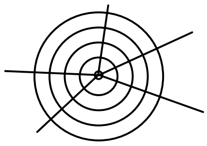
Corrigé des exercices qui suivent le cours sur les ondes.

I.1 Les ondes sonores, les ondes de compressions d'un ressort et certaines ondes sismiques sont longitudinales. L'onde d'une vague, les ondes dans une corde, les ondes dans un ressort ayant subi une perturbation perpendiculaire au ressort, les ondes électromagnétiques sont transversales.

I.2 Les cercles sont des fronts d'ondes, les lignes partant du centre sont les rayons.

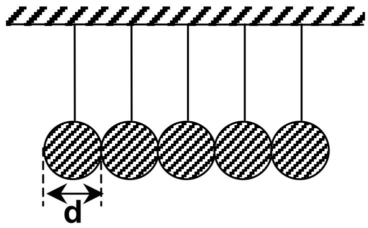


II.1 Dans cet exercice, le temps pris par la lumière pour nous parvenir peut être considéré comme nul. Donc la distance à laquelle gronde l'orage est la distance que parcours le son dans l'air en 5 secondes, soit 340 [m/s] · 5 [s] = 1'700 [m] = 1,7 kilomètres.

II.2 En 0,1 secondes, le son parcours 340 [m/s] · 0,1 [s] = 34 mètres. Pour pouvoir distinguer un son bref et son écho, il faut que la distance aller + retour soit supérieur à 34 mètres. Il faut donc que l'objet se trouve à plus de 34 / 2 = 17 mètres de nous.

II.3 Dans cet exercice, le temps mis par la lumière pour parcourir les 400 mètres est négligeable et peut être considéré comme nul. Dans l'eau, le son a donc mis 0,270 secondes pour parcourir 400 mètres. Donc la vitesse du son dans l'eau est de V = distance / temps = 400 [m] / 0,270 [s]. V = 1'481 [m/s]. A la page 181 de la table CRM, on trouve que la vitesse du son dans l'eau est de 1'485 [m/s], ce qui correspond bien au résultat de la mesure de Colladon et de Saussure.

II.4 Notons t le temps entre la percussion de la première boule sur la deuxième et le début du mouvement de la 5ème boule. Ici, il faut calculer le temps mit par l'onde de choc pour passer à travers la deuxième, troisième et quatrième boule. L'onde de choc doit traverser 3 boules de **d** = 2 centimètres de diamètre chacune, donc elle doit parcourir 6 centimètres = 0,06 [m].
On a vitesse = distance / temps, donc temps = distance / vitesse
Donc $t = 0{,}06$ [m] / 5850 [m/s] = $10{,}2 \cdot 10^{-6}$ [s] = 10,2 microsecondes.



II.5 V_L = 4'000 [m/s] = vitesse de l'onde longitudinale.
V_T = 2'300 [m/s] = vitesse de l'onde transversale.
Notons T_L le temps pris par l'onde longitudinale pour nous parvenir.
Notons T_T le temps pris par l'onde transversale pour nous parvenir.
Elles ont parcourut la même distance, donc : $V_L \cdot T_L = V_T \cdot T_T$.
On sait que $T_T - T_L = \Delta t$ = 3 minutes = 180 secondes.
Donc $T_T = T_L + \Delta t$. On substitue TT dans l'égalité $V_L \cdot T_L = V_T \cdot T_T$ pour obtenir :
$V_L \cdot T_L = V_T \cdot (T_L + \Delta t)$.
Ce n'est plus qu'un problème d'algèbre pour exprimer T_L en fonction de V_L, V_T et Δt.
$V_L \cdot T_L = V_T \cdot T_L + V_T \cdot \Delta t$ $\qquad$ $V_L \cdot T_L - V_T \cdot T_L = V_T \cdot \Delta t$
$(V_L - V_T) \cdot T_L = V_T \cdot \Delta t$ $\qquad$ $T_L = V_T \cdot \Delta t / (V_L - V_T)$
La distance à laquelle le séisme a eu lieu est de :

$$V_L \cdot T_L = \frac{V_L \cdot V_T \cdot \Delta t}{V_L - V_T} = \frac{4'000\,[\text{m/s}] \cdot 2'300\,[\text{m/s}] \cdot 180\,[\text{s}]}{4'000\,[\text{m/s}] - 2'300\,[\text{m/s}]} = 974'117\,[\text{m}] = 974\,[\text{km}]$$

II.6 L'énoncé nous dit que la longueur d'onde est de λ = 1,5 [cm] = 0,015 [m] et que la fréquence est de ν = 15 Hertz. On en déduit la vitesse par : $V = \lambda \cdot \nu$ = 0,015 [m] · 15 [Hz] = 0,225 [m / s]

II.7 La fréquence $\nu = 440$ [Hz]. On sait que $V = \lambda \cdot \nu$, donc $\lambda = V / \nu$
Dans l'air, V = 340 [m / s] (environ),
donc la longueur d'onde du « la » = λ = 340 [m/s] / 440 [Hz] = 0,77 [m].
Dans l'eau, V = 1485 [m / s] (environ),
donc la longueur d'onde du « la » = λ = 1485 [m/s] / 440 [Hz] = 3,38 [m].

II.8 Ici on utilise le lien entre la vitesse V, la longueur d'onde λ et la fréquence ν : $V = \lambda \cdot \nu$

a) Sa longueur d'onde dans l'air = $\lambda = V / \nu = 3 \cdot 10^8$ [m/s] / $6{,}5 \cdot 10^{14}$ [Hz] = 462 [nm]
Sa longueur d'onde dans l'eau = $\lambda = V / \nu = 2{,}25 \cdot 10^8$ [m/s] / $6{,}5 \cdot 10^{14}$ [Hz] = 346 [nm]

b) Sa période est la même dans l'air et dans l'eau : $T = 1 / \nu = 1 / (6{,}5 \cdot 10^{14}$ [Hz]) = $1{,}54 \cdot 10^{-15}$ [s]

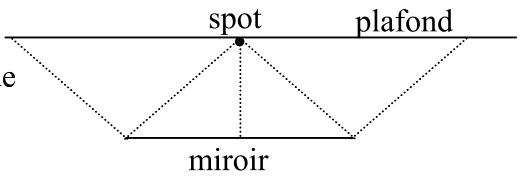
c) La fréquence de l'émetteur d'Europe 1 est de $\nu = V / \lambda = 3 \cdot 10^8$ [m/s] / 1620 [m] = $1{,}85 \cdot 10^5$ [Hz]

d) La fréquence des fours à micro-ondes est de :
$\nu = V / \lambda = 3 \cdot 10^8$ [m/s] / 0,122 [m] = $2{,}46 \cdot 10^9$ [Hz] = 2,46 [GHz]

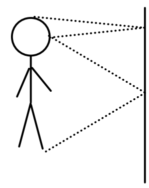
III.1 Le sodium : $\lambda \approx 589$ [nm] correspond au jaune
Le mercure : $\lambda \approx 495$ [nm] correspond au vert; $\lambda \approx 430$ [nm] correspond au bleu;
$\lambda \approx 400$ [nm] correspond au violet;
L'oxygène : $\lambda \approx 750$ [nm] correspond au rouge; $\lambda \approx 620$ [nm] correspond à l'orange.

IV.1 L'explication est donnée dans le cours page 7. Elle est redonnée en page 15. Comme la longueur d'onde des ondes sonores est beaucoup plus grande que celle des ondes lumineuses et du même ordre de grandeur que les dimensions de la porte, les ondes sonores sont diffractées et peuvent ainsi être entendues, même s'il y a un mur entre la personne qui parle et celui qui écoute. Les ondes lumineuses ne sont pas diffractées par une ouverture aussi grande que le seuil de la porte.

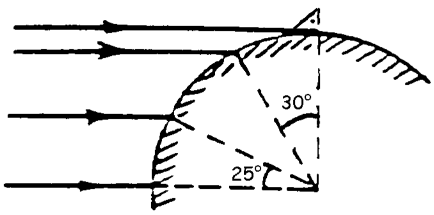
V.1 La forme de la tache lumineuse représentera un disque.
En complétant le dessin avec des rayons lumineux bien choisi, et en respectant la loi de la réflexion, on remarque que le diamètre de la tache est le double de celui du miroir, soit de 1,2 mètres. Il est indépendant de la hauteur du plafond.



V.2 En faisant un dessin, on montre facilement que la hauteur du miroir doit être au moins la moitié de votre hauteur, pour que vous puissiez vous voir entièrement dedans. Cela ne dépend pas de la distance à laquelle vous vous trouvez du miroir.

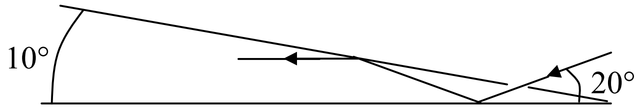


V.3 Le rayon du bas, est réfléchi sur lui-même. Il forme un angle de 0° avec l'horizontale.
Le deuxième rayon depuis le bas, forme un angle de 25° avec la normale. Sa réflexion forme aussi un angle de 25° avec la normale, mais de l'autre côté de la normale. Donc sa réflexion forme un angle de 50° avec l'horizontale et se dirige vers le haut.

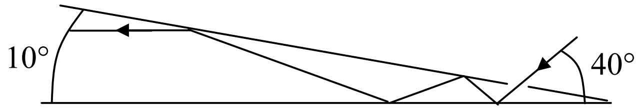


Le troisième rayon depuis le bas, forme un angle de 60° avec la normale. Sa réflexion forme aussi un angle de 60° avec la normale, mais de l'autre côté de la normale. Donc sa réflexion forme un angle de 120° avec l'horizontale et se dirige vers le haut vers la droite. On peut aussi dire qu'il forme un angle de 180° - 120° = 60° avec l'horizontale.
Le quatrième rayon forme un angle de 90° avec la normale. Sa réflexion aussi, donc il continue tout droit et forme un angle de 0° avec l'horizontale.

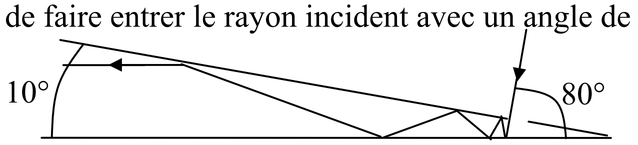
V.4 Ce problème à trois solutions possibles.
Notez les angles sur le dessin ci-dessous pour vous rendre compte qu'une première solution est de faire entrer le rayon incident avec un angle de 20° par rapport à l'horizontale.



Notez les angles sur le dessin ci-dessous pour vous rendre compte qu'une deuxième solution est de faire entrer le rayon incident avec un angle de 40° par rapport à l'horizontale.



Notez les angles sur le dessin ci-dessous pour vous rendre compte qu'une troisième solution est de faire entrer le rayon incident avec un angle de 80° par rapport à l'horizontale.



VI.1 A la page 178 de la table CRM vous trouvez les indices de réfraction désirés. Celui de l'air égale 1,000293. Nous prendrons 1 comme indice de réfraction de l'air. Celui de l'eau égale 1,333, celui du verre égale 1,5 et du diamant égale 2,417.

VI.2 La vitesse de la lumière dans un matériau égale la vitesse de la lumière dans le vide divisé par l'indice de réfraction du matériau. Nous prendrons $3 \cdot 10^8$ [m/s] comme vitesse de la lumière dans le vide.

a) La vitesse de la lumière dans le verre égale $3 \cdot 10^8$ [m/s] / 1,5 $= 2{,}00 \cdot 10^8$ [m/s]
La vitesse de la lumière dans l'eau égale $3 \cdot 10^8$ [m/s] / 1,333 $= 2{,}25 \cdot 10^8$ [m/s]

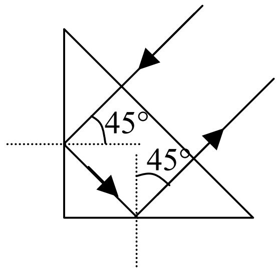
b) Ici, on utilise la loi de Snell - Descarte : $\boxed{\dfrac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_1)} = \dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{n_1}{n_2}}$

n_1 = l'indice du verre, car c'est le milieu duquel provient le rayon. $n_1 = 1{,}5$
n_2 = l'indice de l'eau, car c'est le milieu dans lequel le rayon continue. $n_2 = 1{,}333$
$\alpha_1 = i = 50°$, $\alpha_2 = r$ = l'angle entre le rayon réfracté et la normale de la limite verre - eau.
$\sin(\alpha_2) = \sin(\alpha_2) \cdot n_1 / n_2 = \sin(50°) \cdot 1{,}5 / 1{,}333 = 0{,}862$.
Donc $\alpha_2 = \arcsin(0{,}862) = 59{,}5$ °. C'est l'angle de réfraction.
Si l'angle d'incidence $i = 0°$, alors le rayon continue en ligne droite et l'angle de réfraction $r = 0°$.

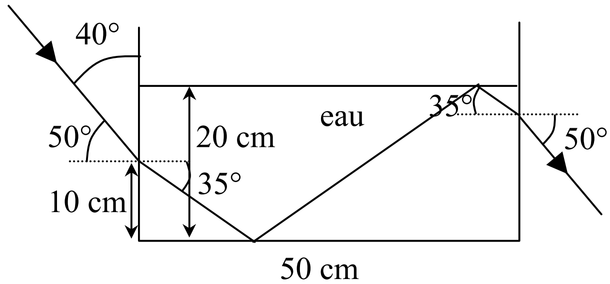
VI.3 C'est le quatrième dessin qui est faux. L'indice de l'air étant inférieur à celui du verre, l'angle par rapport à la normale doit être plus grand dans l'air que dans le verre. Tous les autres dessins respectent cette règle.

VI.4 Le dessin (A) est faux, car il ne respecte pas la règle énoncée dans l'exercice précédent.
Le dessin (B) est faux, car il ignore la réfraction.
Le dessin (C) est faux, car il ignore la réfraction. Les traits pointillés ne signifient rien.
Le dessin (D) est juste. Les rayons sont réfractés correctement et leur prolongement se croise plus haut que le fond du bassin. Donc le bassin apparaît moins profond qu'il n'est réellement.
Le dessin (E) est faux, car les rayons vont dans le sens inverse à la réalité.

VI.5 Le rayon qui arrive perpendiculairement à l'hypoténuse du bloc de verre, continue tout droit. Quand il arrive sur la face verticale, il y a réflexion totale, car $1{,}5 \cdot \sin(45°) = 1{,}06 > 1$ et 1,5 est l'indice de réfraction du verre. Quand il arrive sur la face horizontale, il y a de nouveau réflexion totale, pour la même raison. Le rayon repart donc perpendiculairement à l'hypoténuse, parallèlement au rayon incident.



VI.6 L'indice de réfraction de l'eau égale 1,33. Il y a réflexion totale au fond du bassin et à la surface de l'eau, car l'angle d'incidence égale $90° - 35° = 55°$ et $1{,}33 \cdot \sin(55°) = 1{,}09 > 1$. Le rayon sortant est parallèle au rayon incident.

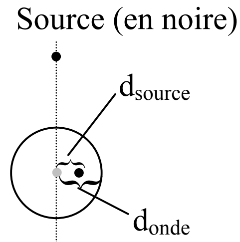


VII.1 Ce phénomène de changement de fréquence observée quand la source se déplace et/ou quand l'observateur se déplace s'appelle l'effet Doppler. On trouve dans la table CRM page 150 la formule donnant la fréquence observée (ou la fréquence apparente) ν_{obs} en fonction de la fréquence émise par la source $\nu_{réelle}$, de la vitesse de l'onde V_{onde}, de la vitesse de la source V_{source} et de la vitesse de l'observateur V_{obs}.

$$\boxed{\upsilon_{obs} = \upsilon_{réelle} \cdot \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde} - V_{source}}}$$

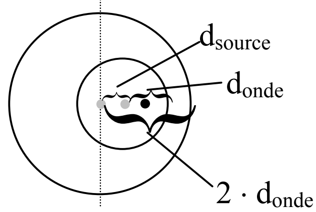
$V_{obs} > 0$ quand l'observateur se déplace vers la source, $V_{obs} < 0$ quand il s'en éloigne.
$V_{source} > 0$ quand la source se déplace vers l'observateur, $V_{source} < 0$ quand elle s'en éloigne.

Pour montrer cette formule, considérons un premier cas où l'observateur est immobile $V_{obs} = 0$.



Notons $T_{réelle}$ la période de l'onde émise par la source. $\nu_{réelle} = 1 / T_{réelle}$
Au temps $t = 0$ [s], la source émet un premier front d'onde.

Au temps $t = T_{réelle}$, la source émet un deuxième front d'onde.
Le premier front d'onde s'est déplacé d'une distance de $d_{onde} = V_{onde} \cdot T_{réelle}$.
La source et s'est déplacée d'une distance de $d_{source} = V_{source} \cdot T_{réelle}$.



Au temps $t = 2 \cdot T_{réelle}$, la source émet un troisième front d'onde.
Le premier front d'onde s'est déplacé d'une distance de $2 \cdot d_{onde}$.
Le deuxième front d'onde s'est déplacé d'une distance de : $d_{source} + d_{onde}$

Les points gris sont les positions des sources lors de l'émission du premier et deuxième front d'onde.

Donc la distance entre le deuxième front d'onde et le premier front d'onde égale la distance parcourue par le premier front d'onde moins celle parcourue par le second front d'onde. Elle est égale à $2 \cdot d_{onde} - (d_{source} + d_{onde})$
qui est égale à $d_{onde} - d_{source} = V_{onde} \cdot T_{réelle} - V_{source} \cdot T_{réelle} = (V_{onde} - V_{source}) \cdot T_{réelle}$.

La fréquence apparente égale la vitesse de l'onde sur la distance entre deux fronts d'ondes, donc

$$\upsilon_{obs} = \frac{V_{onde}}{(V_{onde} - V_{source}) \cdot T_{réelle}} = \frac{V_{onde}}{V_{onde} - V_{source}} \cdot \frac{1}{T_{réelle}} = \underline{\underline{\frac{V_{onde}}{V_{onde} - V_{source}} \cdot \upsilon_{réelle}}}$$

C'est la formule ci-dessus pour un observateur immobile.

VII.1 suite

Considérons un deuxième cas où la source est immobile $V_{source} = 0$.

La distance entre deux fronts d'ondes est de : $\lambda_{onde} = V_{onde} \cdot T_{réelle}$

Relativement au front d'onde, l'observateur se déplace à une vitesse de $V_{onde} + V_{obs}$.

Pour passer d'un front d'onde au suivant, il lui faut donc un temps $T_{obs} = \lambda_{onde} / (V_{onde} + V_{obs})$

Donc $$\upsilon_{obs} = \frac{1}{T_{obs}} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{\lambda_{onde}} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde} \cdot T_{réelle}} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde}} \cdot \upsilon_{réelle}$$

C'est la formule ci-dessus pour une source immobile.

On aurait aussi pu déterminer le temps T_{obs} en considérant que la somme du déplacement de l'observateur et du déplacement du front d'onde égale à la distance entre deux fronts d'ondes. On aurait eu : $V_{obs} \cdot T_{obs} + V_{onde} \cdot T_{obs} = \lambda_{onde}$, qui donne le même résultat que précédemment.

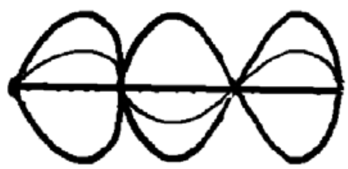
Pour montrer la formule finale, il suffit de remarquer que pour l'observateur, une source qui se déplace est identique à une source immobile, qui émet à une fréquence égale à

$\upsilon_{source\ immobile} = \dfrac{V_{onde}}{V_{onde} - V_{source}} \cdot \upsilon_{réelle}$ selon la première formule établie. On est donc ramené au cas d'un observateur mobile et d'une source immobile. Donc

$$\upsilon_{obs} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde}} \cdot \upsilon_{source\ immobile} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde}} \cdot \frac{V_{onde}}{V_{onde} - V_{source}} \cdot \upsilon_{réelle} = \frac{V_{onde} + V_{obs}}{V_{onde} - V_{source}} \cdot \upsilon_{réelle}$$

C'est la formule annoncée au début.

VIII.1 L'état de vibration 1/2 périodes plus tard, est celle représentée par la courbe qui part vers le bas.
L'état de vibration 1/4 de périodes plus tard, est celle représentée par la courbe qui est horizontale.
L'état de vibration 1/8 de périodes plus tard, est celle représentée par la courbe plus fine.



IX.1 Gamme tempérée :

do_3	$do\#_3$	$ré_3$	$ré\#_3$	mi_3	fa_3	$fa\#_3$	sol_3	$sol\#_3$	la_3	$la\#_3$	si_3	do_4

Il y a 12 intervalles de fréquences entre le do_3 et le do_4.

La fréquence du do_4 est le double de la fréquence du do_3.

On a : $$\frac{\text{fréquence du do}\#_3}{\text{fréquence du do}_3} = \frac{\text{fréquence du ré}_3}{\text{fréquence du do}\#_3} = \frac{\text{fréquence du ré}\#_3}{\text{fréquence du ré}_3} = \ldots = \frac{\text{fréquence du do}_4}{\text{fréquence du si}_3} = r$$

donc

fréquence du $do\#_3$ = r · fréquence du do_3

fréquence du $ré_3$ = r · fréquence du $do\#_3$ = r^2 · fréquence du do_3

fréquence du $ré\#_3$ = r · fréquence du $ré_3$ = r^3 · fréquence du do_3

...

fréquence du si_3 = r · fréquence du $la\#_3$ = r^{11} · fréquence du do_3 = r^{12} · fréquence du do_3

fréquence du do_4 = r · fréquence du si_3 = r^{12} · fréquence du do_3 = 2 · fréquence du do_3

Donc $r^{12} = 2$, donc :

le rapport de fréquence entre deux notes successives $r = \sqrt[12]{2} \approx 1,05946$.

Fréquences en Hertz correspondantes aux notes de la gamme tempérée :

do_3	$do\#_3$	$ré_3$	$ré\#_3$	mi_3	fa_3	$fa\#_3$	sol_3	$sol\#_3$	la_3	$la\#_3$	si_3	do_4
261,5	277,0	293,5	311,0	329,5	349,0	370,0	392,0	415,1	440,0	466,0	494,0	523,0

IX.2 (Facultatif). Sur une corde de guitare, les ondes ont une vitesse de 330 [m/s]. Cette corde a 50 [cm] de longueur.

a) La fréquence de la fondamentale est $\upsilon = \frac{V}{\lambda} = \frac{330\,[\text{m/s}]}{2 \cdot 0{,}5\,[\text{m}]} = 330\left[\frac{1}{s}\right] \underline{\underline{= 330 \text{ Hertz}}}$

C'est la fréquence d'un mi_3, cela se voit sur l'exercice précédent.

b) L'harmonique numéro 2 a une fréquence double, soit 660 [Hz] et une longueur d'onde deux fois plus courte, soit 0,500 [m].
L' harmonique numéro 3 a une fréquence triple, soit 990 [Hz] et une longueur d'onde trois fois plus courte, soit 0,333 [m].

c) La longueur d'onde correspondante à une fréquence de 523 Hertz est de $\lambda = \frac{V}{\upsilon} = \frac{330\,[\text{m/s}]}{523\,[\text{Hertz}]} = 0{,}63\,[\text{m}]$. Il faut donc une longueur de corde de 63/2=31,5 [cm] pour produire cette fréquence. Donc il faut poser le doigt à 50 - 31,5 = 18,5 [cm] du bout du manche pour produire un do_4.

d) La longueur d'onde de ce do_4 sur la corde est de 63,0 [cm], calculée au point c).

d) La longueur d'onde de ce do_4 dans l'air est de $\lambda = \frac{V_{\text{son}}}{\upsilon} = \frac{343\,[\text{m/s}]}{523\,[\text{Hertz}]} = 0{,}66\,[\text{m}] \underline{\underline{= 66\,[\text{cm}]}}$

X.1 Oui, n'importe quel corps est-il susceptible de rayonner de la lumière blanche si on le chauffe à une température identique à celle de la surface du soleil, soit environ 5'500 [°C].

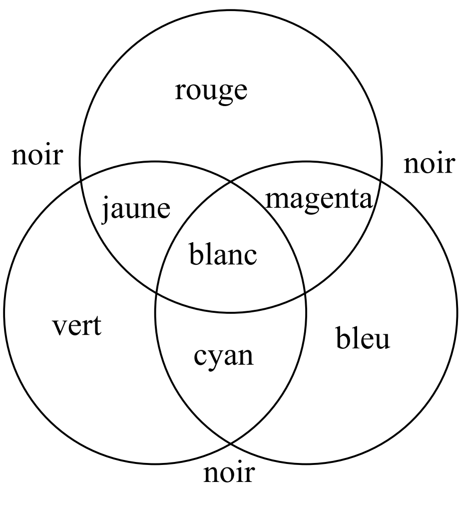
X.2 On parle, à propos des tubes néon, de « lumière froide » car les tubes néon émettent de la lumière sans chauffer à de hautes températures, contrairement aux ampoules électriques. Le principe d'émission de la lumière d'un tube néon est différent de celui d'une ampoule électrique.

X.3 Non, cela ne correspond pas à la réalité physique. Un corps émettant de la lumière rouge à cause de sa température est moins chaud qu'un corps émettant de la lumière bleue à cause de sa température. En étudiant la couleur des étoiles, on peut déterminer leur température.

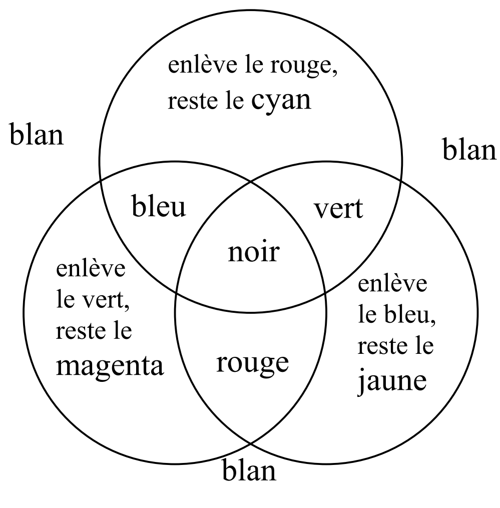
X.4 Puisque des lampes ordinaires émettent plus de rouge que de vert et de bleu, en photographiant le soir, sans flash, une scène d'intérieure éclairée par des lampes, la photographie de la scène sera plus rouge que si on l'avait photographiée à la lumière du jour ou avec un flash.

X.5 Complétion des deux schémas de synthèse de couleurs, page 14.

<u>Synthèse additive :</u>
On part du noir et on ajoute des couleurs



<u>Synthèse soustractive :</u>
On part du blanc et on enlève des couleurs.



X.6 Quand un peintre rajoute de la peinture sur sa toile, cela correspond à des couleurs soustractives. Chaque couche de peinture absorbe la lumière.

X.7 Si la source de lumière est uniquement rouge, les pissenlits jaunes seront vus rouges, l'herbe verte sera vue noire, le ciel cyan sera aussi vu noir. Dans ce cas, les deux seuls "couleurs" possibles sont rouge et noire. Tout ce qui ne diffuse pas le rouge sera vu noir. Donc ce qui ne diffuse que du vert, du bleu ou du cyan sera vu noir. Ce qui diffuse du rouge, du jaune du magenta et du blanc sera vu rouge.

X.8 Si nos lunettes sont jaunes, elles absorberont la couleur bleue. Donc le cyan deviendra vert, le rouge restera rouge, le blanc deviendra jaune.
Si nos lunettes sont bleues, elles absorberont les couleurs verte et rouge bleue. Donc le cyan deviendra bleu, le rouge deviendra noir, le blanc deviendra bleu.
Si nos lunettes sont magenta, elles absorberont la couleur verte. Donc le cyan deviendra bleu, le rouge restera rouge, le blanc deviendra magenta.

X.9 La voiture bleue absorbe tous les rayons, sauf ceux proche du bleu, donc elle chauffera le plus. La voiture jaune absorbe les rayons proche du bleu, donc chauffera moins. La voiture blanche réfléchit un maximum de rayons, c'est celle qui chauffera le moins.