée sous forme de rayonnement. On parle d'émission spontanée, de fluorescence (dents lumineuses en cas de lumière ultraviolette dans les boîtes de nuit) ou - si le processus est nettement retardé dans le temps - de phosphorescence.
- Effet photoélectrique: les photons libèrent des électrons du corps irradié. Cet effet est utilisé dans les cellules solaires et les photodiodes.

1.4 Fibre optique / fibre de verre (FO)

Les fibres optiques sont en verre. Elles permettent de transférer des données numériques à l'aide d'impulsions lumineuses. Il existe deux types de fibres optiques (voir fibres optiques monomodes et multimodes).

1.4.1 Fonctionnement des fibres optiques

Grâce au principe de la réfraction, le rayon injecté par une LED ou une diode laser est réfléchi sur les bords de la fibre optique et reste ainsi à l'intérieur du guide d'onde optique. À l'autre extrémité de la fibre optique, une photodiode capte les impulsions lumineuses et les transforme à nouveau en un signal électrique.

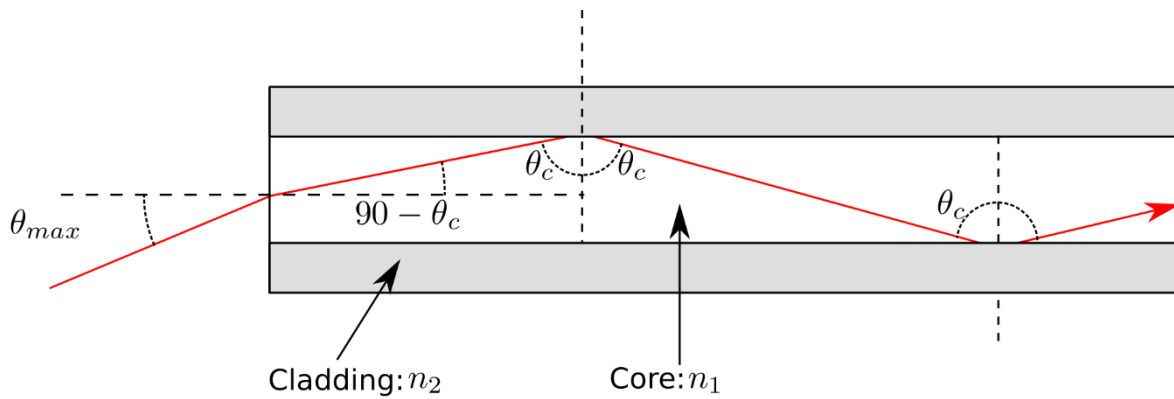


Fig. 4: Rayon lumineux dans une fibre optique⁴

⁴ (Wikipédia, Onde électromagnétique, 2022)

1.4.2 Fibre monomode ou single mode

Dans la fibre single mode, le noyau est très fin et ne laisse passer qu'un seul rayon. Le signal de sortie ne subit donc pas de fortes déformations.



Fig. 5: Propagation de la lumière dans une fibre single mode

1.4.3 Fibre multimode

Dans une fibre multimode, il y a «plusieurs» rayons lumineux. Ceux-ci sont réfléchis différemment à l'extérieur de la gaine. La distance qu'ils doivent parcourir est donc différente et ils n'arrivent donc pas en même temps à la sortie. Il en résulte une distorsion du signal d'entrée à la sortie.

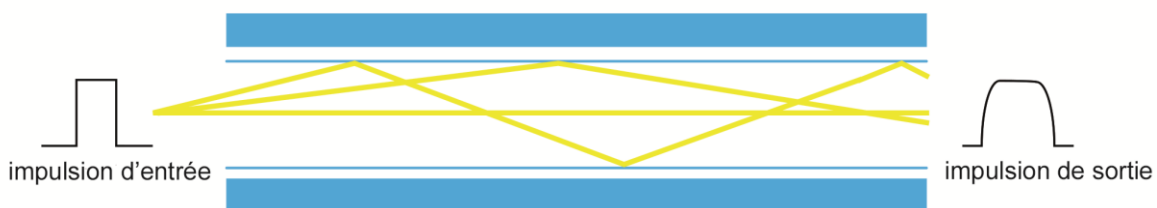


Fig. 6: Propagation de la lumière dans une fibre multimode

1.4.4 FO dans la pratique

	Multimode	Singlemode
coûts	Peu cher	Plus cher
distance de transmission selon la fréquence de transmission	15 m – 800 m	10 km – 50 km

Les fibres single mode et multimode ne sont pas compatibles. Chacune ayant besoin d'un émetteur et d'un récepteur en particulier. L'épissure de fibres différentes est impossible.

L'épissure consiste à relier durablement deux fibres. Celles-ci sont ensuite soudées.

L'épissure est toutefois courante pour les fibres de même nature.

1.4.5 Questions relatives aux fibres optiques

1. Quelle est la composition des fibres optiques?
Du verre
2. Pour quelles distances maximales les fibres single mode peuvent-elles être utilisées?
env. 50 km
3. Pour quelles distances maximales les fibres multimode peuvent-elles être utilisées?
env. 800 m
4. Qu'entend-on par épissure?
Le fait de joindre deux câbles de fibre optique par soudage.
5. Quels composants sont utilisés en tant qu'émetteurs?
LED, diode laser
6. Quels composants sont utilisés en tant que récepteurs?
Photodiode
7. Avec quel type de fibre obtient-on le signal « le plus beau » au niveau du récepteur?
Dans le cas de la fibre monomode, le signal d'entrée est le moins déformé.

1.5 Lentilles optiques

1.5.1 Lentilles convexes

Les lentilles convexes ont des surfaces courbées vers l'extérieur. Elles concentrent les rayons lumineux. La ligne pointillée dans l'illustration est appelée axe optique.

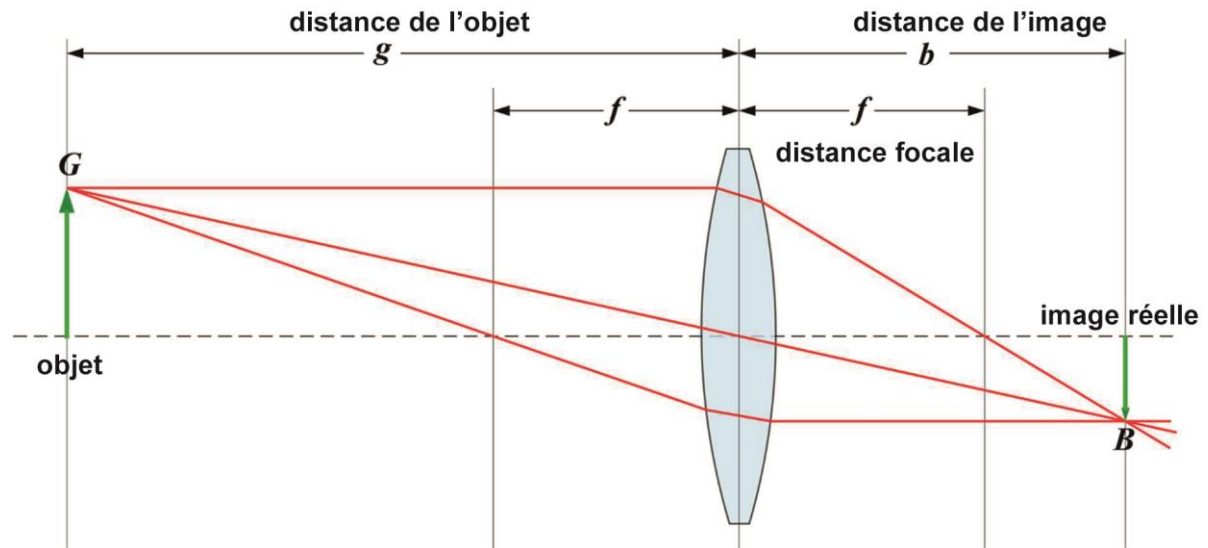


Fig. 7: Lentille convexe⁵

1.5.1.1 Expérience relative aux lentilles convexes

Prenez une bouteille en PET transparente et remplissez-la d'eau. Placez maintenant la bouteille en plastique très près d'un mur, pour que vous puissiez voir l'image de la fenêtre sur le mur!

Cette expérience fonctionne également avec des lunettes pour hypermétropes ou avec une lentille!

Qu'observez-vous?

À quelle distance se trouve l'image?

Comment expliquez-vous le fait qu'il puisse y avoir une image?

⁵ (Wikipédia, Équation des lentilles, 2022)

1.5.2 Lentilles concaves

Les lentilles concaves dispersent les rayons lumineux.

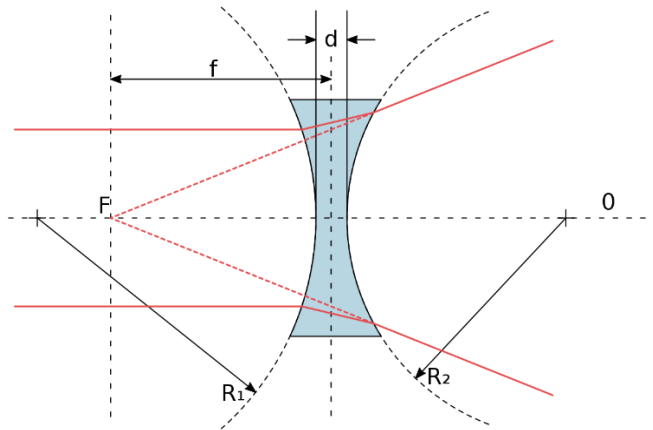


Fig. 8: lentilles concaves⁶

Les lentilles concaves dispersent le rayonnement lumineux, il n'y a donc pas d'image nette sur le côté opposé. Les lentilles concaves sont utilisées dans les lunettes pour myopes ou dans les longues vues, les jumelles et les objectifs.

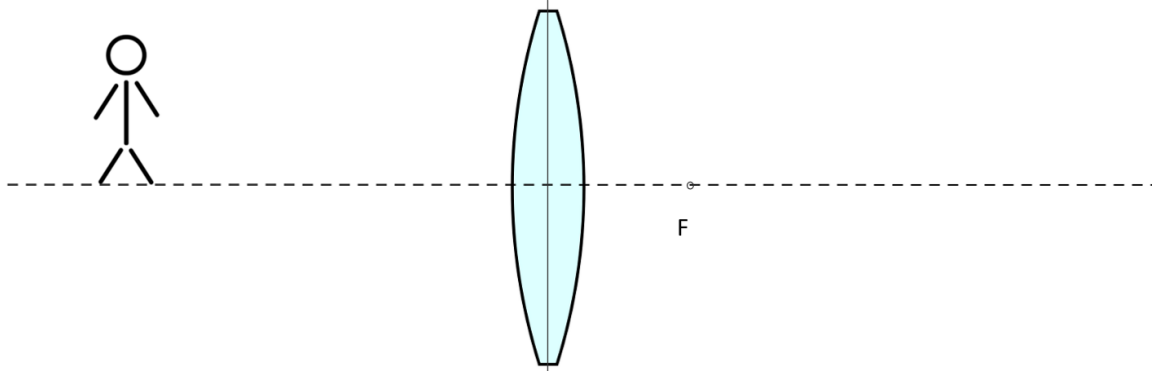
Comment se souvenir de la différence entre concave et convexe?

Dans le mot concave, il y a le mot « cave ». La cave est en bas, donc la courbure vers l'intérieur. Convexe est alors simplement l'autre!

⁶ (Wikipédia, Lentille (optique), 2022)

1.5.3 Exercices avec des lentilles convexes

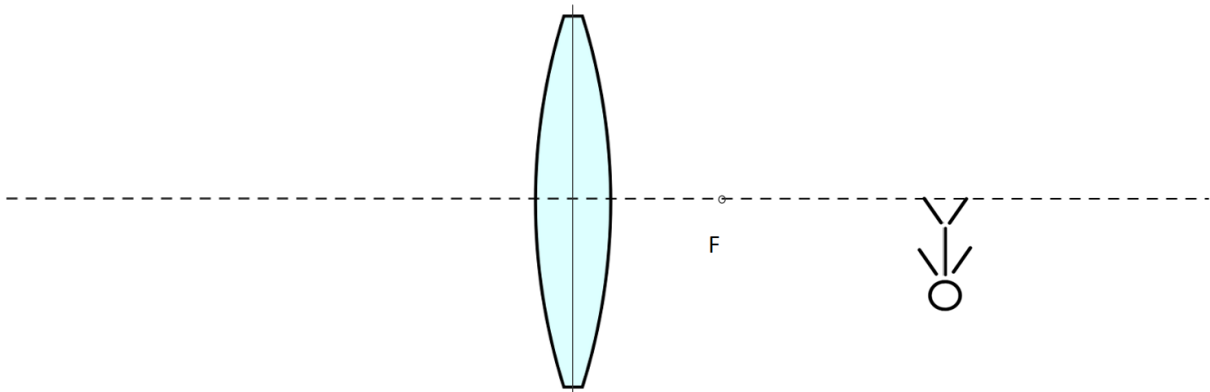
Construisez l'image projetée! Reportez sur le dessin, la distance de l'objet, de l'image et la distance focale!



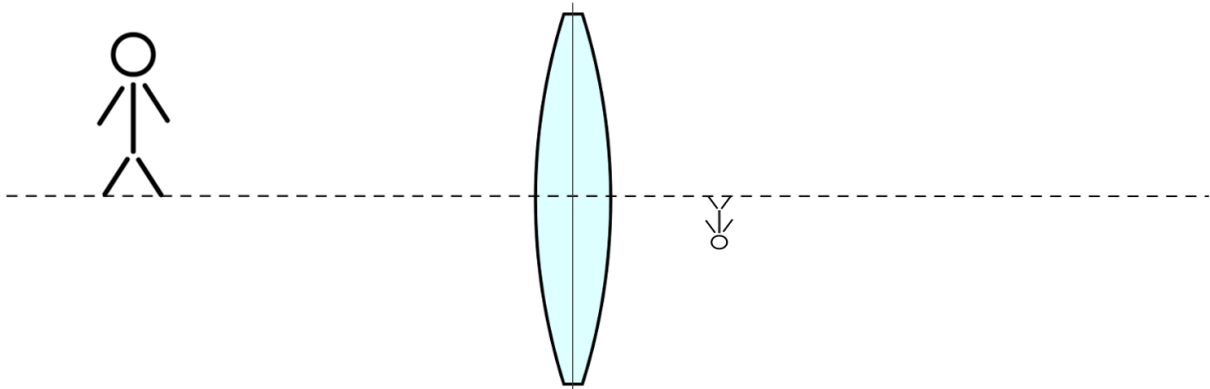
Visionnez pour cela l'animation suivante:

<https://www.geogebra.org/geometry/sk2qh3jx>

Construisez l'original! Reportez ici aussi sur le dessin, la distance de l'objet, de l'image et la distance focale!



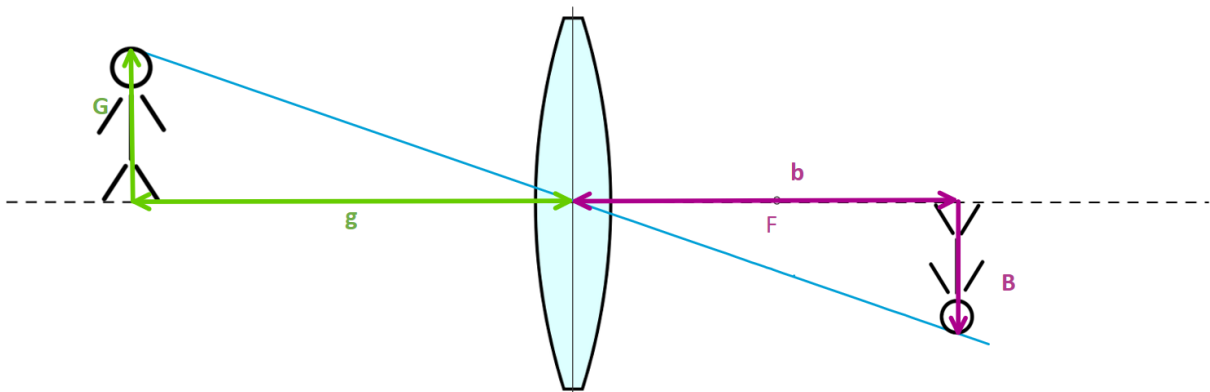
Construisez le point focal! Reportez ici aussi sur le dessin, la distance de l'objet, de l'image et la distance focale!



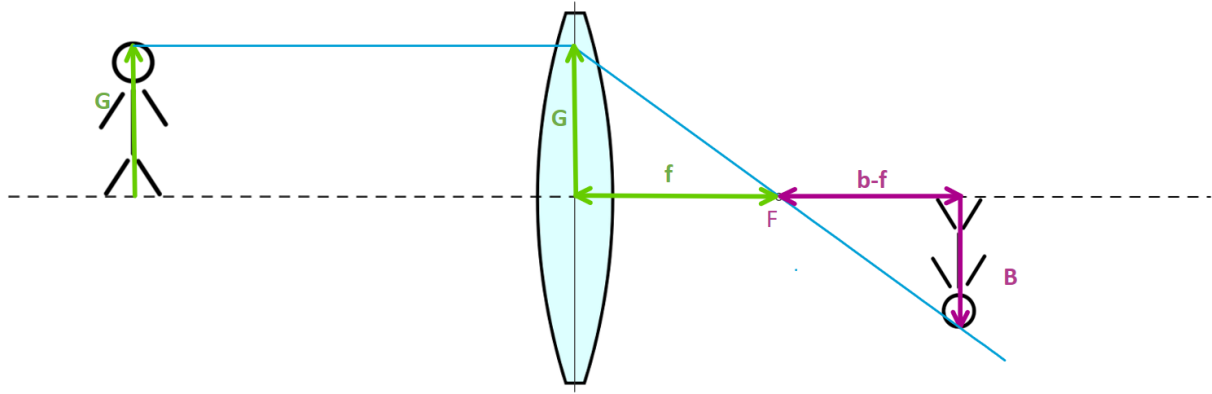
1.5.4 L'équation des lentilles

Nous pouvons établir l'équation en utilisant le théorème du rayon central:

Établissez l'équation à l'aide du théorème des rayons: $\frac{G}{g} = \frac{B}{b}$



Nous pouvons maintenant transformer l'équation: $\frac{G}{B} =$ (équation 1) $\frac{g}{b}$



Observons le rayon parallèle:

Écrivez ici aussi l'équation du théorème du rayon: $\frac{f}{G} =$ (équation 2) $\frac{f}{G} = \frac{b-f}{B}$

Nous transformons maintenant l'équation 2: $\frac{B}{G} = \frac{b-f}{f}$

Maintenant nous insérons l'équation 1 dans l'équation 2: $\frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$

Transformez maintenant l'équation pour obtenir la formule $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$

$$\frac{b}{gb} = \frac{b-f}{fb}$$

$$\frac{1}{g} = \frac{b}{fb} - \frac{f}{fb}$$

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

1.5.5 Exercices relatifs aux équations des lentilles:

- 1) Une image nette se trouve à 90 mm derrière une lentille convexe. La distance focale de la lentille convergente s'élève à 65 mm. Déterminez la distance entre l'objet et la lentille, à l'aide d'une esquisse et d'un calcul!

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

$$g = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{b}} = \frac{1}{\frac{1}{65\text{mm}} - \frac{1}{90\text{mm}}} = 234\text{mm}$$

- 2) Une lentille convergente donnée focalise un objet situé à 2,45 m à une distance de 35,6 cm. Quelle est la distance focale de la lentille?

$$f = \frac{1}{\frac{1}{b} + \frac{1}{g}} = \frac{1}{\frac{1}{2,45\text{m}} + \frac{1}{0,356\text{m}}} = 0,31\text{m}$$

- 3) Le rétroprojecteur de la salle de classe est placé à 3,25 m de l'écran. La lentille d'imagerie avec une distance focale de $f = 280$ mm est maintenant ajustée de manière à ce que l'image soit nette.

- a) À quelle distance se trouve la lentille par rapport au transparent?

$$b = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{g}} = \frac{1}{\frac{1}{0,28\text{m}} - \frac{1}{3,25\text{m}}} = 0,306\text{m}$$

- b) Quelle est la taille de l'image d'une feuille A4 (A4 : 21cm*30cm) projetée sur l'écran?

$$G = \frac{B \cdot g}{b} = \frac{0,21\text{m} \cdot 3,25\text{m}}{0,306\text{m}} = 2,23\text{m}$$

$$G_2 = G \cdot \sqrt{2} = 2,23\text{m} \cdot \sqrt{2} = 3,15\text{m}$$

A4-> 2.23m*3.15m

- 4) Vous souhaitez prendre une photo de classe avec un appareil numérique. Pour que tout le monde soit sur la photo de la tête aux pieds, vous prenez cette photo avec une verticale de 2 m de hauteur. La dimension de la puce CCD dans l'appareil photo est 3,2mm*2,4mm. La distance focale du zoom est réglable de 4,8 mm à 25 mm. À quelle distance minimale le groupe doit-il se placer par rapport à l'appareil numérique?

$$(b - f) = f \cdot \frac{B}{G} = 0,0048\text{m} \cdot \frac{0,0024\text{m}}{2\text{m}} = 5,6 \cdot 10^{-6}\text{m}$$

$$b = (b - f) + f = 5,6 \cdot 10^{-6}\text{m} + 0,0048\text{m} = 0,0048056\text{m}$$

$$g = \frac{G}{B} \cdot b = \frac{2\text{m}}{0,0024\text{m}} \cdot 0,0048\text{m} = 4,05\text{m}$$

1.6 Mélange de couleurs

1.6.1 Synthèse additive

En observant le spectre de lumière dans la «Fig. 2: Spectre électromagnétique», vous avez sans doute remarqué qu'il manque le blanc. On obtient la «couleur» blanc, par un mélange équilibré des couleurs rouge, vert et bleu. Ces trois couleurs s'additionnent et notre œil perçoit ce mélange comme étant du blanc.

Les écrans de nos smartphones et de nos ordinateurs portables fonctionnent exactement ainsi. Un point blanc que nous percevons sur l'écran est en réalité composé de trois points. D'un point lumineux rouge, d'un point lumineux vert et d'un point lumineux bleu. Si les points sont suffisamment proches les uns des autres, notre cerveau interprète cela comme étant du blanc!

Vous pouvez observer cela sur votre smartphone s'il y a des stries ou des gouttes d'eau dessus. Les couleurs sont alors déviées différemment.

Les projecteurs fonctionnent aussi sur le principe du mélange de couleurs. Les points lumineux rouge, vert et bleu sont mélangés sur l'écran de projection pour obtenir la couleur souhaitée.

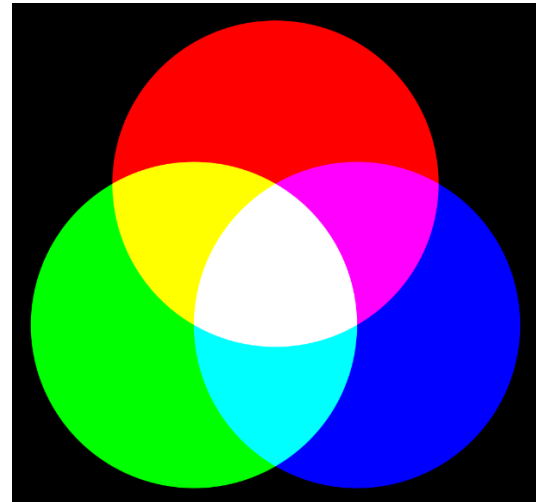


Fig. 8: Synthèse additive⁷

1.6.2 Synthèse soustractive

La synthèse soustractive des couleurs est utilisée dans l'impression. Ici, ce sont les trois couleurs jaune, magenta et cyan qui nous permettent de d'obtenir toutes les couleurs en les mélangeant. Si la lumière blanche frappe le magenta imprimé, toutes les couleurs sauf le magenta sont absorbées. Seul le magenta est réfléchi. En superposant les trois couleurs, on peut maintenant éliminer les couleurs indésirables de la lumière blanche. La couleur qui reste est réfléchie.

C'est pourquoi les couleurs de votre imprimante sont également le jaune, le cyan et le magenta.

Nous avons besoin de la cartouche supplémentaire avec du noir, car le mélange des trois couleurs ne permet pas d'obtenir un noir saturé.

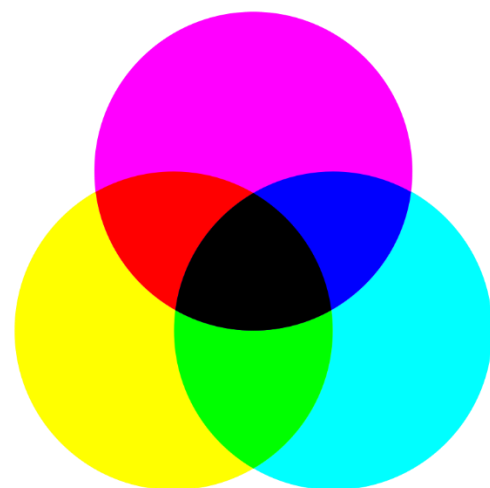


Fig. 9: Synthèse soustractive⁸

⁷ (Wikipédia, Synthèse additive, 2022)

⁸ (Wikipédia, Synthèse soustractive, 2022)

1.7 Unités de masse de la lumière

1.7.1 Lumen lm

Le *lumen* décrit le flux lumineux (la quantité de lumière) émise globalement par une lampe (source lumineuse). Il s'agit donc de la somme de lumière dans toutes les directions.

L'abréviation de l'unité *lumen* est lm. La lumière émise par une lampe n'est pas la même dans toutes les directions.

1.7.2 Candela cd

La *candela* est une unité de base du SI qui mesure l'intensité lumineuse dans une certaine direction. L'unité est le lumen par angle solide (stéradian). Pour une seule LED, l'intensité lumineuse vers l'avant est donc plus importante que si nous mesurons sur le côté de la LED.

1.7.3 Lux lx

Le mot *lux* est le terme latin qui désigne la lumière. Le lux, abréviation lx, décrit le flux lumineux reçu par unité de surface plane. Il indique le nombre de lumen par m².

Vous pouvez aussi mesurer l'éclairement lumineux avec votre smartphone. Téléchargez pour cela l'appli luxmètre et mesurez l'éclairement lumineux actuel!

1.7.4 Température de couleur en kelvin K

La température de couleur est une grandeur destinée à décrire l'impression d'une source lumineuse sur nous, les humains. Il s'agit de décrire la répartition du spectre des couleurs. Pour nous, c'est l'impression subjective créée par la lumière qui est déterminante. Une bougie avec beaucoup de rouge possède par exemple une température de couleur d'environ 1500K. Nous ressentons cette lumière comme étant « chaude » et agréable. La lumière des lampes fluorescentes à forte composante bleue rayonne à environ 4000K. Nous considérons cette lumière comme « froide ». Dans la pratique, on utilise des lampes à température de couleur plus élevée pour les pièces dans lesquelles on travaille.

Répartition selon la norme DIN EN 12665.

Source lumineuse	Température de couleur en Kelvin
Blanc chaud	<3300K
Blanc neutre	3300 – 5300K
Blanc lumière du jour, blanc froid	>5300K

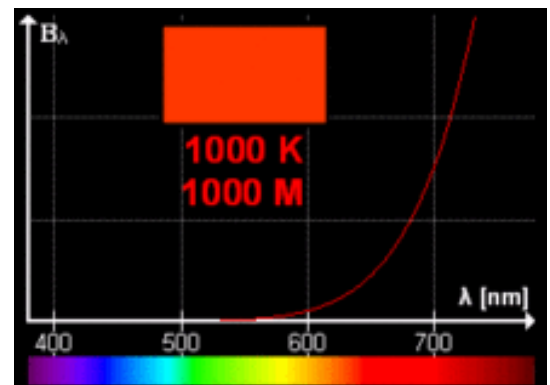


Fig. 10: Spectre de la température des couleurs⁹

Voir également:

[Température de couleur – Wikipédia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature_de_couleur)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature_de_couleur

Depuis 2009, l'efficacité lumineuse en lumens et la température de couleur doivent être indiquées pour toutes les lampes.



Fig. 11: Lampes à LED¹⁰

⁹ (Wikipédia, Température de couleur, 2022)

¹⁰ (Brack, 2022)

1.7.5 La mesure de l'éblouissement UGR (Unified Glare Rating, évaluation unifiée de l'éblouissement)

La mesure UGR indique à quel point on se sent ébloui. L'UGR est sans unité et peut prendre des valeurs allant de 10 à 30, 10 signifiant aucun éblouissement et 30 un éblouissement très fort.

La valeur UGR dépend de la forme et de la taille de la pièce, de l'état de surface des murs et de l'intérieur, de la lampe et du luminaire, de la répartition des sources lumineuses dans la pièce et de la position de l'observateur.

Valeurs types:

Limite UGR	Domaine d'application
16	Salle de dessin
19	Travaux de bureau, salles de classe
22	Travaux industriels précis
25	Travaux industriels moyens
28	Passages et voies publiques

1.7.6 Exercices:

1) Quelle est la température de couleur d'une lampe à incandescence?

Env. 3000K

2) Quelle est la température de couleur du soleil?

Env. 5300K

3) Où emploie-t-on des lampes avec de la lumière froide?

Dans les espaces de travail

4) Où emploie-t-on des lampes avec de la lumière chaude?

Des locaux à usage privé

5) Dans quelle plage se situe la température de couleur de l'ampoule Osram représentée ci-dessus?

<3300K

6) Observez l'ampoule Philips ci-dessus. Celle-ci est présentée comme une ampoule à lumière du jour. Qu'en pensez-vous?

Pour une ampoule à lumière du jour, la température de couleur devrait être > 5300K

7) Laquelle de ces deux ampoules est la plus efficace? Calculez pour cela l'efficacité

lumineuse η en lumen par watt $\eta = \frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}} = \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

Ampoule Osram: $\eta = \frac{470\text{lm}}{4\text{W}} = 117,5 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ Philips: $\eta = \frac{840\text{lm}}{4\text{W}} = 210 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

8) Qu'est-ce que nous décrivons avec l'unité de mesure *lumen*?

Le flux lumineux total émis

9) Qu'est-ce que nous décrivons avec l'unité de mesure *lux*?

Le flux lumineux en Lumen par m²

10) Quelle est l'intensité lumineuse recommandée pour un poste de travail à l'école?

500lx

11) Intensité lumineuse à l'ombre en été?

10'000lx

12) Intensité lumineuse pour un studio TV?

1000lx

13) Comment une LED blanche peut-elle influencer la température de couleur?

Si la LED mélange la lumière blanche avec des LED RVB, il est possible de faire varier leurs proportions de bleu et de rouge et d'influencer ainsi la température de couleur.

14) Que signifie synthèse additive des couleurs?

Les couleurs sont mélangées ensemble pour former une nouvelle couleur.

15) Quelles sont les couleurs de base de la synthèse additive des couleurs?

Rouge, jaune, bleu

16) Où utilise-t-on la synthèse additive des couleurs?

Pour les écrans et les projecteurs

17) Où utilise-t-on la synthèse soustractive des couleurs?

Pour l'impression

18) Comment un corps obtient-il sa couleur?

Le corps est éclairé avec l'ensemble du spectre des couleurs (donc du blanc), le corps reflète la couleur dans laquelle il nous apparaît. Il absorbe toutes les autres couleurs.