

Séquence 1

Physique

Couleur, vision et image

Chimie

La réaction chimique

Sommaire

1. Physique : Couleur, vision et image

Résumé

Exercices

2. Chimie : La réaction chimique

Résumé

Exercices

Chapitre

1

Physique

Couleur, vision et image

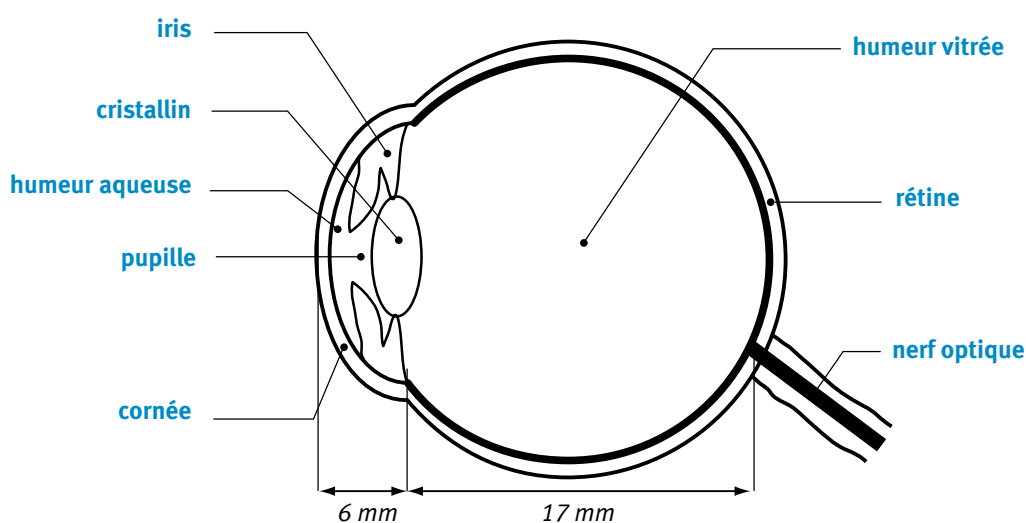
Objectifs

- Savoir décrire le modèle de l'œil réduit et le mettre en correspondance avec l'œil réel.
- Savoir déterminer par construction graphique, la position, la grandeur et le sens de l'image d'un objet-plan donnée par une lentille convergente.
- Savoir modéliser le comportement d'une lentille mince convergente à partir d'une série de mesures
- Savoir modéliser l'accommodation du cristallin.
- Savoir comparer expérimentalement les fonctionnements optiques de l'œil et de l'appareil photographique.
- Savoir interpréter la couleur observée d'un objet éclairé à partir de la lumière incidente.

A

Modèle réduit de l'œil

1. Coupe de l'œil



- La cornée et l'humeur aqueuse constituent la surface bombée qui sépare l'œil du milieu extérieur.
- Le cristallin est souple et relié à des ligaments.
- L'iris : cloison en forme de disque coloré présentant en son centre une ouverture circulaire de diamètre variable, la pupille.
- La rétine : membrane mince située au fond de l'œil ; elle est constituée de cellules nerveuses sensibles à la couleur et à l'intensité lumineuse.

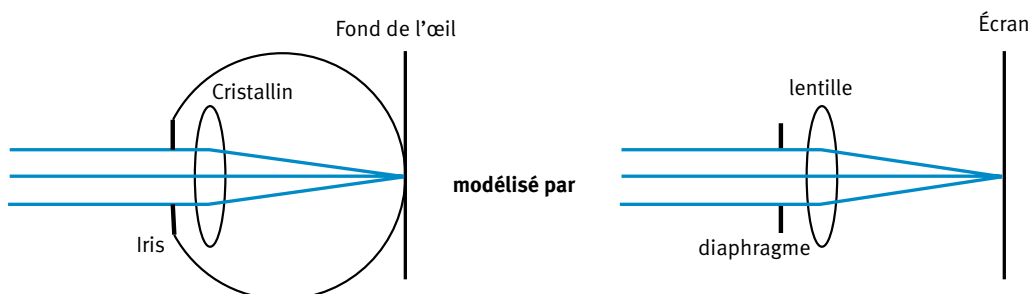
2. Modèle réduit de l'œil

La cornée, l'humeur aqueuse et le cristallin se comportent comme une lentille.

La rétine fait office d'écran sur lequel se forme l'image nette de l'objet observé. Elle est placée approximativement à 17 mm du cristallin.

En avant du cristallin, un diaphragme appelé pupille (2 – 8 mm de diamètre), limite la quantité de lumière incidente.

L'œil est un système optique qui peut être modélisé par un diaphragme, une lentille et un écran.



B Les lentilles minces convergentes

Une lentille sphérique est constituée d'un milieu transparent (le plus souvent du verre) limité par deux calottes sphériques. Certaines lentilles n'ont qu'une seule face de forme sphérique, l'autre est alors plane.

Les lentilles que nous allons étudier sont des lentilles minces : leur épaisseur e est faible par rapport aux rayons des calottes sphériques.

1. Les lentilles minces

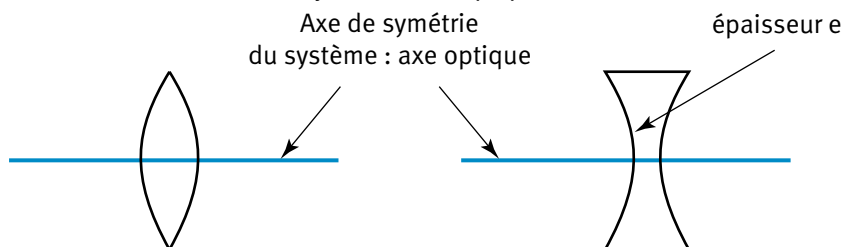
Une lentille sphérique est constituée d'un milieu transparent (le plus souvent du verre) limité par deux calottes sphériques. Certaines lentilles n'ont qu'une seule face de forme sphérique, l'autre est alors plane.

Les lentilles que nous allons étudier ont une épaisseur e faible par rapport aux rayons des calottes sphériques ; ce sont des lentilles minces.

a) Les lentilles minces convergentes et divergentes

Il existe deux types de lentilles minces : les lentilles minces convergentes et les lentilles minces divergentes.

Ces lentilles ont un axe de symétrie : l'axe optique.



Comment distinguer les deux types de lentilles ?

La lentille convergente a des bords minces tandis que la lentille divergente a des bords épais.

Activité 1

Si vous disposez d'un verre de lunette (pour myope) et d'une loupe vous pouvez faire les observations suivantes.

Observez, à courte distance de la lentille, votre polycopié de cours :

- ▶ si son image est plus grande, la lentille est convergente ;
- ▶ si son image est plus petite, la lentille est divergente.

Observez un objet placé à grande distance de la lentille :

- ▶ si son image est renversée, la lentille est convergente ;
- ▶ si son image est droite, la lentille est divergente.

Conclure.

Symboles des lentilles minces

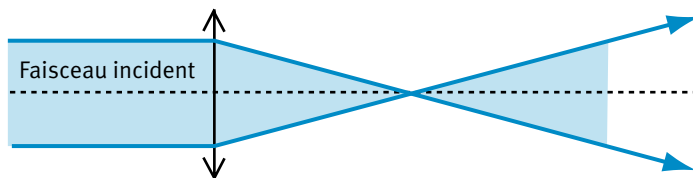
Sur les schémas de montage, il sera plus simple de représenter les lentilles par les symboles suivants.

Lentilles minces convergentes	Lentilles minces divergentes
<i>Lentilles minces convergentes</i>	<i>Lentilles minces divergentes</i>

b) Effet d'une lentille sur un faisceau

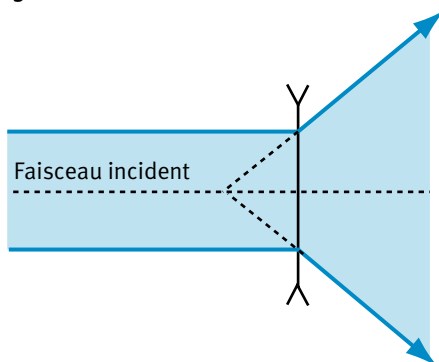
Effet d'une lentille mince convergente sur un faisceau

Un faisceau incident de lumière parallèle émerge d'une telle lentille sous forme d'un faisceau convergent.



Effet d'une lentille mince divergente sur un faisceau

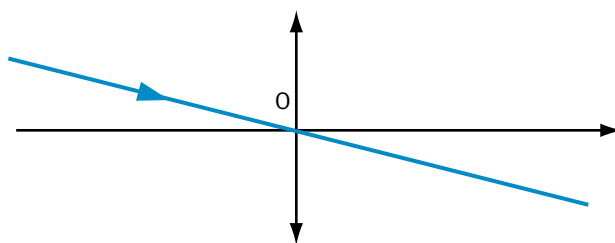
Un faisceau incident de lumière parallèle émerge d'une telle lentille sous forme d'un faisceau divergent.



c) Le centre optique

L'axe optique rencontre la lentille en un seul point O appelé centre optique.

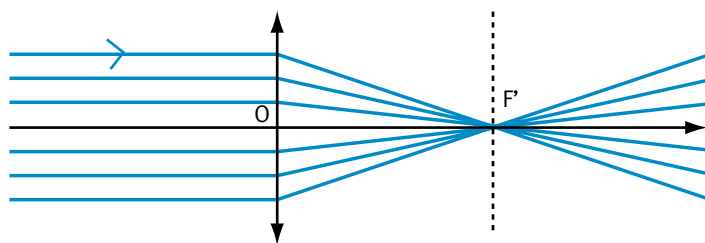
Tout rayon passant par le centre optique d'une lentille ne subit aucune déviation.



d) Le foyer principal image F'

Cas d'une lentille convergente

Le foyer principal image F' est le point de l'axe optique où convergent les directions de tous les rayons lumineux incidents parallèles à l'axe optique.

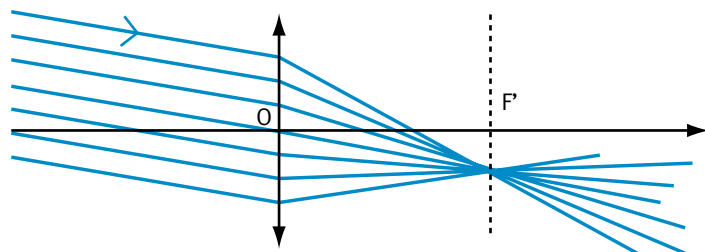


L'axe optique étant orienté dans le sens de parcours de la lumière, la valeur algébrique

$\overline{OF'}$ est positive, elle est appelée distance focale de la lentille et est notée f' : $f' = \overline{OF'}$.

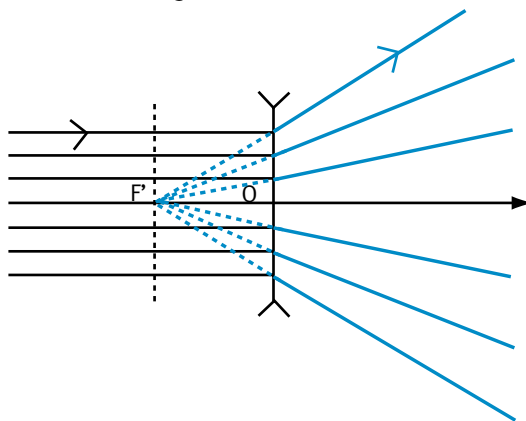
Remarque

Lorsque les rayons incidents sont parallèles entre eux (ils proviennent d'un point objet situé à l'infini) sans être parallèles à l'axe optique, le point image est alors situé dans le plan focal image, c'est-à-dire le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image.



Cas d'une lentille divergente

Le foyer principal image F' est le point de l'axe optique d'où semblent « sortir » tous les rayons lumineux émergents.



L'axe optique étant orienté dans le sens de parcours de la lumière, la valeur algébrique

$\overline{OF'}$ est négative, c'est la distance focale de la lentille notée f' : $f' = \overline{OF'}$.

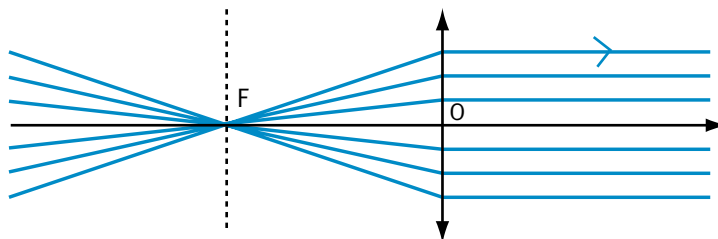
Le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant F' est appelé plan focal image ; on a représenté sa trace en pointillés sur les deux figures ci-dessus.

e) Le foyer principal objet F

Pour que des rayons lumineux soient parallèles à l'axe optique après passage dans la lentille, il faut que leurs directions initiales passent par un point F situé sur l'axe optique et appelé foyer principal objet.

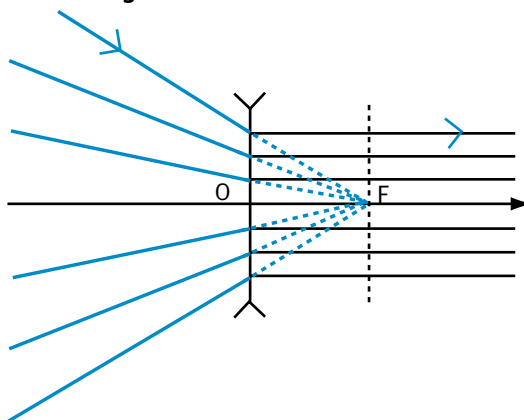
Les points F et F' sont situés sur l'axe optique à égale distance du centre optique O, on peut donc écrire en valeur algébrique : $\overline{OF'} = -\overline{OF}$.

Cas d'une lentille convergente



Le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant F est appelé plan focal objet, on a représenté sa trace en pointillés.

Cas d'une lentille divergente



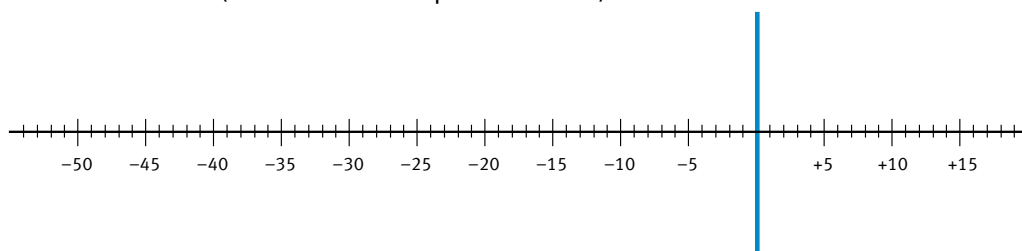
Le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant F est appelé plan focal objet, on a représenté sa trace en pointillés.

Activité 2

Une lentille placée à l'abscisse 0 a une distance focale f' égale à -15 cm ; quel symbole doit-on utiliser à la place du trait pour représenter la lentille.

Placer sur la figure ci-dessous le centre optique O et les foyers.

(Sur le schéma + 5 représente + 5 cm)



f) Vergence d'une lentille

La distance focale étant exprimée en mètre (m), la vergence est obtenue en dioptrie (δ).

Elle est positive pour une lentille convergente et négative pour une lentille divergente.

La vergence V d'une lentille s'exprime, en fonction de la distance focale f' , par la relation : $V = \frac{1}{f'}$.

Activité 3 Compléter le tableau suivant en calculant la vergence des lentilles minces de distance focale f' connue.

f'	- 5 cm	18 mm	5 mm	0,40 m
$V(\delta)$				

2. Les lentilles minces convergentes

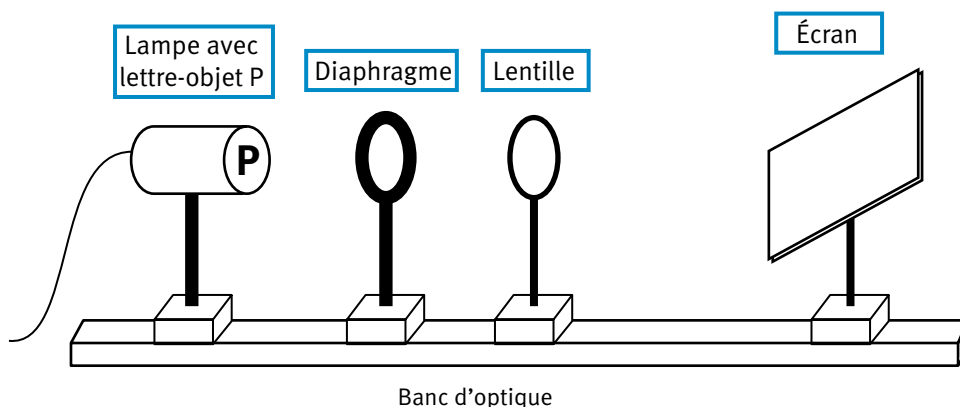
Avec une lentille convergente on peut former une image nette sur un écran.

Nous admettrons que tout rayon passant par un point B passe par B' et qu'à tout objet situé dans un plan perpendiculaire à l'axe optique correspond une image située dans un plan perpendiculaire à l'axe optique.

On dit que l'on travaille dans les conditions de Gauss ; les rayons sont alors voisins de l'axe en distance et direction.

Pour travailler dans ces conditions en TP, il suffit de rajouter un diaphragme entre la source de lumière et la lentille.

Le montage utilisé pour obtenir une image sur un écran à partir d'une lentille convergente comprend un banc d'optique sur lequel on place une lampe avec lettre objet P, un diaphragme, une lentille et un écran.

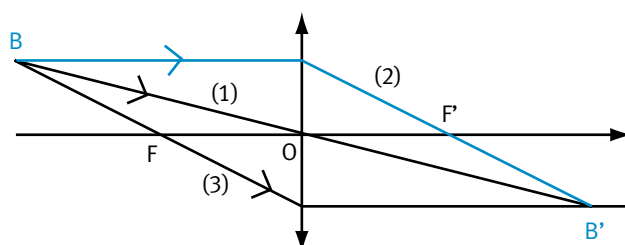


a) Construction de l'image d'un objet

Quels sont les rayons utiles pour construire l'image B' d'un point B ?

Nous disposons de trois rayons particuliers :

- ▶ Tout rayon passant par le centre optique d'une lentille ne subit aucune déviation. (1)
- ▶ Le rayon issu de B parallèle à l'axe optique sort de la lentille avec une direction passant par le foyer image F' . (2)
- ▶ Le rayon issu de B dont la direction passe par le foyer objet F , sort de la lentille parallèle à l'axe optique. (3)



Comment construire l'image d'un objet-plan AB perpendiculaire à l'axe optique, le point A étant situé sur l'axe ?

L'image $A'B'$, donnée par la lentille, est elle-même perpendiculaire à l'axe optique, l'image A' du point A étant sur l'axe.

Pour tracer l'image $A'B'$, il faut d'abord construire l'image B' du point B .

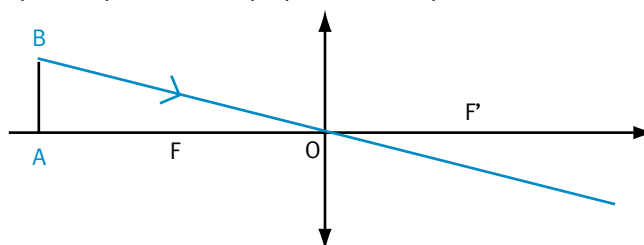
Nous avons vu qu'il existait trois rayons particuliers :

- ▶ le rayon issu de B et passant par O centre optique de la lentille n'est pas dévié ;
- ▶ le rayon issu de B et parallèle à l'axe optique sort de la lentille avec une direction passant par le foyer image F' ;
- ▶ le rayon issu de B et dont la direction passe par le foyer objet F sort de la lentille parallèle à l'axe optique.

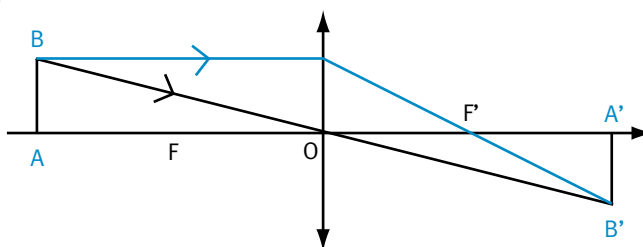
Pour construire l'image d'un point, il suffit de tracer deux rayons; deux rayons particuliers passant par B suffisent donc pour trouver B' .

Quels rayons tracer ?

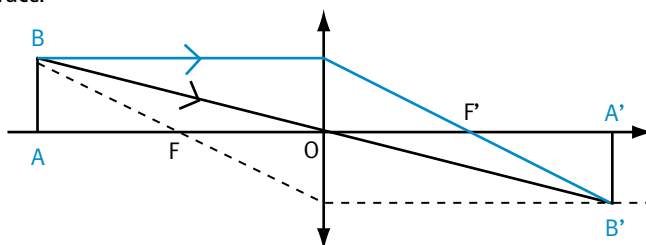
Le rayon passant par le centre optique car il n'est pas dévié.



Le rayon parallèle à l'axe optique car on sait qu'il émerge en passant par le foyer image F'



Le troisième rayon (en pointillé sur la figure ci-dessous) nous permet de vérifier notre tracé.

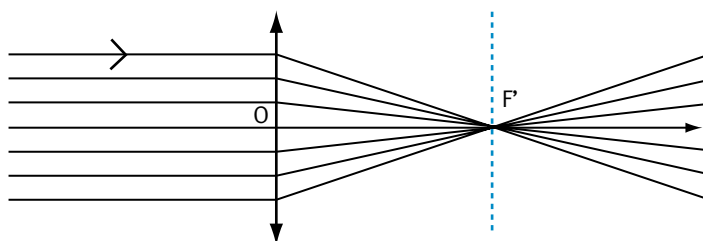


Activité 4 Si vous disposez d'Internet, le site <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optigeo/lentille.html> doit vous permettre de répondre à la question : la position de l'écran par rapport à la lentille dépend-elle de la position de l'objet ?

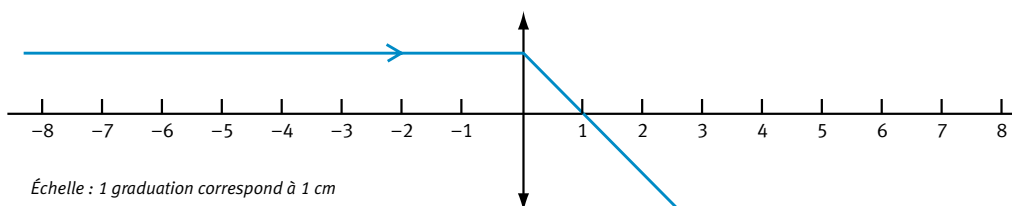
b) Mesure de la distance focale

La distance focale de la lentille s'obtient en mesurant la distance du centre optique O à F' le foyer image de la lentille convergente puisque $f' = \overline{OF'}$.

Le foyer principal image F' est le point de l'axe optique où convergent les directions de tous les rayons lumineux incidents parallèles à l'axe optique.



Activité 5 Quelle est la distance focale de cette lentille convergente ?

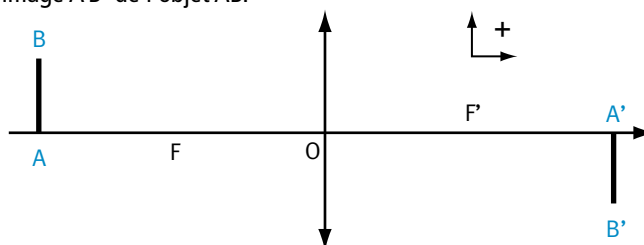


Activité 6 Si vous disposez d'une loupe, proposer une méthode permettant de déterminer la distance focale de cette lentille convergente en utilisant le soleil et un double décimètre.

3. Relation de conjugaison ; grandissement

a) Relation de conjugaison

Activité 7 Un groupe de TP utilise une lentille de distance focale $f' = 20,0$ cm et un objet AB de hauteur 3,6 cm (en fait une lettre d éclairée par une lampe). Ils forment sur un écran l'image A'B' de l'objet AB.



Ils effectuent plusieurs mesures en déplaçant l'objet AB. Les résultats de leurs mesures sont dans le tableau ci-dessous.

Mesures	1	2	3	4	5
$\overline{OA}$ (en m)	- 0,250	- 0,300	- 0,400	- 0,500	- 0,600
$\overline{OA'}$ (en m)	1,01	0,599	0,400	0,333	0,302
$\frac{1}{\overline{OA}}$ (en m ⁻¹)					
$\frac{1}{\overline{OA'}}$ (en m ⁻¹)					
$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$					
$\frac{1}{f'}$ (en m ⁻¹)					

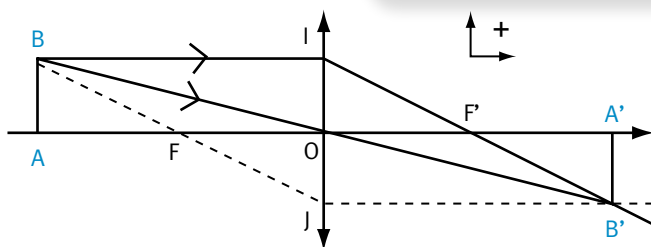
Ne pas oublier que ces formules concernent des grandeurs algébriques ; sur le schéma ci-dessus $\overline{OA'}$ est une grandeur positive, $\overline{OA}$ est une grandeur négative et f' est une grandeur positive.

- 1 De la mesure 1 à la mesure 5, l'objet AB s'éloigne-t-il ou se rapproche-t-il de la lentille ?
- 2 De la mesure 1 à la mesure 5, l'écran nécessaire pour voir l'image s'éloigne-t-il ou se rapproche-t-il de la lentille ?
- 3 La position de l'écran par rapport à la lentille dépend-elle de la position de l'objet ?
- 4 Remplir le tableau et comparer $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}$ à $\frac{1}{f'}$..

Recopier le résultat de la question 4 de l'activité précédente.

La relation $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$ trouvée dans l'activité précédente s'appelle la relation de conjugaison de Descartes.

Relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.



Nous allons la retrouver à partir de la construction suivante.

Considérons les triangles ABO et OA'B' ; ce sont des triangles semblables. Nous pouvons écrire : $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$.

Considérons les triangles A'B'F' et OIF' ; ce sont des triangles semblables. Nous pouvons écrire : $\frac{A'B'}{OI} = \frac{A'F'}{OF'}$ avec $OI = AB$ ce qui nous donne : $\frac{A'B'}{OI} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{A'F'}{OF'}$.

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} \text{ et } \frac{A'B'}{AB} = \frac{A'F'}{OF'}$$

$$\text{ce qui donne : } \frac{OA'}{OA} = \frac{A'F'}{OF'} = \frac{A'O + OF'}{OF'} = \frac{-OA' + OF'}{OF'}$$

$$\Rightarrow OA' \cdot OF' = -OA' \cdot OA + OF' \cdot OA$$

En divisant par : $OA \cdot OA' \cdot F'O$, on obtient la formule de conjugaison de

$$\text{Descartes : } \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

b) Grandissement

Activité 8 Reprendre l'activité 7 et remplir le tableau suivant.

① Comment varie la taille de l'image de la mesure 1 à la mesure 5 ?

② Remplir le tableau et comparer $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ et $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

Mesures	1	2	3	4	5
$\overline{OA}$ (en m)	-0,250	-0,300	-0,400	-0,500	-0,600
$\overline{OA'}$ (en m)	1,01	0,599	0,400	0,333	0,302
$\overline{A'B'}$ (en m)	-0,145	-0,071	-0,036	-0,024	-0,018
$\overline{AB}$ (en m)	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$					
$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$					

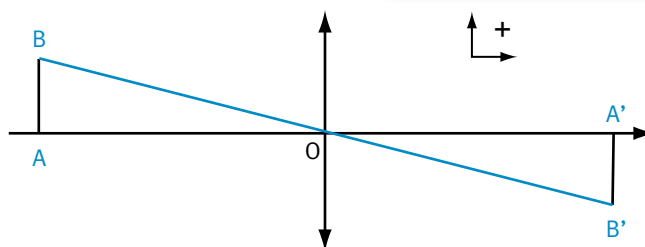
Recopier le résultat de la question 2 de l'activité précédente.

D'après les résultats de l'activité 5 :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

On peut aussi retrouver ce résultat en utilisant la construction graphique :

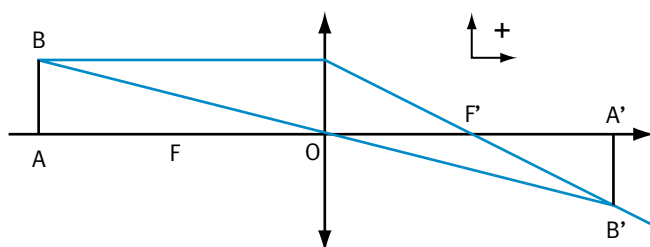
On appelle **grandissement** le rapport : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$



Considérons les triangles ABO et OA'B' ; ce sont des triangles semblables. Nous

pouvons écrire : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}$ ce qui nous donne : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

Les valeurs algébriques $\overline{A'B'}$ et $\overline{AB}$ sont repérées sur un axe perpendiculaire à l'axe optique de la lentille et orienté de bas en haut sur le schéma.



Lorsque le grandissement est positif, l'image est de même sens que l'objet.

Lorsque le grandissement est négatif, l'image est renversée.

Si la valeur absolue du grandissement est supérieure à 1, la taille de l'image est supérieure à celle de l'objet.

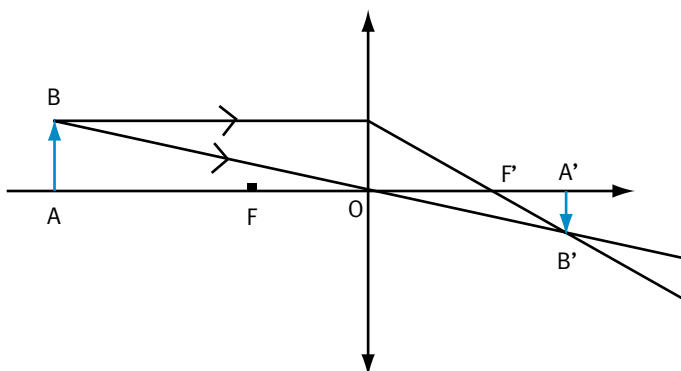
Le grandissement dépend, non seulement de la lentille, mais encore de la position de l'objet par rapport à la lentille.

4. Image réelle ; image virtuelle

a) Qu'est ce qu'une image réelle ?

L'image A'B' de l'objet-plan AB est réelle si elle peut se former sur un écran.

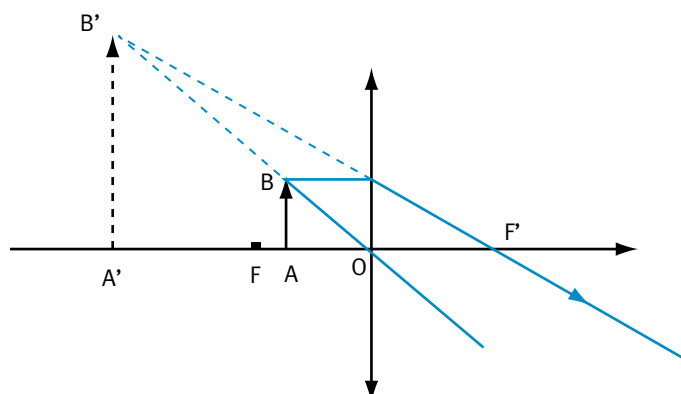
L'image est réelle si les rayons sortant de la lentille se dirigent tous vers l'image.



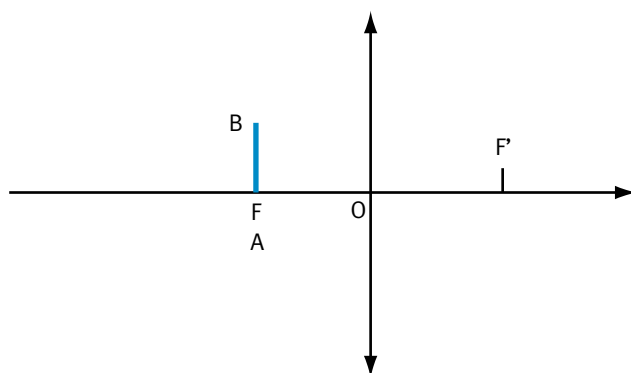
b) Qu'est ce qu'une image virtuelle ?

L'image A'B' de l'objet-plan AB est virtuelle si elle ne peut pas être observée sur un écran.

L'image est virtuelle si les rayons sortant de la lentille semblent tous provenir de l'image.



Activité 9 L'objet-plan AB est placé dans le plan focal ; où se trouve l'image A'B' ?

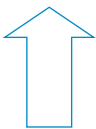
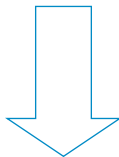


Activité 10 Un montage est constitué d'un objet éclairé par une lampe (représenté ci-dessous), d'une lentille et d'un dispositif pour observer l'image de l'objet de hauteur 1,27 cm.



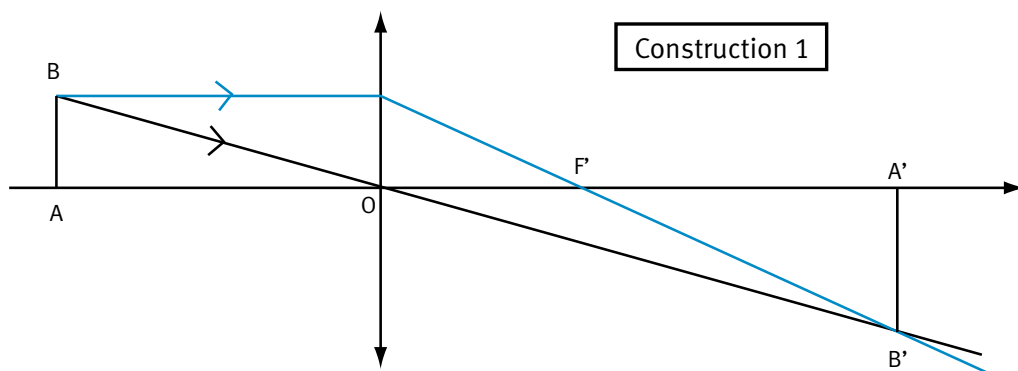
Selon le type de lentilles et selon la position de l'objet par rapport à la lentille, on voit différentes images qui sont représentées dans la première ligne du tableau.

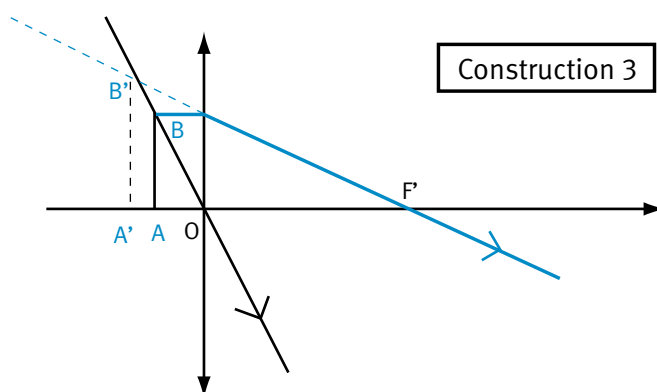
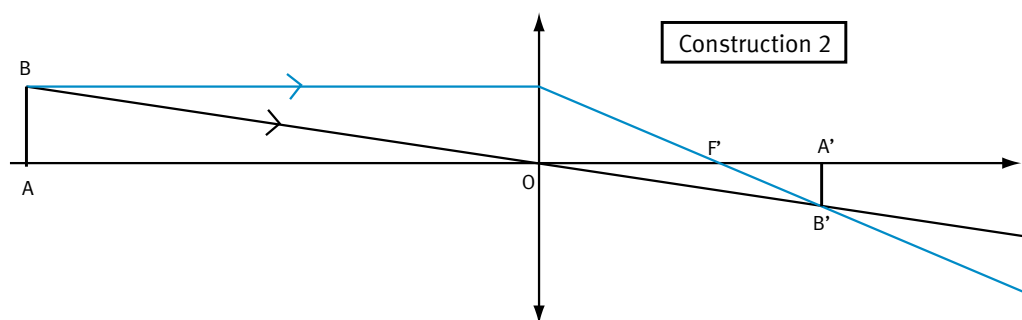
❶ Noter les caractéristiques des trois images obtenues (hauteur de l'image ; à l'endroit ou à l'envers).

Image observée à travers la lentille selon la position de l'objet	Image 1	Image 2	Image 3
Caractéristiques de l'image			

❷ Pour les images à l'envers, calculer le grandissement.

❸ Associer à chaque image la construction géométrique correspondante.





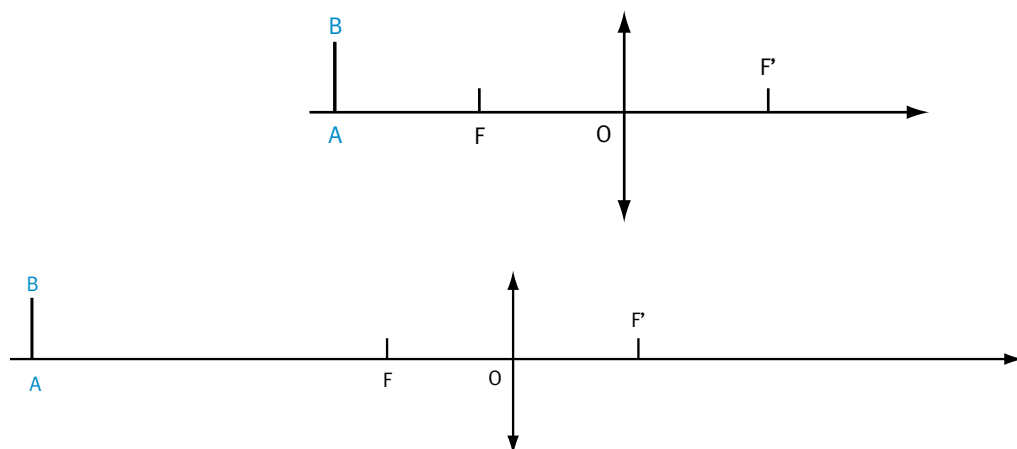
Fonctionnements comparés de l'œil et de l'appareil photographique

1. L'œil normal : accommodation

a) Vision d'un œil normal

Activité 11

- ❶ Avec quel(s) type(s) de lentilles peut-on former une image nette sur un écran ?
- ❷ Construire les images de l'objet AB dans les deux cas suivants (la lentille convergente est la même).



- ③ La position de l'écran par rapport à la lentille dépend-elle de la position de l'objet ?

Notez vos réponses :

- 1 –
3 –

En optique, on assimile l'œil à une lentille mince convergente munie d'un diaphragme et derrière laquelle se trouve un écran à une distance fixe de l'ordre de 16 à 18 mm.

Dans l'œil la position de "l'écran" (la rétine) est fixe par rapport à la "lentille" (l'ensemble cornée, humeur vitreuse, cristallin).

L'image doit toujours se former à la même distance de la lentille même lorsque la distance entre l'objet observé et l'œil varie.

On dit que l'œil accommode pour que l'image se forme toujours sur la rétine.

L'écran ne pouvant se déplacer, il faut que la distance focale de l'œil change : on a une lentille adaptative.

Le cristallin est une lentille souple qui peut être déformée et devenir ainsi plus ou moins convergente.

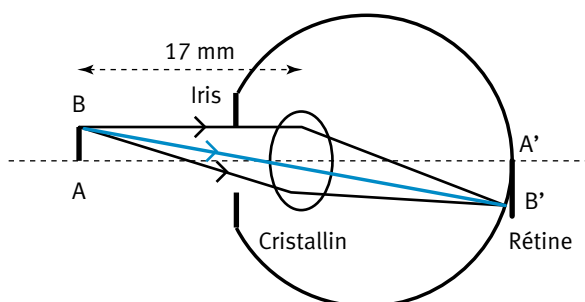
Lorsque nous regardons un objet lointain, nous le voyons net. Simultanément, un objet se trouvant plus près de nous sur le même axe nous paraît flou.

Si nous regardons maintenant cet objet rapproché, notre œil accommode sur celui-ci (nous le voyons net) et l'objet lointain devient flou.

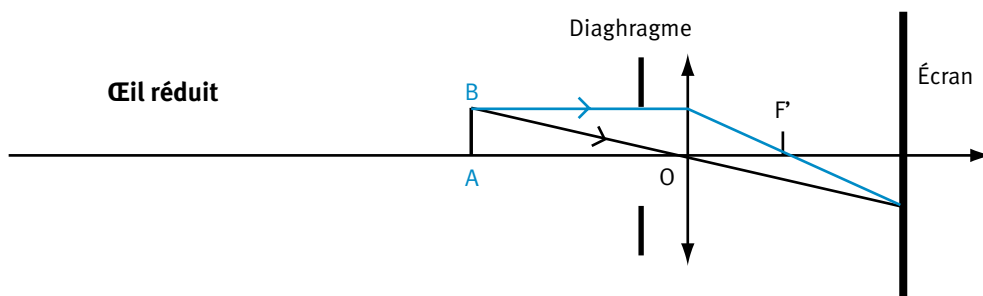
L'accommodation de l'œil se fait par des déformations du cristallin qui ajustent la convergence du système optique aux dimensions de l'œil pour que l'image soit nette sur la rétine.

L'œil accommode d'autant plus qu'il observe un objet proche.
Lorsque l'œil n'accommode pas, le cristallin est "aplati" et peu convergent.

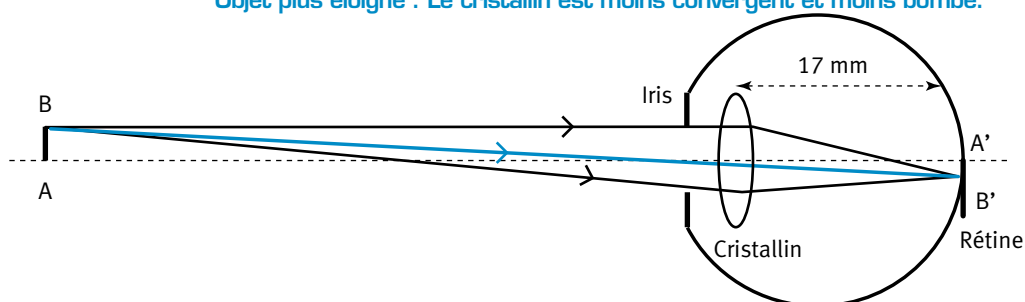
Objet proche :
Le cristallin est
plus convergent
(plus bombé).



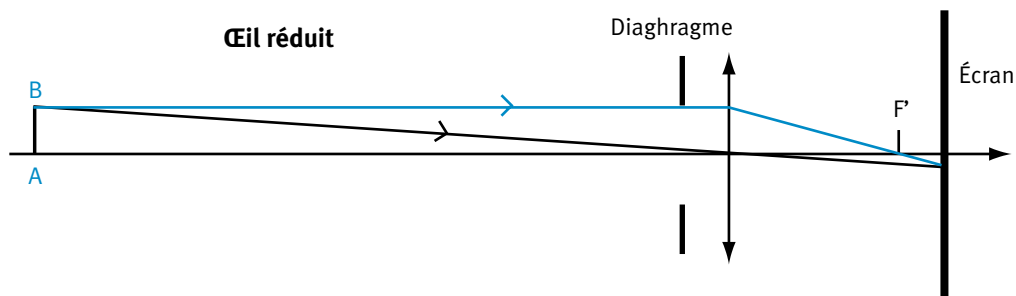
Œil réduit



Objet plus éloigné : Le cristallin est moins convergent et moins bombé.



Œil réduit



Activité 12

En utilisant deux schémas comme ci-dessus représenter deux rayons lumineux pour un objet à l'infini perçu distinctement par un œil normal. Faire figurer le foyer principal image.

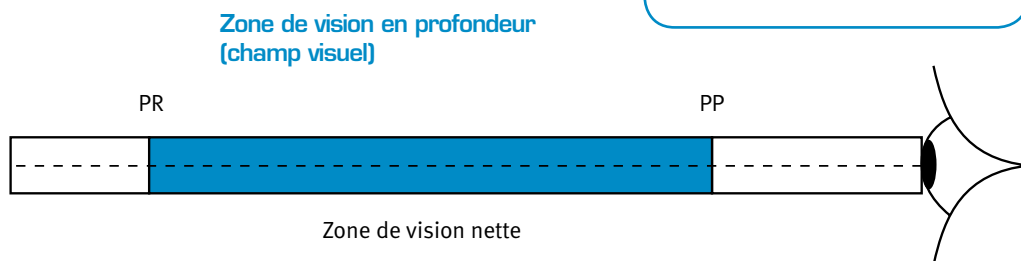
b) Zone de vision nette d'un œil normal (ou emmétrope)

Grâce aux déformations du cristallin, l'œil peut voir nettement des objets situés à des distances très variables.

Mais ces distances doivent rester entre deux limites (qui correspondent aux limites de déformations du cristallin).

La limite éloignée c'est-à-dire le point vu nettement sans accommoder est le **punctum remotum (PR)**.

La limite proche c'est-à-dire le point vu nettement en accommodant au maximum est le **punctum proximum (PP)**.

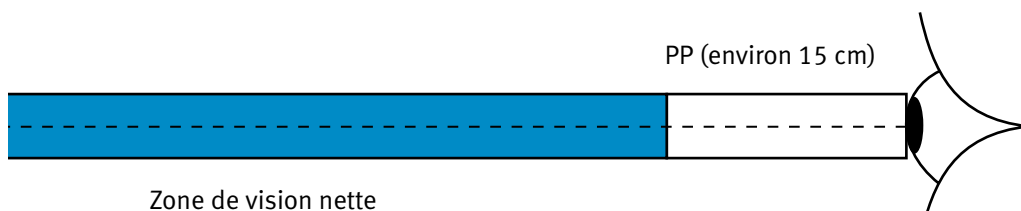


Activité 13 Expérience : placez votre main à environ 40 cm de l'œil puis approchez-la progressivement de l'œil.

À partir de quelle distance de l'œil les contours de la main deviennent-ils flous ? Quel est le punctum proximum correspondant à votre œil ?

Positions du punctum proximum et du punctum remotum pour un œil normal

Le punctum remotum est situé à l'infini. L'œil normal voit net à l'infini sans accommoder.



Le punctum proximum dépend des individus et de l'âge mais se situe environ à une quinzaine de centimètres.

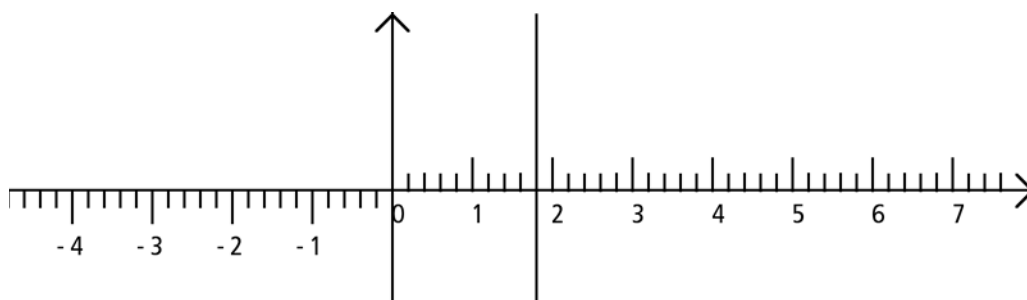
L'œil voit net en accommodant au maximum.

Activité 14 L'œil sera modélisé par une lentille de vergence $C = + 80 \delta$ et un écran situé à 18 mm de la lentille.

Placer la lentille de vergence $C = + 80 \delta$ à la position 0 de l'échelle graduée et placer ensuite l'écran.

- ① Chercher par construction graphique la position de l'objet AB de hauteur 4 mm qui permet d'avoir une image nette sur l'écran ; A est situé sur l'axe optique. Relever cette position.
- ② À quelle distance de la lentille (de l'œil modélisé) se trouve l'objet observé nettement ?

- 3 Quelles sont les caractéristiques de cette image ?
- 4 Influence de l'iris : rechercher sur Internet ou dans une encyclopédie quels seraient les changements de l'image obtenue sur l'écran si l'on ajoutait devant la lentille un diaphragme.



2) L'appareil photographique

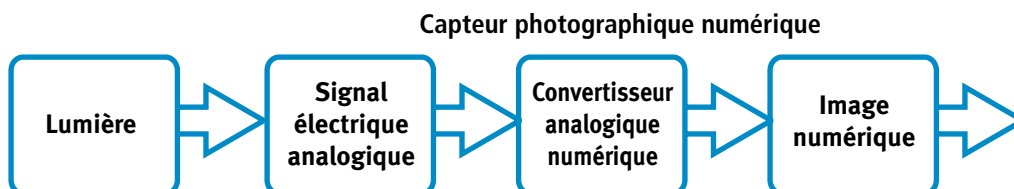
a) Description

Un appareil photographique est constitué d'un objectif et d'un « capteur d'images » (pellicules ou cellules).

Le boîtier de l'objectif comprend :

- ▶ un ensemble de lentilles,
- ▶ un diaphragme,
- ▶ et un obturateur.

Un capteur photographique est un composant électronique photosensible.



Le capteur convertit la lumière en un signal électrique analogique.

Ce signal est ensuite numérisé par un convertisseur analogique-numérique après avoir été amplifié.

Le signal permet d'obtenir une image numérique.

Le capteur est l'équivalent de la pellicule en photographie argentique.

Activité 15 Rechercher quelles sont les deux grandes familles de capteurs photosensibles.

Activité 16 Rechercher les différences existant entre un appareil numérique compact, un appareil numérique « bridge » et un appareil numérique « réflex ».

La taille du capteur est-elle la même sur ces trois types d'appareils ?

b) Mise au point

La mise au point est l'opération qui consiste à régler la netteté de l'image. Dans le cas de l'œil, on parle d'accommodation mais le phénomène est similaire.

Dans un appareil photographique, la mise au point se fait par déplacement de l'objectif. Elle est optimale quand la surface des capteurs coïncide avec le plan où se forme l'image. Lorsque l'objet est très éloigné, son image se forme dans le plan focal image de l'objectif. La distance entre l'objectif et l'image est alors la plus courte.

À mesure que l'objet se rapproche, son image s'éloigne : on doit d'autant plus écarter l'objectif de la surface sensible que l'objet à photographier est proche.

3. Comparaisons

a) Analogies

L'œil et l'appareil photographique fonctionnent presque de la même façon : certains constituants de l'appareil photographique ont exactement le même rôle que certains éléments de l'œil.

La mise au point dans le cas de l'appareil photographique correspond à l'accommodation pour l'œil.

Activité 17

On souhaite comparer l'œil et l'appareil photographique.

Placer dans le tableau les mots suivants correspondant à l'appareil photographique : ouverture, ensemble de lentilles, diaphragme, obturateur, mise au point, boîtier, cellules photo-sensibles (ou pellicules).

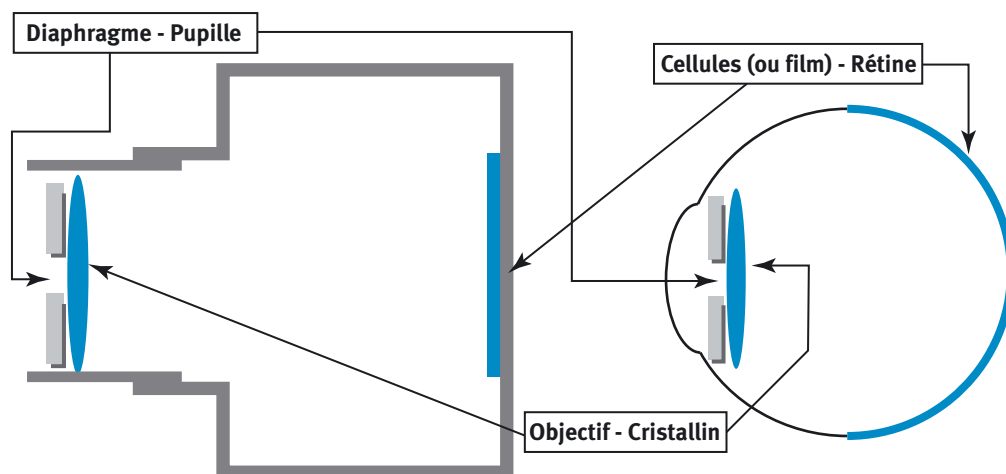
Oeil	Appareil photographique
paupière	
cristallin	
iris	
pupille	
rétine	
accommodation	
sclérotique rigide	

b) Différences

Les différences entre l'œil et l'appareil photographique sont notées dans le tableau ci-dessous.

	Oeil	Appareil numérique	Appareil argentique
Lentille	élastique	rigide	rigide
Nombre d'expositions	constamment	constamment	une seule fois
Images	droite	droite	À l'envers
Résolution	élevée	moyenne	basse
Images	subjectives	objectives	objectives

Les appareils sont de plus en plus dotés de zooms performants assurant un avantage certain sur l'œil.



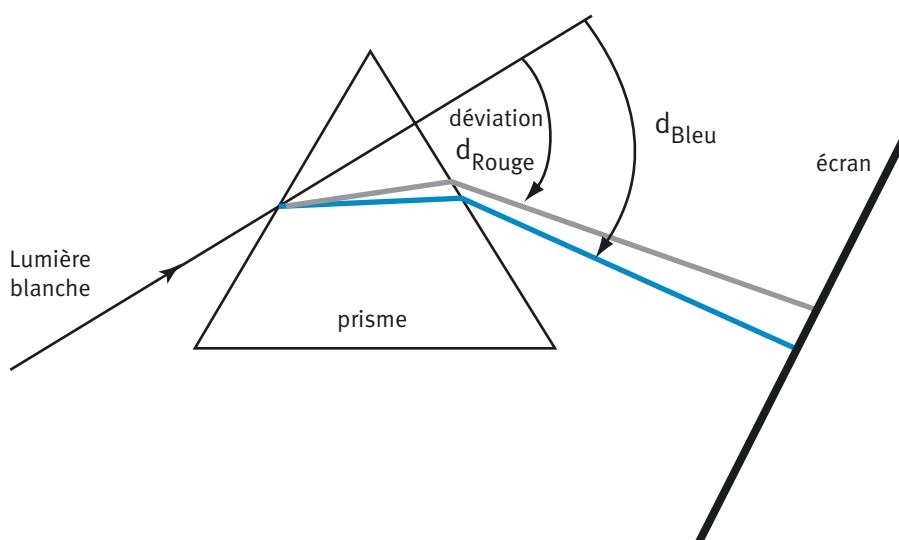
Couleur des objets

1. Décomposition de la lumière

Décomposition de la lumière blanche

Tout corps solide porté à haute température émet de la lumière blanche (filament d'une lampe par exemple)

Nous avons vu en seconde que la lumière est déviée et décomposée par un prisme.



Le spectre de la lumière blanche est composé de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Le spectre est continu du rouge au violet ; il n'y a pas de couleurs qui manquent dans le spectre.

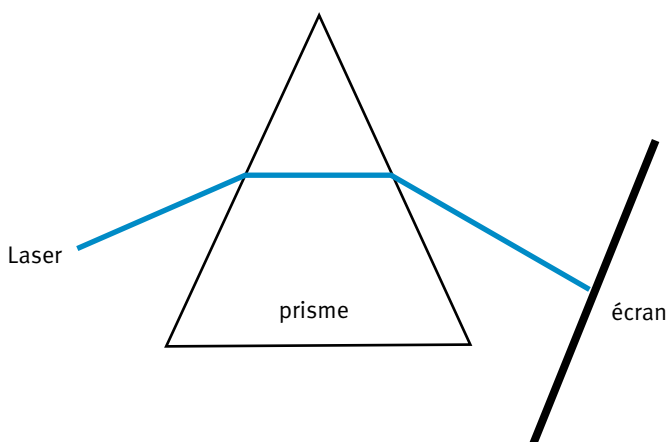
Tout corps solide porté à haute température émet donc un spectre continu.



Cas d'un laser

Si le faisceau rouge d'un laser est dirigé sur la face du prisme ; nous n'observons qu'une seule couleur sur l'écran : la couleur rouge initiale.

La lumière produite par un laser est constituée d'une seule radiation (lumière monochromatique) alors que la lumière blanche est constituée de plusieurs radiations (lumière polychromatique).



Décomposition de la lumière émise par une lampe à mercure p. I

On éclaire une fente avec de la lumière émise par une lampe à mercure ; le faisceau obtenu est dirigé sur la face du prisme.

On observe sur l'écran des radiations distinctes : **un spectre de raies**.

La lumière émise par la lampe de mercure est polychromatique : elle contient plusieurs radiations lumineuses.



2. Synthèse de la lumière

Les radiations lumineuses séparées par le prisme redonnent, quand on les superpose, la lumière blanche initiale.

La lumière blanche résulte de la superposition de toutes les radiations monochromatiques du spectre visible.

Il existe trois couleurs primaires : le rouge, le vert, le bleu.

Le spectre continu obtenu à l'aide du prisme peut grossièrement être subdivisé en trois zones : rouge, vert, bleu.

Ces trois couleurs sont appelées couleurs primaires.

Activité 18

Si nous observons à travers un filtre rouge les caractères rouges sur fond blanc d'un journal publicitaire, les caractères se distinguent mal du fond qui apparaît rouge.

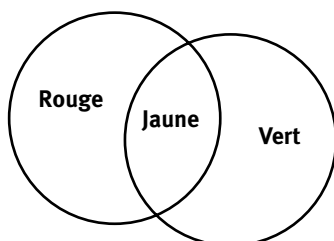
Si nous observons ces mêmes caractères à travers un filtre vert : les caractères apparaissent en noir sur fond vert.

Qu'observera-t-on à travers un filtre bleu ?

Propositions	Vrai ou faux
Les caractères apparaissent en noir sur fond bleu	
Les caractères apparaissent en noir sur fond vert	
Les caractères apparaissent en noir sur fond noir	

a) Synthèse additive

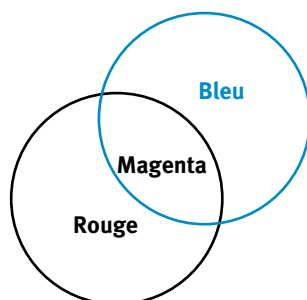
- Utilisons deux sources de lumière blanche, l'une munie d'un filtre de base rouge et l'autre d'un filtre de base vert et superposons partiellement les deux faisceaux sur un écran.



rouge + vert → jaune (J)

La superposition du rouge et du vert donne du jaune.

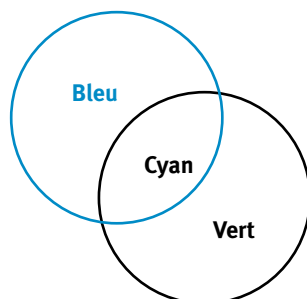
- La première est maintenant munie d'un filtre de base rouge et la deuxième d'un filtre de base bleu ; superposons les deux faisceaux sur un écran.



rouge + bleu → magenta (M)

La superposition du rouge et du bleu donne du magenta.

- bleu et la deuxième d'un filtre de base vert ; superposons les deux faisceaux sur un écran.



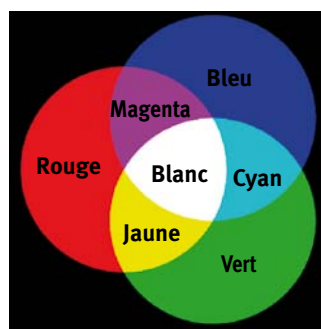
bleu + vert → cyan (C)

La superposition du bleu et du vert donne du cyan.

Le jaune, le magenta et le cyan sont appelées couleurs secondaires.

Utilisons trois sources de lumière blanche, chacune munie d'un filtre de base rouge, vert ou bleu et superposons les trois faisceaux sur un écran.

Il existe trois couleurs secondaires : le cyan, le magenta, le jaune.



Voir le site : http://ww2.ac-poitiers.fr/sc_phys/spip.php?article140 .

La superposition des 3 couleurs primaires donnent du blanc.

Chaque point de l'écran reçoit les trois couleurs et les renvoie : c'est la synthèse additive.

rouge + vert + bleu → blanc

bleu + {rouge + vert} → blanc ce qui donne : **bleu + jaune → blanc**

Le jaune est donc la couleur complémentaire du bleu.

rouge + {vert + bleu} → blanc ce qui donne : **rouge + cyan → blanc**

Le cyan est donc la couleur complémentaire du rouge.

vert + {rouge + bleu} → blanc ce qui donne : **vert + magenta → blanc**

Le magenta est donc la couleur complémentaire du vert.

La synthèse additive peut être réalisée avec plus de trois couleurs pour améliorer le rendu de certaines couleurs.

La synthèse additive est utilisée pour les sources lumineuses des écrans LCD, les vidéoprojecteurs ...

Dans un écran LCD chaque pixel de l'image est en fait constitué par 3 pixels (rouge, vert, bleu). Il est facile de les observer directement sur l'écran à l'aide d'une loupe.

b) Synthèse soustractive

Un filtre coloré absorbe certaines couleurs et transmet les autres : la couleur que nous lui attribuons est celle qu'il laisse passer.

Utilisons une source de lumière blanche, munie d'un filtre coloré de base vert.

Le filtre vert laisse passer le vert et absorbe les autres couleurs (bleu et rouge); il « **soustrait** » le bleu et le rouge.

C'est la synthèse soustractive des couleurs.

Filtres primaires : rouge, bleu et vert.

Le filtre vert « soustrait » le bleu et le rouge et laisse passer le vert.

Le filtre bleu « soustrait » le vert et le rouge et laisse passer le bleu.

Le filtre rouge « soustrait » le bleu et le vert et laisse passer le rouge.

Activité 19

Si nous utilisons une source de lumière blanche, munie deux filtres primaires rouge et vert superposés, qu'observera-t-on sur un écran ?

Filtres secondaires : jaune, magenta, cyan.

Le filtre magenta « soustrait » le vert et transmet le (rouge + bleu).

Le filtre jaune « soustrait » le bleu et laisse passer le (rouge + vert).

Le filtre cyan « soustrait » le rouge et transmet le (bleu + vert).

Activité 20 Si nous utilisons une source de lumière blanche, munie de filtres superposés, qu'observera-t-on sur un écran ?

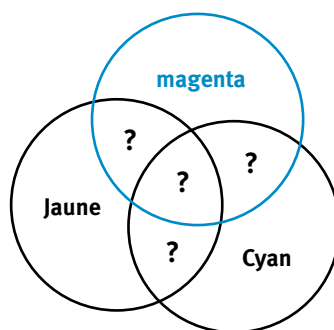
Superposition des filtres :	Couleurs soustraies	Observation sur l'écran
cyan + jaune		
jaune + magenta		
cyan + magenta		
cyan + jaune + magenta		

La synthèse soustractive des couleurs est une méthode qui consiste à retrancher certaines couleurs à la lumière blanche.

Activité 21 Observons un magazine à travers des filtres colorés ; remplir le tableau suivant en notant les couleurs observées

Couleur sur le magazine	Couleur du filtre	Observation
vert	jaune	
rouge	vert	
jaune	bleu	
blanc	vert	
rouge	jaune	
jaune	jaune	
rouge	rouge	

Activité 22 Compléter le schéma suivant.



Voir le site : http://ww2.ac-poitiers.fr/sc_phys/spip.php?article139.

3. Vision des couleurs

a) L'œil et la vision des couleurs

L'œil perçoit les couleurs primaires (rouge, verte et bleue) grâce à 3 types de cellules rétinienne spécifiques appelées cônes.

Ces signaux sont ensuite transmis par le nerf optique vers le cerveau. Le cerveau élabore alors la sensation colorée.

Le daltonien ne dispose pas des 3 canaux normaux pour former les couleurs ; le daltonien ne forme les couleurs qu'à l'aide de 2 canaux quand l'un des canaux est absent ou déficient.

La trichromie

La trichromie rassemble en une seule théorie les principes de la synthèse additive et de la synthèse soustractive : trois couleurs suffisent à créer toutes les autres.

Ce système, qui découle du principe de la vision humaine, est donc basé sur trois couleurs fondamentales : le rouge, le vert et le bleu (RVB ou RGB en anglais).

Le cercle chromatique permet d'appliquer le modèle trichromatique.



b) Couleur spectrale et couleur perçue

Couleur spectrale

La couleur spectrale correspond au mélange de certaines couleurs du spectre continu de la lumière blanche (ou celui de l'arc-en-ciel). La proportion de chacune de ces « couleurs » peut être déterminée en décomposant le faisceau coloré avec un prisme. Toute lumière colorée est un ensemble de « composants spectraux ».

Couleur perçue

La couleur perçue est ce que l'œil transmet au cerveau grâce aux 3 types de cônes. L'œil peut voir de façon identique différents mélanges de couleurs « spectrales ».

c) Couleur d'un objet

La couleur que possèdent les objets qui nous entourent dépend de la lumière qu'ils diffusent.

Lorsqu'elle traverse des milieux différents

- une partie de la lumière est **transmise** à travers le second milieu s'il est transparent,
- une partie est **absorbée**,
- une partie est **réfléchie**.

Quelle est la couleur d'un objet éclairé par une lumière blanche

Lors de la diffusion une partie de la lumière blanche reçue est absorbée tandis que l'autre est renvoyée et donne sa couleur à l'objet : un objet rouge absorbe toutes les couleurs de la lumière blanche, sauf le rouge.

Éclairé par une lumière blanche un objet possède la couleur de la lumière qu'il n'absorbe pas.

Quelle est la couleur d'un objet éclairé par une lumière colorée ?

Si un objet n'est éclairé que par des lumières qu'il absorbe il semblera noir.

Exemple : un objet rouge éclairé par une lumière bleue apparaît noir.

Si un objet est éclairé par une lumière qui comporte la couleur qu'il n'absorbe pas il garde sa couleur d'origine.

La couleur d'un objet dépend de la couleur de la lumière qui l'éclaire.

Exemple : un objet rouge éclairé par une lumière jaune (mélange de rouge et de vert) apparaît rouge.

Activité 23 Compléter le tableau suivant.

		Objets colorés		
		Rouge	Vert	Bleu
Couleur de la lumière	Rouge			
	Vert			
	Bleu	Noir		
	Cyan			
	Magenta			
	Jaune	Rouge		
	Blanc			
	Noir			

d) Principe de la restitution des couleurs par un écran

L'affichage d'un pixel d'un écran (point image) correspond au **mélange des couleurs primaires** émises par trois phosphores, bleu, vert et rouge sous l'effet d'un signal vidéo.

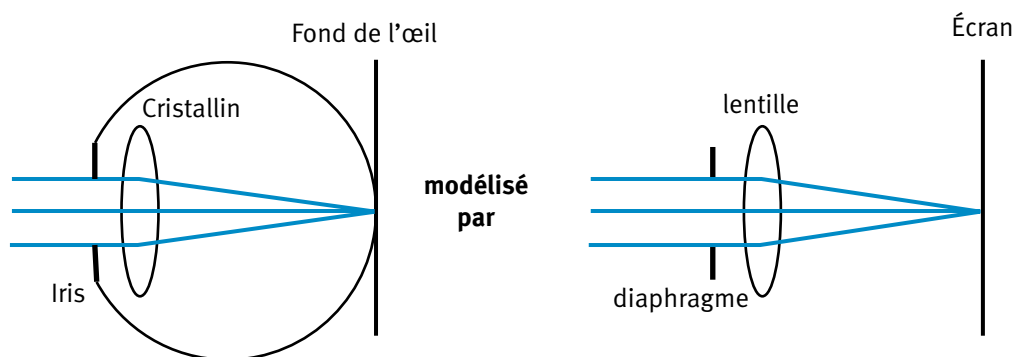
Pour reproduire la vision naturelle, il faut travailler sur un nombre important de couleurs et sur l'intensité lumineuse de ces couleurs.

Les cartes graphiques gèrent 16.7 millions de couleurs (24 bits/pixels).

L'œil permet de trier facilement un millier de couleurs. Les professionnels « de l'image » sont capables de trier beaucoup plus de couleurs.

Résumé

L'œil est un système optique qui peut être modélisé par un diaphragme, une lentille et un écran.



Éléments caractéristiques d'une lentille mince convergente : l'axe optique, le centre optique, les foyers, la distance focale

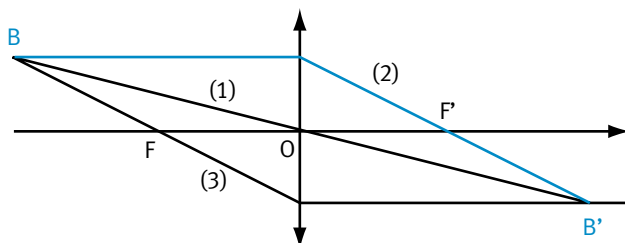
La vergence V d'une lentille s'exprime, en fonction de la distance focale f' , par la relation : $V = \frac{1}{f'}$.

Rayons utiles pour construire l'image B' d'un point B .

- ▶ Tout rayon passant par le centre optique d'une lentille ne subit aucune déviation. (1)
- ▶ Le rayon issu de B parallèle à l'axe optique sort de la lentille avec une direction passant par le foyer image F' . (2)
- ▶ Le rayon issu de B dont la direction passe par le foyer objet F , sort de la lentille parallèle à l'axe optique. (3)

Relation de conjugaison de

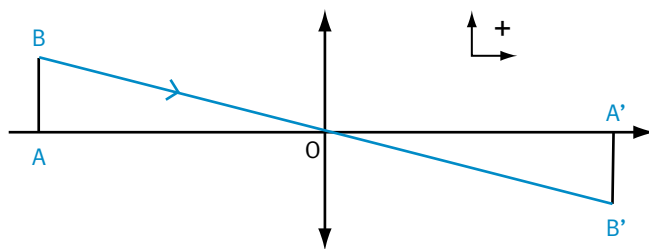
Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$



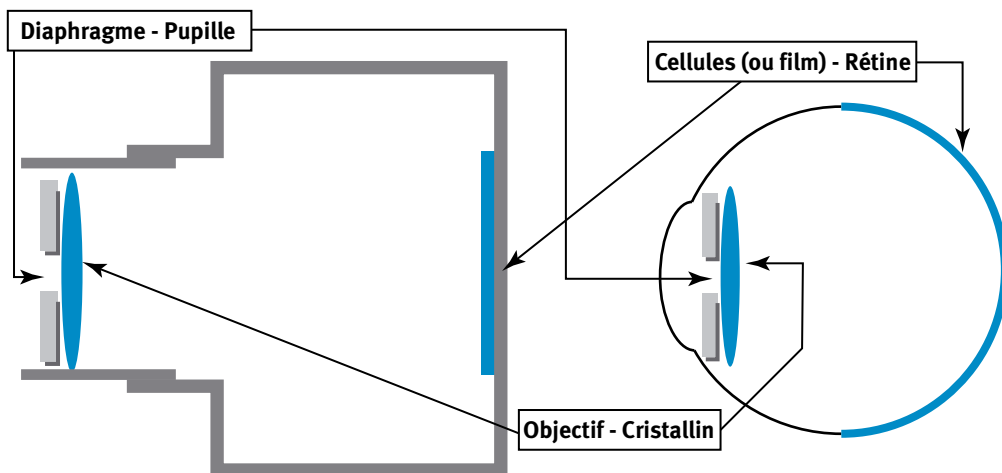
On appelle **grandissement**

le rapport : $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$

On dit que l'œil accommode pour que l'image se forme toujours sur la rétine.



Comparaison entre l'œil et l'appareil photographique :



Synthèse additive

Il existe trois couleurs primaires : le rouge (R), le vert (V), le bleu (B).

Il existe trois couleurs secondaires : le cyan, le magenta, le jaune.

La superposition du rouge et du vert donne du jaune.

rouge + vert → jaune (J)

La superposition du rouge et du bleu donne du magenta.

rouge + bleu → magenta (M)

La superposition du bleu et du vert donne du cyan.

bleu + vert → cyan (C)

Synthèse soustractive

Le filtre vert « soustrait » le bleu et le rouge et laisse passer le vert.

Le filtre bleu « soustrait » le vert et le rouge et laisse passer le bleu.

Le filtre rouge « soustrait » le bleu et le vert et laisse passer le rouge.

Le filtre magenta « soustrait » le vert et transmet le (rouge + bleu).

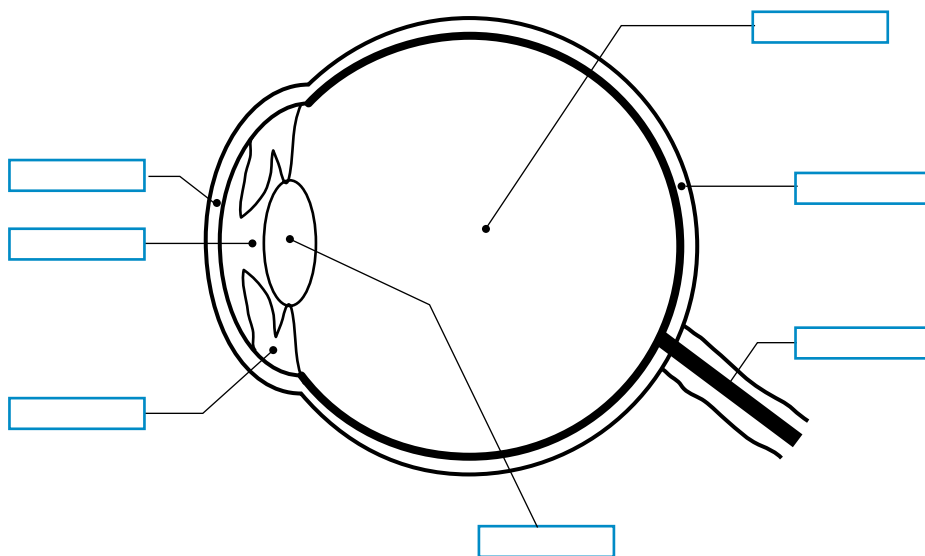
Le filtre jaune « soustrait » le bleu et laisse passer le (rouge + vert).

Le filtre cyan « soustrait » le rouge et transmet le (bleu + vert).

E

exercices

Exercice 1 L'œil



Compléter les cases vides.

Exercice 2 L'œil modélisé

Quelle est la correspondance entre les différents éléments de l'œil marqués dans la 1^{re} ligne du tableau et ceux (écran, lentille, diaphragme) de l'œil modélisé ou réduit ? On remplira le tableau ci-dessous.

œil	cristallin (+humeur vitrée)	iris	rétine
œil modélisé			

Exercice 3 L'œil et l'appareil photographique

Quelle est la correspondance entre les différents éléments de l'œil marqués dans la 1^{re} ligne du tableau et ceux d'un appareil photographique ? On remplira le tableau ci-dessous.

œil	cristallin (+humeur vitrée)	iris	rétine
Appareil photographique	objectif	diaphragme	Cellules (ou film)

Exercice 4 Lentilles convergentes

Les phrases ci-dessous étant inachevées, le but de cet exercice est de les compléter en remplaçant les pointillés par les mots qui conviennent :

- Un rayon lumineux passant par le d'une lentille en ressort parallèlement à l'axe optique.
- Un faisceau de rayons lumineux, parallèle à l'axe principal converge, à la sortie de la lentille en un point appelé
- Quand un objet ponctuel est situé dans le plan focal objet son image se trouve
- Sur un axe orienté dans le sens de parcours de la lumière, la valeur algébrique de la distance entre le centre optique et un point M situé sur l'axe optique peut être positive ou négative. Concernant le foyer image d'une lentille convergente, elle est si bien que la distance focale est

Exercice 5 Vergence et distance focale

Compléter le tableau suivant.

Vergence	+ 5 δ	+ 10 δ	- 10 δ	+ 20 δ
Type de lentille				
Distance focale				

Exercice 6 Vergence d'une association de lentilles

Une lentille convergente L_1 a une distance focale de + 8 cm.

- Quel est le signe de sa vergence ? Calculer sa vergence.
- Sachant que deux lentilles accolées sont équivalentes à une seule qui aurait pour vergence la somme des vergences de ces deux lentilles, déterminer la distance focale de la lentille qu'il faudrait accoler à la lentille L_1 pour que l'association soit équivalente à une seule lentille convergente de vergence + 15 δ .

Exercice 7 Convergence et distance focale

- On considère trois lentilles convergentes de distances focales connues ; quelle est la lentille la plus convergente ?

Justifier votre réponse.

Distance focale	+ 5 cm	+ 10 cm	+ 20 cm
-----------------	--------	---------	---------

- On considère trois lentilles convergentes de vergences connues ; quelle est la lentille la plus convergente ?

Justifier votre réponse.

Vergence	+ 5 δ	+ 10 δ	+ 20 δ
----------	--------------	---------------	---------------

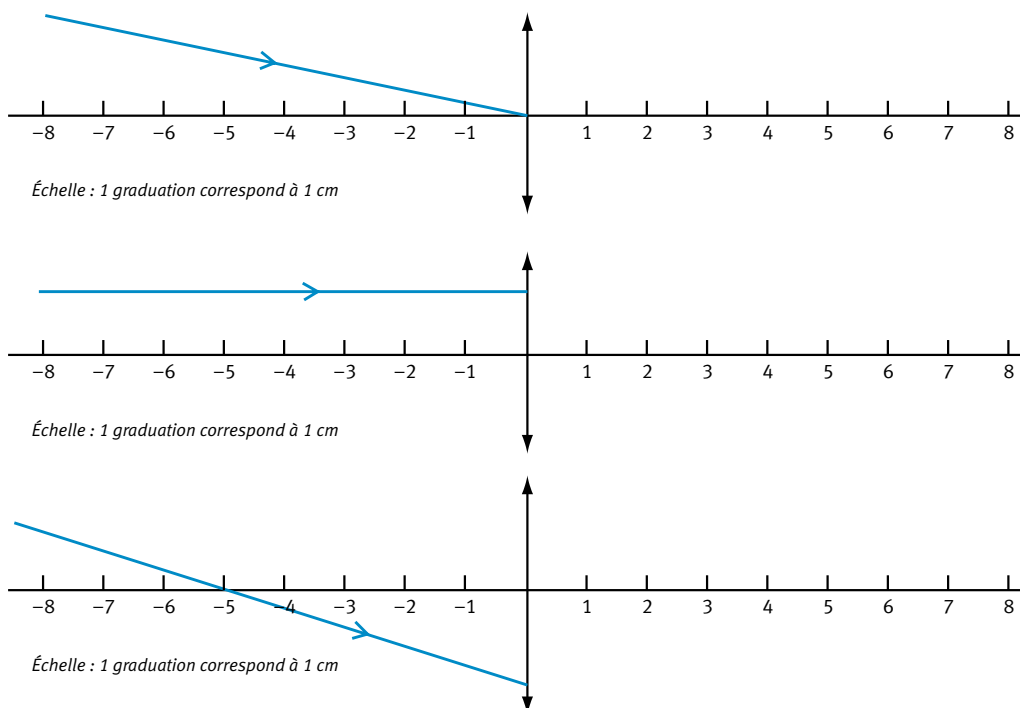
- ③ On admet que deux lentilles accolées sont équivalentes à une seule qui aurait pour vergence la somme des vergences de ces deux lentilles.

- a) Faut-il augmenter ou diminuer la vergence pour augmenter la convergence d'une lentille ?
- b) Quel type de lentilles doit-on accoler à une lentille convergente pour diminuer la convergence de cette lentille ?

Exercice 8 Tracés de rayons particuliers pour une lentille convergente

Une lentille convergente a une distance focale de 5 cm.

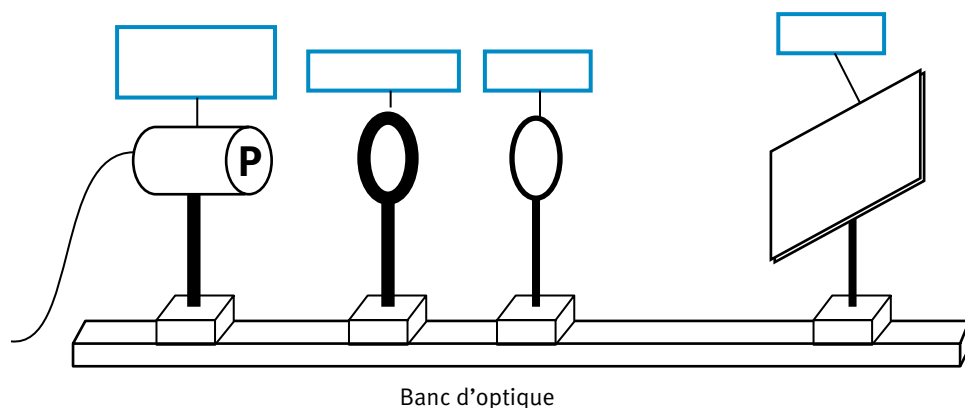
Placer le centre optique O, les foyers F et F' et prolonger les rayons lumineux sur les trois schémas suivants.



Exercice 9 Banc d'optique

Placez sur le schéma suivant les noms des différents appareils utilisés.

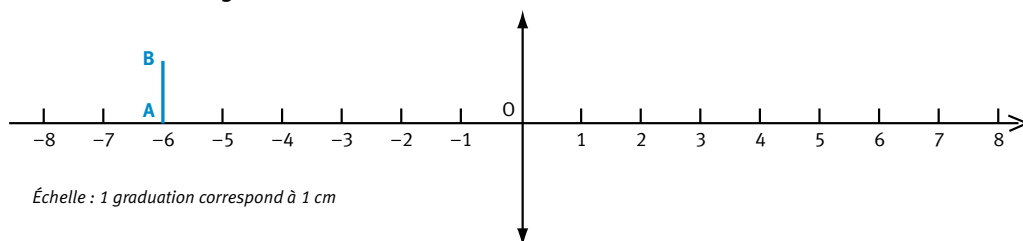
Ecran, lentille, diaphragme, lampe avec lettre objet.



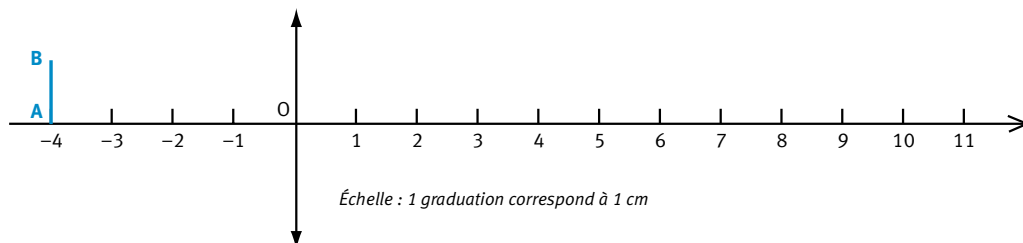
Exercice 10 Images données par une lentille convergente

Tracer, pour les trois cas suivants, l'image de l'objet AB sachant que la distance focale de la lentille est égale à 3 cm.

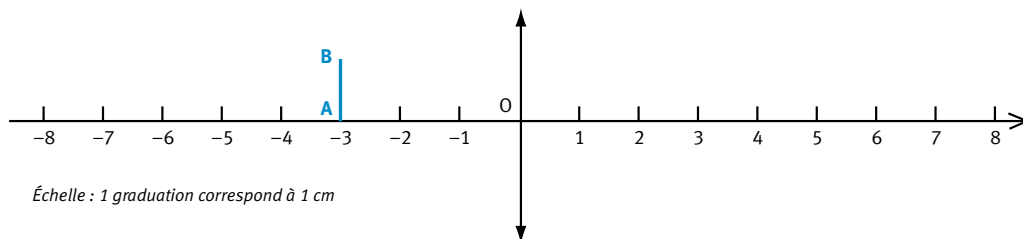
1^{er} cas – Indiquer à quelle distance de la lentille se forme l'image et quel est le grandissement.



2^e cas – Indiquer à quelle distance de la lentille se forme l'image et quel est le grandissement.



3^e cas – Dans ce 3^e cas, où se forme l'image ?



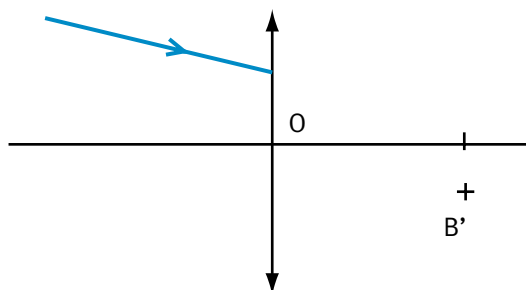
Exercice 11 Vrai ou faux

Données pour les affirmations 1 et 2 : on dispose d'une lentille convergente de distance focale : $f' = 10$ cm.

→ Affirmation 1 : Cette lentille a une vergence $V = 0,10$ δ.

→ Affirmation 2 : L'image A'B' d'un objet AB placé devant la lentille, à 60 cm du centre optique se forme derrière la lentille, à 12 cm du centre optique. On utilisera la la formule de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.

→ Affirmation 3 : Après avoir traversé la lentille, le rayon (1) passe par le point B'.

**Exercice 12 Image réelle ou virtuelle ?**

Donner la nature et la position de l'image A'B' d'un objet AB à travers une lentille convergente, de distance focale +30 cm. Le positionnement de AB est tel que $\overline{OA} = -15$ cm. La position de A' sera donnée par la valeur de $\overline{OA'}$.

Faire une construction graphique et placer l'objet AB et l'image A'B'.

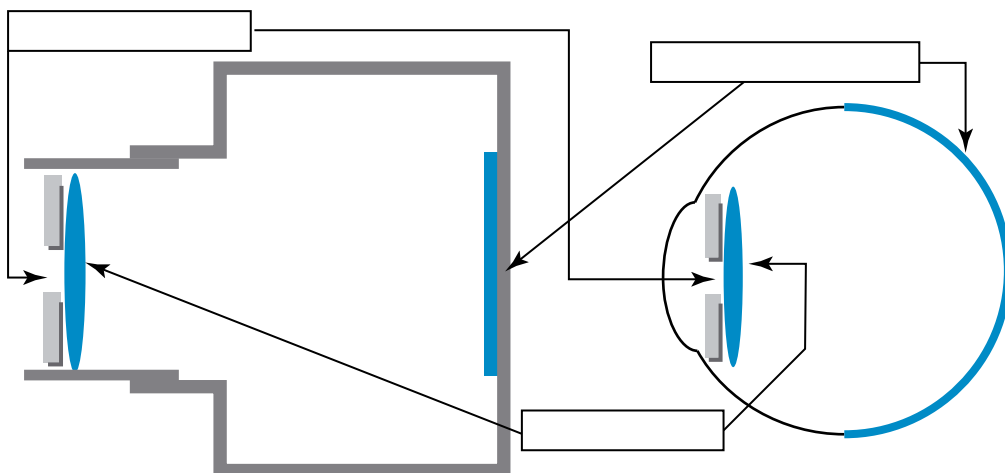
Exercice 13 Position de l'objet

On dispose un objet AB orthogonalement à l'axe optique d'une lentille convergente L_1 de distance focale image $f' = 20$ cm.

- ① Quelle doit être la valeur $\overline{O_1A}$ de la position de l'objet par rapport au centre optique O_1 de L_1 pour que le grandissement transversal soit égal à $-\frac{1}{2}$?
- ② Quelle est alors la position $\overline{O_1A'}$ de l'image A'B' par rapport à O_1 ?
- ③ L'image est-elle réelle ou virtuelle ?
- ④ Faire une construction graphique et placer l'objet AB et l'image A'B'.

Exercice 14 Appareil photographique et œil

Compléter les schémas ci-dessous en plaçant dans les cases les éléments qui se correspondent.



Exercice 15 Distance focale

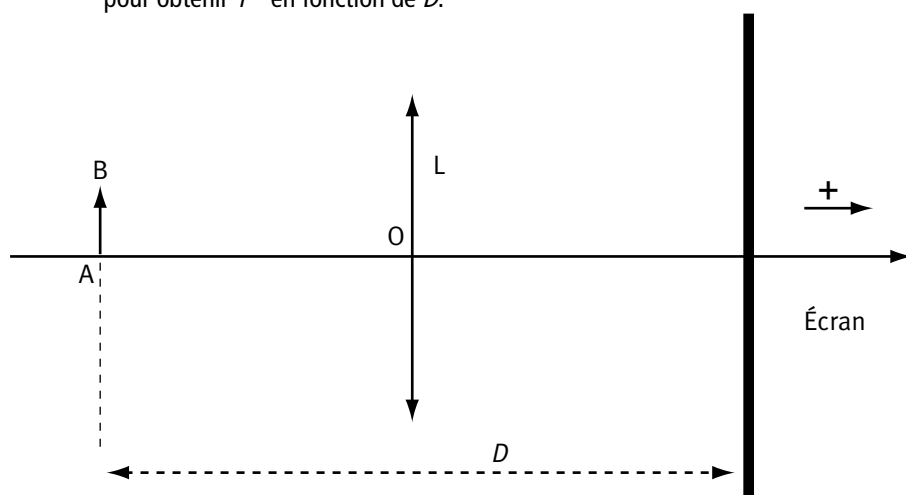
L'objet réel AB placé à 35 cm de la lentille (L) donne une image nette A'B' de cet objet sur un écran (E) situé à 46,5 cm de la lentille.

Déterminer la distance focale f' de cette lentille.

Exercice 16 Méthode de Silbermann

L'objet AB étant fixe, sa position sera prise comme origine sur l'axe optique. On cherche les positions de la lentille (L) de centre optique O et de l'écran (E) telles que le grandissement transversal $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = -1$. La distance objet-écran est alors D .

Utiliser la relation de conjugaison de Descartes et l'expression du grandissement pour obtenir f' en fonction de D .



On mesure $D = 80,4$ cm. En déduire la distance focale f' de (L).

Exercice 17 Association de lentilles

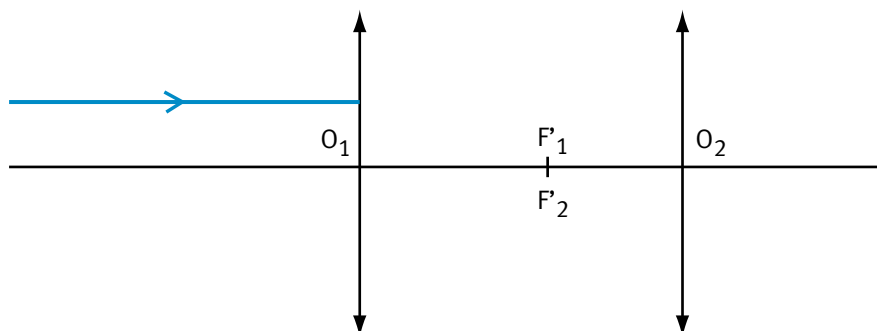
Deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 , dont les axes coïncident ont pour caractéristiques respectives :

centres : O_1 et O_2 ,

foyers objets : F_1 et F_2 ,

foyers images : F_1' et F_2' ,

Elles sont à une distance telle que $\overline{F_1'F_2} = 0$.



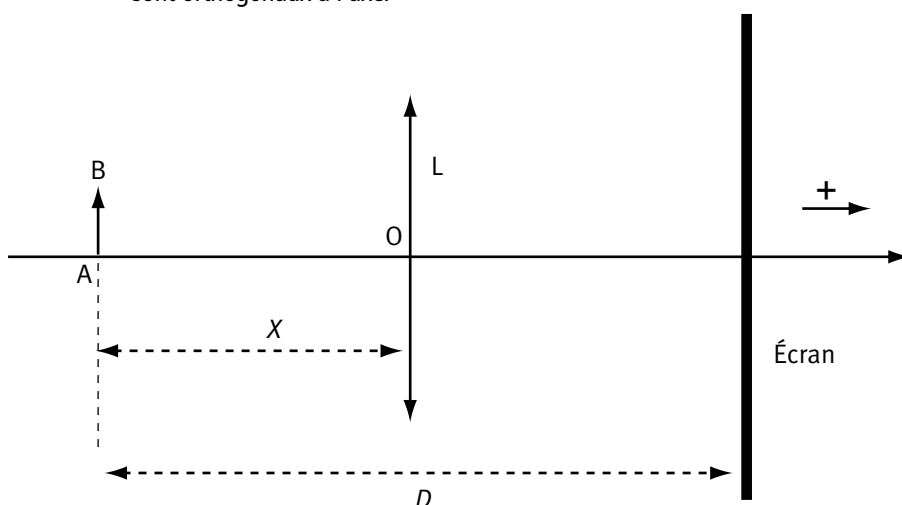
Un rayon arrive sur L_1 tout en étant parallèle à l'axe optique ; tracer le rayon entre L_1 et L_2 puis après la lentille L_2 .

Exercice 18 Méthode de Bessel

- ① Rappeler la formule de conjugaison de Descartes qui précise la position, sur l'axe optique, des points conjugués A et A'

Grâce à la lentille convergente L , de distance focale f' , on projette, sur un écran, l'image nette A'B' d'un objet réel lumineux AB.

Objet et écran, fixes et distants de D (constante positive) sur un banc optique, sont orthogonaux à l'axe.



- ② Proposer une construction géométrique de l'image $A'B'$.
- ③ On pose $\overline{AO} = x$ (variable positive). Exprimer, en fonction de x et D , la quantité algébrique $\overline{OA'}$.
- ④ Montrer que la formule de conjugaison permet d'établir une relation entre x , D et f' , relation qui se présente sous la forme d'une équation du second degré en x .

Exercice 19 Synthèse des couleurs

Un éclairagiste de spectacle braque sur un acteur le faisceau d'un projecteur muni d'un filtre rouge, ce dernier semble alors tout rouge.

- ① S'il dirige sur lui le faisceau d'un deuxième projecteur équipé d'un filtre vert, quelle sera la couleur de l'acteur ?
- ② Que faudrait-il faire pour qu'il soit blanc ?

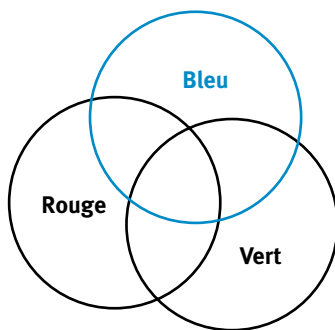
Exercice 20 Peinture et couleurs

Les pigments contenus dans une couleur renvoient vers notre œil la, ou les, couleurs primaires qui composent la nuance de cette couleur et absorbent toutes les autres.

- ① Si vous mélangez des peintures jaune et cyan, quelle sera la couleur qui sera observée ?
- ② Qu'obtiendra-t-on si l'on rajoute du magenta à ce mélange.

Exercice 21 Couleurs primaires

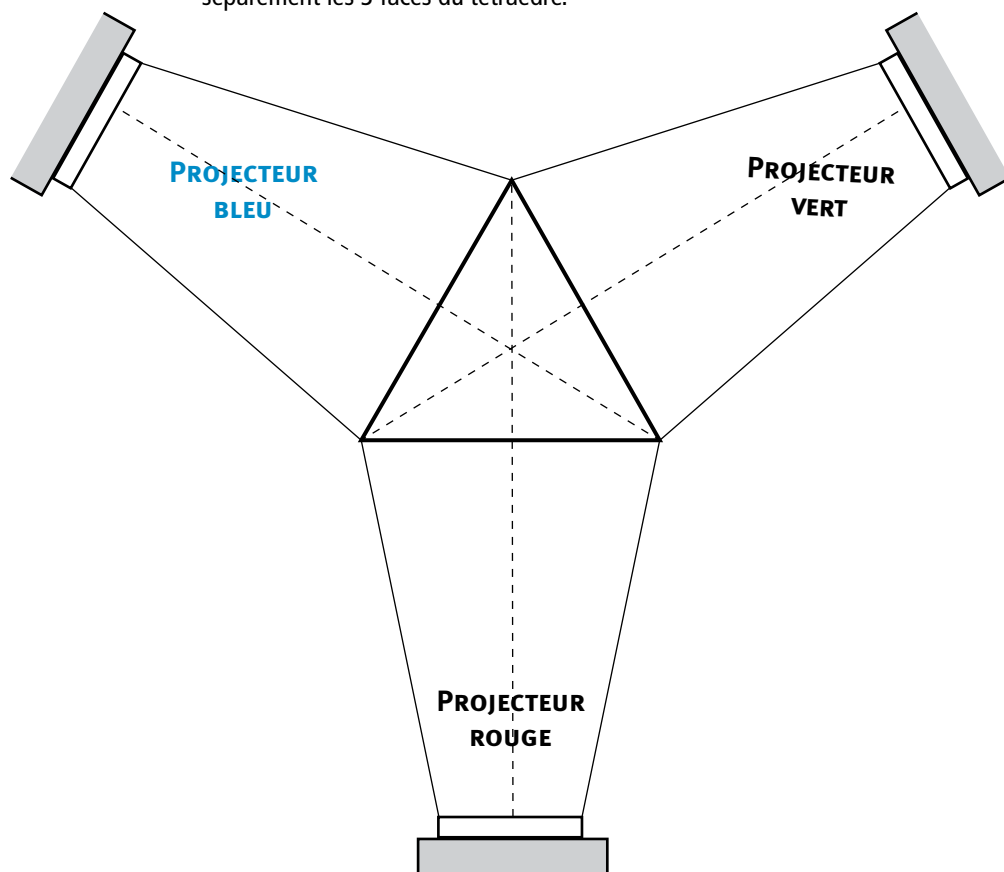
- ① Citer les trois couleurs primaires.
- ② Quelles sont les conditions sur les faisceaux de lumière pour obtenir la lumière blanche ?
- ③ Compléter les couleurs du schéma suivant :



Exercice 22 Faces éclairées d'un tétraèdre

On construit un tétraèdre creux avec du carton blanc.

On utilise trois sources de lumières de couleurs bleue, rouge et verte qui éclairent séparément les 3 faces du tétraèdre.



Quelles sont les couleurs de chaque face ?

Si l'on tourne le tétraèdre de 60°, quelles seront les couleurs de chaque face ?

Exercice 23 Couleurs perçues

Noter à l'intérieur du tableau les couleurs perçues par l'œil lorsque différents motifs colorés sont éclairés par différentes sources de couleurs différentes.

Exemple : un motif coloré rouge éclairé par une source cyan apparaît noir.

		Motifs colorés							
		Rouge	Vert	Bleu	Cyan	Magenta	Jaune	Blanc	Noir
Couleurs des sources	Rouge								
	Vert								
	Bleu								
	Cyan	Noir							
	Magenta								
	Jaune								
	Blanc								
	Noir								

Exercice 24 Peinture impressionniste

Le pointillisme est un courant artistique issu du mouvement impressionniste qui consiste à peindre par juxtaposition de petites touches de peinture de couleurs primaires et de couleurs complémentaires (orange, violet et vert).

- ❶ S'agit-il d'une synthèse additive ou soustractive ?
- ❷ Dans quel autre domaine utilise-t-on cette technique ?

Exercice 25 Imprimante

- ❶ Quelles encres utilise-t-on dans une imprimante couleur ?
- ❷ Qu'obtient-on en mélangeant les trois couleurs secondaires.
De quelle encre pourrait-on se passer ?
- ❸ Quelles sont les lumières colorées diffusées par chacune de ces encres ?
- ❹ Que se passe-t-il lorsque deux de ces encres sont mélangées ?
- ❺ Quelle est la technique pour obtenir toutes les nuances de couleurs ?

La réaction chimique

Objectifs

- ▶ Savoir décrire un système et son évolution.
- ▶ Savoir écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects.
- ▶ Étudier l'évolution d'un système par la caractérisation expérimentale des espèces chimiques présentes à l'état initial et à l'état final.
- ▶ Connaître la notion d'avancement.
- ▶ Écrire l'expression des quantités de matière (en moles) des réactifs et des produits au cours de la transformation.
- ▶ Identifier le réactif limitant.
- ▶ Dresser un tableau descriptif de l'évolution d'un système et faire un bilan de matière.
- ▶ Décrire quantitativement l'état final d'un système chimique.
- ▶ Interpréter en fonction des conditions initiales la couleur à l'état final d'une solution suite d'une réaction chimique mettant en jeu un réactif ou un produit coloré.

A

Système chimique

Le but de ce chapitre est d'étudier la transformation chimique d'un système, d'un état initial à un état final, modélisé par une réaction chimique.

Un **système chimique** est un mélange d'espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.

On caractérise l'état d'un système en précisant :

- La nature et l'état physique (solide, liquide, gazeux) des espèces chimiques.
- La quantité de matière (en mol) de chaque espèce chimique.
- La température et la pression.

On dit qu'un système, dont la composition évolue en fonction du temps, passe d'un **état initial** (E.I.) à un **état final** (E.F.).

L'état final est atteint lorsque cette évolution cesse, c'est-à-dire lorsque les quantités de matière des espèces chimiques deviennent constantes dans le temps.

À l'état initial, la composition du système est l'ensemble des **réactifs** (espèces chimiques réagissantes).

À l'état final, le système est constitué des **produits** (espèces chimiques formées) et des éventuels réactifs n'ayant pas réagi.

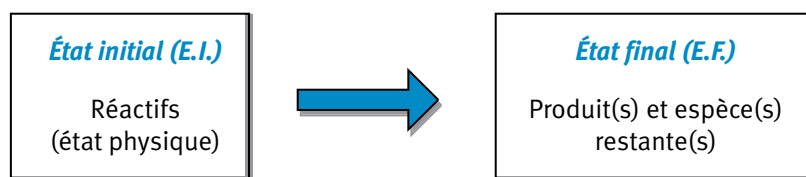
Exemple : lorsqu'on fait brûler un morceau de papier à l'air, à l'état initial, le système est constitué du papier et du dioxygène de l'air (réactifs) ; tandis que, l'état final est atteint lorsque tout le papier a brûlé : le système est alors constitué du gaz issu de la combustion et du résidu noir de papier brûlé (produits).

B La transformation chimique

Lorsque la composition d'un système évolue dans le temps, on dit que ce système subit une transformation chimique.

Au cours d'une transformation chimique, des réactifs ont été consommés tandis qu'un ou plusieurs produits ont été formé(s).

On schématise une transformation de la manière suivante :



Il est possible qu'un réactif ne soit pas totalement consommé à l'état final ; il est possible aussi qu'une ou plusieurs espèces entrant dans la composition du système ne participent pas à la transformation : on parle alors d'espèces spectatrices ; ce ne sont, ni des réactifs, ni des produits. Ce sont ces espèces que l'on retrouve alors à l'état final sous l'appellation : « espèces restantes ».

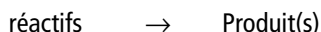
Activité 1 On chauffe un mélange de poudre de fer et de poudre de soufre. Il se forme alors un solide gris : le sulfure de fer FeS.

Schématiser la transformation chimique subie par le système sachant que lorsque celle-ci est terminée, il reste du fer en excès.

C La réaction chimique

Une transformation chimique est modélisée (représentée) par une (ou plusieurs) réactions chimiques. Nous n'envisagerons cette année que des transformations correspondant chacune à une seule réaction chimique.

Une réaction chimique est symbolisée par son équation chimique qui fait le bilan des réactifs et des produits sous la forme :



Une équation chimique nous dit quels sont les réactifs et quels sont les produits et dans quelles proportions, ces espèces interviennent lors de la transformation chimique.

En 1777, le chimiste français Lavoisier (1743 – 1794) a énoncé la loi de conservation de la masse lors d'une réaction chimique :

Au cours d'une réaction chimique, la somme des masses des réactifs ayant réagi est égale à la somme des masses des produits formés.

Cette loi est une conséquence directe de la conservation des éléments lors d'une réaction.

Une équation de réaction chimique fournit un bilan en **quantités de matière** (c'est-à-dire en moles) entre les réactifs consommés et les produits formés, dans les proportions des **nombres** (coefficients) **stœchiométriques** (nécessaires pour ajuster l'équation).

On ajuste (équilibre) une équation chimique en respectant la **conservation des éléments chimiques** ainsi que la **conservation des charges électriques**.

On raisonne maintenant en moles et non plus en entités élémentaires.

Activité 2 Écrire et ajuster l'équation chimique de la réaction entre le fer solide et le soufre qui donne du sulfure de fer solide.



Notion d'avancement

1. Tableau d'avancement

Prenons l'exemple de la réaction d'une solution d'hydroxyde de sodium (solution aqueuse contenant des ions Na^+ et HO^- à l'état dissous) avec une solution de sulfate de cuivre (II) ($\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) :

Versons 2 mL de solution bleue de sulfate de cuivre dans un tube à essais et ajoutons quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium : on constate l'apparition d'un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre (II) : $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Activité 3 Quels ions ont réagi ensemble ?
Comment appelle-t-on les autres ions présents en solution ?

Activité 4 Sachant qu'à l'état final, il reste des ions cuivre n'ayant pas réagi et que tous les ions hydroxyde ont été consommés, schématiser la transformation subie par le système.

Activité 5 Écrire et ajuster l'équation chimique de la réaction associée à cette transformation. La lecture de cette équation chimique nous indique les proportions dans lesquelles les espèces interviennent :

1 mole de Cu^{2+} réagit avec 2 moles de HO^- pour former 1 mole de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Lors de la transformation, la quantité de chaque réactif diminue tandis que celle du produit augmente.

Activité 6 Compléter les phrases :

2 moles de Cu^{2+} réagit avec moles de HO^- pour former moles de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

..... moles de Cu^{2+} réagit avec 6 moles de HO^- pour former moles de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Afin de prendre en compte ces proportions, on appelle **avancement x** de la réaction l'outil permettant de connaître, à chaque instant, les **quantités** (en mol) de réactifs restant et celles des produits formés.

Pour cela, on construit un tableau appelé tableau d'avancement comme suit : (à l'état initial, l'avancement est nul) :

Équation de réaction		$\text{Cu}^{2+} + 2\text{HO}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$		
État du système	Avancement	Quantités de matière (mol)		
État initial	0	n_0	n'_0	0
Au cours de la transformation.	x	$n_0 - x$	$n'_0 - 2x$	$0 + x$

2. Proportions des réactifs

On considère que l'état final d'un système est atteint lorsque l'un au moins des réactifs est entièrement consommé.

2 cas sont alors possibles :

► Les réactifs sont en proportions stœchiométriques

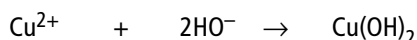
Les réactifs sont dits en **proportions stœchiométriques** s'ils sont tous consommés entièrement à l'état final (c'est-à-dire lorsque la transformation est terminée). Les réactifs sont alors dans des proportions correspondant aux coefficients stœchiométriques de l'équation chimique.

► Réactif limitant et réactif en excès

Dans le cas où les réactifs ne sont pas en proportions stœchiométriques, un des réactifs au moins a été entièrement consommé à l'état final : c'est le **réactif limitant** ; en effet, sa disparition limite la réaction c'est-à-dire provoque son arrêt. L'autre réactif ou les autres réactifs ne sont que partiellement consommés; on dit qu'ils sont **en excès**.

Revenons sur l'exemple de la réaction d'une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) avec une solution de sulfate de cuivre (II) ($\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) :

L'équation chimique de la réaction est :



Dans un bécher de 150 mL, on verse 50,0 mL de solution de sulfate de cuivre à $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ à l'aide d'une fiole jaugée puis progressivement de la soude à $C' = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ à l'aide d'une burette graduée.

La présence d'hydroxyde de cuivre est repérée par la formation d'un précipité bleu.

La présence d'ions cuivre Cu^{2+} dans une solution est repérée par la couleur bleue de la solution.

La présence d'ions hydroxyde HO^- dans une solution se fait en mesurant le pH (très supérieur à 7).

L'abondance du précipité sera noté : + ou ++ ou +++ en fonction de la quantité relative.

Volume V_1 de sulfate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ (mL)	Volume V_2 de soude versée $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$ (mL)	Abondance de précipité	Couleur de la solution	pH	$n_{\text{Cu}^{2+}}$ (mol)	n_{OH^-} (mol)	Présence d'ions Cu^{2+} ou OH^- – dans le filtrat
50	2	+	Bleue	3			Cu^{2+}
50	4	+	Bleue	4			Cu^{2+}
50	6	++	Bleue	5			Cu^{2+}
50	10	+++	Incolore	7			
50	14	+++	Incolore	9			OH^-
50	16	+++	Incolore	10			OH^-
50	18	+++	Incolore	11			OH^-

Activité 7

- Compléter le tableau ci-dessus.
- Dans quels cas peut – on dire que l'ion cuivre est le réactif en excès ? le réactif limitant ?
- Même question pour l'ion hydroxyde.
- Expliquer l'évolution de la quantité de précipité.

3. Étude de l'état final

À l'état initial, l'avancement est nul. À l'état final, il est appelé **avancement maximal** et noté $x_{\max}$, de manière à compléter le tableau d'avancement :

Équation de réaction		$\text{Cu}^{2+} + 2\text{HO}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$		
État du système	Avancement	Quantités de matière (mol)		
État initial	0	5.10^{-3}	5.10^{-3}	0
Au cours de la transformation.	x	$5.10^{-3} - x$	$5.10^{-3} - 2x$	$0 + x$
État final	$x_{\max}$	$5.10^{-3} - x_{\max}$	$5.10^{-3} - 2x_{\max}$	$0 + x_{\max}$

Le réactif limitant étant, par définition, entièrement consommé, sa quantité finale sera donc égale à 0.

Afin d'identifier le réactif limitant, on fait l'hypothèse que chaque réactif est limitant, ce qui donne autant d'équations que l'on résout pour calculer l'avancement maximal :

► Si Cu^{2+} est limitant : $5.10^{-3} - x_{\max} = 0$ donc $x_{\max} = 5.10^{-3}$ mol

► Si HO^- est limitant : $5.10^{-3} - 2x_{\max} = 0$ donc $x_{\max} = 2,5.10^{-3}$ mol

À noter que l'avancement s'exprime en mol.

Le **réactif limitant** (ici HO^-) est celui pour lequel l'avancement maximal prend la **plus petite valeur** (ici $x_{\max} = 2,5.10^{-3}$ mol).

On identifie ainsi le réactif limitant et on calcule simultanément l'avancement maximal (à l'état final).

Noter aussi que dans le cas où les réactifs sont en proportions stœchiométriques, ils sont alors tous limitant.

À partir de la valeur de $x_{\max}$, il est alors possible de calculer la quantité de chaque espèce chimique à l'état final ; on effectue ainsi un **bilan de matière**.

Activité 8 Compléter le tableau d'avancement :

Équation de réaction		$\text{Cu}^{2+} + 2\text{HO}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$		
État du système	Avancement	Quantités de matière (mol)		
État initial	0	5.10^{-3}	15.10^{-3}	0
Au cours de la transformation.	x			
État final	$x_{\max}$			

Identifier le réactif limitant et calculer l'avancement maximal.

Faire alors le bilan de matière.

Quelle sera la couleur de la solution obtenue à l'état final après séparation du précipité par filtration ?

On peut prolonger le bilan de matière en calculant la masse m ou le volume v d'une espèce chimique à l'état final, à partir de sa quantité de matière n .



Détermination des quantités de matière

Avant la réalisation d'une expérience, il est nécessaire de déterminer les quantités de matière des réactifs mis en présence de manière à connaître l'état initial du système chimique. De même, après l'expérience, il peut être utile de connaître les quantités de matière des produits formés et des réactifs n'ayant pas été consommés par la réaction.

Le problème réside dans le fait qu'il n'existe pas d'appareil de mesure permettant de déterminer expérimentalement les quantités de matière en mole. Par contre il est facile de mesurer la masse ou le volume d'un corps. Nous allons donc rappeler dans cette partie comment passer d'une masse ou d'un volume à une quantité de matière (rappels de seconde).

1. Relation entre la masse et la quantité de matière – Notion de masse molaire

Comme l'indique son nom, la masse molaire est la masse d'une mole d'entités élémentaires. Elle est notée M et est exprimée en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ou g/mol .

La masse molaire va nous permettre de relier quantité de matière et masse .

D'après la définition de la masse molaire, on a la relation :

$$n = \frac{m}{M}$$

n : quantité de matière (mol)

m : masse (g)

M : masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)

Exemple : dans 100g d'eau, quelle quantité de matière ? ($M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{100}{18} = 5,55 \text{ mol.}$$

Remarques

si on connaît le volume du corps, on peut utiliser la masse volumique (ou la densité) de manière à calculer sa masse dans un premier temps puis sa quantité de matière à l'aide de la masse molaire.

Activité 9

a) Calculer la quantité de matière contenue dans :

1,6 g de méthane CH_4 1,7 g d'ammoniac NH_3 4,4 g de dioxyde de carbone CO_2

b) Quelle masse est contenue dans :

0,2 mole d'éthane C_2H_6 2,5 moles d'acide sulfurique H_2SO_4

Données :

Élément	H	C	N	O	S
Masse molaire M (g.mol ⁻¹)	1	12	14	16	32

2. Relation entre le volume et la quantité de matière d'un gaz – Notion de volume molaire

En 1811, le chimiste italien Avogadro, puis le français Ampère, é mirent une hypothèse qui conduira en 1814, après vérification expérimentale à la loi d'Avogadro-Ampère (vue en classe de Seconde) :

Par exemple, 2 flacons identiques, contenant, l'un du dihydrogène gazeux et l'autre du dioxygène gazeux, contiennent le même nombre de molécules. La nature du gaz n'influe pas sur la quantité de matière.

Des volumes égaux de gaz différents, pris dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent le même nombre de molécules (et donc la même quantité de matière n).

Pour relier quantité de matière et volume, on définit le **volume molaire**

V_m (en L.mol⁻¹) (Litre par mole) qui est le volume d'une mole de gaz.

Ce volume dépend de la température et de la pression du gaz ; ainsi, dans les Conditions Normales de Température et de Pression (CNTP) c'est – à – dire à 0°C et à la pression atmosphérique, la valeur de V_m est de **22,4 L.mol⁻¹**.

De la définition du volume molaire, on obtient la relation :

$$n = \frac{V}{V_m}$$

n : quantité de matière (mol)

V : volume (L)

 V_m : volume molaire (L.mol⁻¹)**Remarques**

- ▶ cette relation ne s'applique qu'aux **gaz**
- ▶ on obtient 2 relations équivalentes, l'une pour la masse, l'autre pour le volume des gaz.
- ▶ À partir de l'unité de M ou de V_m on peut retrouver les relations précitées.

$$M(\text{g/mol}) = \frac{m(\text{g})}{n(\text{mol})}$$

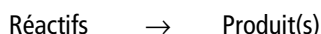
on obtient bien la même unité de chaque côté de l'égalité.

- Activité 10** Faire de même pour retrouver la relation entre n et V_M .
- Activité 11** Dans les CNTP, quel est le volume des gaz :
0,2 mole de H_2
3 moles de N_2
0,2 mole de O_2
- Activité 12** Quelle quantité de matière est contenue dans un litre de dioxyde de carbone ? (CNTP)
Que peut-on dire du volume des gaz :
44g de dioxyde de carbone
71g de dichlore
pris dans les mêmes conditions ?

Résumé

Le *système* est l'ensemble des espèces chimiques étudiées (elles constituent le mélange réactionnel). La réaction chimique est un modèle rendant compte de la *stœchiométrie* selon laquelle se forment ou se consomment les constituants lors de la *transformation chimique* du système.

Elle est symbolisée par :



Cette équation respecte les lois de conservation (éléments et charges électriques) et nécessite l'ajustement des nombres précédant les symboles chimiques appelés *nombres stœchiométriques*.

Le *bilan* de la transformation du système se manifeste au travers de la comparaison des états initial et final du système.

Une équation de réaction chimique fournit un bilan en quantités de matière (c'est-à-dire en moles) entre les réactifs consommés et les produits formés, dans les proportions des nombres (coefficients) stœchiométriques (nécessaires pour ajuster l'équation).

On ajuste (équilibre) une équation chimique en respectant la conservation des éléments chimiques ainsi que la conservation des charges électriques.

On raisonne maintenant en moles et non plus en entités élémentaires.

On appelle avancement x de la réaction l'outil permettant de connaître, à chaque instant, les quantités (en mol) de réactifs restant et celles des produits formés.

Pour cela, on construit un tableau appelé tableau d'avancement.

Les réactifs sont dits en proportions stœchiométriques s'ils sont tous consommés entièrement à l'état final.

Dans le cas où les réactifs ne sont pas en proportions stœchiométriques, un des réactifs au moins a été entièrement consommé à l'état final : c'est le réactif limitant ; en effet, sa disparition limite la réaction c'est-à-dire provoque son arrêt.

L'autre réactif ou les autres réactifs ne sont que partiellement consommés ; on dit qu'ils sont en excès.

Afin d'identifier le réactif limitant, on fait l'hypothèse que chaque réactif est limitant, ce qui donne autant d'équations que l'on résout pour calculer l'avancement maximal.

Le réactif limitant est celui pour lequel l'avancement maximal prend la plus petite valeur.

On identifie ainsi le réactif limitant et on calcule simultanément l'avancement maximal (à l'état final).

Dans le cas où les réactifs sont en proportions stœchiométriques, ils sont alors tous limitant.

À partir de la valeur de x_{max} , il est alors possible de calculer la quantité de chaque espèce chimique à l'état final ; on effectue ainsi un bilan de matière.

La relation entre quantité de matière et masse est :

$$m = n \times M$$

m : masse de l'échantillon (g)

n : quantité de matière (mol.)

M : masse molaire du corps pur (g.mol⁻¹).

Dans le cas des gaz, on définit le volume molaire : c'est le volume occupé par une mole de gaz.

Ce volume dépend de la température et de la pression du gaz en question. Il est noté V_M et s'exprime en L.mol⁻¹. Dans les conditions habituelles (20 °C et pression atmosphérique) : $V_M = 24 \text{ L.mol}^{-1}$.

La relation entre quantité de matière et volume d'un gaz est :

$$V = n \times V_M$$

V : volume du corps pur gazeux (L)

n : quantité de matière (mol.)

V_M : volume molaire (L.mol⁻¹)

Exercices

Exercice 1 Ajuster une équation chimique

Ajuster les équations chimiques suivantes avec les nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles :

- a) $\dots \text{H}_2 + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{H}_2\text{O}$
- b) $\dots \text{CH}_4 + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$
- c) $\dots \text{CH}_4 + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$
- d) $\dots \text{Fe}^{2+} + \dots \text{MnO}_4^{2-} + \dots \text{H}^+ \rightarrow \dots \text{Fe}^{3+} + \dots \text{Mn}^{2+} + \dots \text{H}_2\text{O}$

Exercice 2 Synthèse de l'acide sulfurique

Le trioxyde de soufre, de formule SO_3 , est utilisé pour préparer l'acide sulfurique. On l'obtient en faisant réagir du dioxyde de soufre (SO_2) sur du dioxygène.

On dispose de 300 L de dioxygène et de 10 mol de dioxyde de soufre. On désire connaître le réactif limitant et la masse de trioxyde que l'on peut obtenir.

- 1 De quelle quantité de dioxygène dispose-t-on ?
Donnée : volume molaire dans les conditions de l'expérience 24 L . mol⁻¹.
- 2 Écrire l'équation chimique de cette transformation.
- 3 Construire un tableau de quantité de matière des espèces chimiques et faisant apparaître l'avancement x.
- 4 Quel est le réactif limitant ? justifier la réponse.
- 5 Quelle masse de trioxyde de soufre peut-on obtenir ?
Données : Masse molaire atomique (en g.mol⁻¹) : S : 32,0 ; O : 16,0

Exercice 3 Synthèse de l'eau

Un récipient contient initialement 35 moles d'air (7 moles de dioxygène et 28 moles de diazote) et 5 moles de dihydrogène à la température T et à la pression P.

À l'approche d'une flamme, il y a explosion et apparition de gouttelettes qu'un test au sulfate de cuivre anhydre permet d'identifier comme de l'eau liquide.

- 1 Quelle est la composition du système dans son état initial ?
- 2 Qu'est-ce qui nous permet de dire qu'il y a eu transformation chimique du système ?
- 3 Écrire (et ajuster) l'équation de la réaction chimique.

- ④ Dresser un tableau descriptif de l'évolution de l'état du système lors de sa transformation.
- ⑤ Déterminer alors le réactif limitant en calculant l'avancement maximal $X_{\max}$.
- ⑥ En déduire la composition du système dans son état final.

Exercice 4 Combustion du méthane

Le méthane est le principal constituant du gaz de ville. Sa composition chimique est CH_4 . Sa combustion est la réaction avec le dioxygène de l'air en présence d'une flamme.

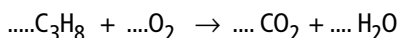
On considère la combustion de 1,6 g de méthane dans 6,4 g de dioxygène. On obtient un gaz qui trouble l'eau de chaux ainsi que de l'eau.

Répondre aux mêmes questions que celles de l'exercice précédent.

Données : $M_C = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ $M_H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ $M_O = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

Exercice 5 Combustion du propane dans l'air

Le propane est gazeux dans les conditions habituelles de température et de pression. L'équation de la réaction chimique de sa combustion complète est :



- ① Faire l'ajustement de l'équation de la réaction
- ② VRAI OU FAUX ? Justifier la réponse
 - La quantité de matière de dioxygène consommée est 5 fois plus faible que celle du propane.
 - Le volume consommé de dioxygène gazeux est 5 fois plus élevé que celui de propane.
 - La masse de gaz carbonique formé est 3 fois plus élevée que celle du propane brûlé.

Exercice 6 Proportions stœchiométriques

La synthèse industrielle de l'ammoniac NH_3 met en présence du dihydrogène et du diazote.

- ① Écrire l'équation de la réaction chimique associée à la transformation subie par le système.
- ② Quelle quantité de chacun des réactifs faut-il utiliser pour obtenir 1 kg d'ammoniac ?
- ③ Les réactifs étant gazeux dans les conditions opératoires, à quels volumes correspondent les quantités précédemment calculées ?

Données : $M_H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ $M_N = 14 \text{ g.mol}^{-1}$ $V_M = 24 \text{ L.mol}^{-1}$

Exercice 7 La bouteille bleue

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève d'une première S doit réaliser le mélange réactionnel décrit dans le protocole expérimental suivant.

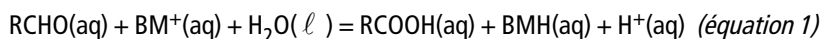
Protocole expérimental

- ▶ Dans un erlenmeyer contenant une solution S dont on ne se souciera pas du contenu, on dissout du glucose.
- ▶ On ajoute une solution de bleu de méthylène. Cette solution donne une coloration bleue au mélange réactionnel.
- ▶ On constate que la solution bleue devient progressivement incolore.
- ▶ Boucher l'erlenmeyer et agiter vigoureusement : la solution devient immédiatement bleue puis se décolore de nouveau lentement.
- ▶ Agiter une nouvelle fois : la solution devient tout de suite bleue puis se décolore progressivement.

Données du problème

- ▶ La seule espèce colorée dans le mélange réactionnel est la forme dite oxydée du bleu de méthylène qui donne une coloration bleue. Elle est notée $\text{BM}^+(\text{aq})$.
- ▶ La forme incolore du bleu de méthylène, dite réduite, est notée $\text{BMH}(\text{aq})$.
- ▶ Dans les conditions de l'expérience, le glucose réagit avec le bleu de méthylène. On admettra qu'il est introduit en large excès devant les autres réactifs.
- ▶ Le glucose est noté $\text{RCHO}(\text{aq})$. Sa masse molaire est $M = 180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

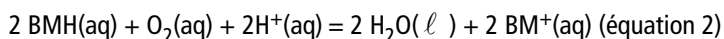
L'équation d'oxydoréduction entre le glucose et la forme oxydée du bleu de méthylène est :



Cette réaction est lente.

1. Interprétation des observations

Lorsque l'on agite l'erlenmeyer, une partie du dioxygène de l'air se dissout dans la solution puis réagit en oxydant la forme réduite du bleu de méthylène. L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique observée est donnée ci-dessous :



Cette réaction est rapide.

À l'aide des caractéristiques des équations chimiques 1 et 2, expliquer les variations de couleur observées lors de l'expérience et leurs vitesses.

2. Étude quantitative

L'erlenmeyer dans lequel l'élève réalise l'expérience est bouché hermétiquement et contient un volume $V(\text{O}_2) = 48 \text{ mL}$ de dioxygène et $5,0 \text{ g}$ de glucose RCHO .

Le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience vaut $V_m = 24,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2.1. Compléter de façon littérale et en respectant les notations, le tableau d'avancement :

Équation chimique		$2 \text{BMH}(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + 2 \text{BM}^+(\text{aq})$				
État du système	Avancement	Quantités de matière				
État initial	0	$n_i(\text{BMH})$	$n_i(\text{O}_2)$	excès	excès	0
État intermédiaire	x			excès	excès	
État final	x_{max}			excès	excès	

- 2.2. Calculer la quantité de matière initiale $n_i(O_2)$ de dioxygène contenu dans l'ermeneyer.
- On réalise une série d'agitations successives qui permet de dissoudre tout le dioxygène présent dans l'ermeneyer.
- 2.3. En déduire la quantité de matière $n_i(BMH)$ susceptible de réagir avec la quantité de matière initiale $n_i(O_2)$ de dioxygène.
- 2.4. À partir de l'équation 1, montrer que la quantité de matière de glucose $n(RCHO)$ ayant réagi au cours de l'expérience est $4,0 \cdot 10^{-3}$ mol. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
- 2.5. En déduire la masse m de glucose n'ayant pas réagi dans l'ermeneyer. ■