

Mesure des distances cosmiques

Proportion

Titre 1	Titre 2
<i>a</i>	<i>b</i>
<i>c</i>	<i>d</i>
Proportion	

Proportion

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d} \quad a/b = c/d$$

Les quotients sont égaux

Titre 1	Titre 2
<i>a</i>	<i>b</i>
<i>c</i>	<i>d</i>
Proportion	

Proportion

Titre 1	Titre 2
<i>a</i>	<i>b</i>
<i>c</i>	<i>d</i>
Proportion	

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

$$a / b = c / d$$

Les quotients sont égaux

$$\frac{b}{d} = \frac{a}{c}$$

$$b / a = d / c$$

On peut permuter les lignes
ou les colonnes

Proportion

Titre 1	Titre 2
a	b
c	d
Proportion	

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

$$a / b = c / d$$

Les quotients sont égaux

$$\frac{b}{d} = \frac{a}{c}$$

$$b / a = d / c$$

On peut permuter les lignes
ou les colonnes

$$a d = c b$$

Les produits croisés sont égaux

Proportion

Titre 1	Titre 2
a	b
c	d
Proportion	

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

$$a / b = c / d$$

Les quotients sont égaux

$$\frac{b}{d} = \frac{a}{c}$$

$$b / a = d / c$$

On peut permuter les lignes ou les colonnes

$$a d = c b$$

Les produits croisés sont égaux

$$a = \frac{c b}{d} \quad b = \frac{a d}{c} \quad c = \frac{a d}{b} \quad d = \frac{c b}{a}$$

$$\text{Inconnue} = \frac{\text{Produit sur l'autre diagonale}}{\text{quatrième valeur}}$$

Quatrième proportionnelle ou "règle de trois"

Proportion

Titre 1	Titre 2
a	b
c	d
Proportion	

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$

$$a / b = c / d$$

Les quotients sont égaux

$$\frac{b}{d} = \frac{a}{c}$$

$$b / a = d / c$$

On peut permuter les lignes ou les colonnes

$$a d = c b$$

Les produits croisés sont égaux

$$a = \frac{c b}{d} \quad b = \frac{a d}{c} \quad c = \frac{a d}{b} \quad d = \frac{c b}{a}$$

$$\text{Inconnue} = \frac{\text{Produit sur l'autre diagonale}}{\text{quatrième valeur}}$$

Quatrième proportionnelle ou "règle de trois"

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d} = \frac{a + b}{c + d} = \frac{a - b}{c - d}$$

Règle de la somme ou de la différence en ligne

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
Proportion			

On dresse le tableau selon sa pensée personnelle
(aucun risque si on permute les colonnes)

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
1			
	1		
		1	
			1
Proportion			

On met des 1 sur la diagonale

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
t	L	n	θ
1	c	ν	ω
	1		k
T	λ	1	2π
			1
Proportion			

t = durée

L = distance de propagation

θ = phase

c = vitesse de propagation

ν = fréquence

ω = pulsation

k = nombre d'onde

T = période

λ = longueur d'onde

On écrit les symboles d'usage connus

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
t	L	n	θ
1	c	ν	ω
	1		k
T	λ	1	2π
			1
Proportion			

t = durée

seconde (s)

L = distance de propagation

mètre (m)

θ = phase

radians (rd)

c = vitesse de propagation

(m s⁻¹)

ν = fréquence

hertz (Hz)

ω = pulsation

(rd s⁻¹)

k = nombre d'onde

(m⁻¹) (cm⁻¹)

T = période

(s)

λ = longueur d'onde

(m) (nm)

On fait l'inventaire des unités

Unités standard

Unités usuelles

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
t	L	n	θ
1	c	ν	ω
	1		k
T	λ	1	2π
			1
Proportion			

t = durée

seconde (s)

L = distance de propagation

mètre (m)

θ = phase

radians (rd)

c = vitesse de propagation

(m s⁻¹)

ν = fréquence

hertz (Hz)

ω = pulsation

(rd s⁻¹)

k = nombre d'onde

(m⁻¹) (cm⁻¹)

T = période

(s)

λ = longueur d'onde

(m) (nm)

On extrait quatre cases

1	k	L	n	t	θ
λ	2π	c	ν	1	ω

Unités standard

Unités usuelles

Proportion des grandeurs ondulatoires

Temps	Distance	Oscillations	Angle
t	L	n	θ
1	c	ν	ω
	1		k
T	λ	1	2π
			1
Proportion			

t = durée

seconde (s)

L = distance de propagation

mètre (m)

θ = phase

radians (rd)

c = vitesse de propagation

(m s⁻¹)

ν = fréquence

hertz (Hz)

ω = pulsation

(rd s⁻¹)

k = nombre d'onde

(m⁻¹) (cm⁻¹)

T = période

(s)

λ = longueur d'onde

(m) (nm)

$$\frac{1}{\lambda} \quad k \quad L \quad n$$

$$\frac{1}{T} \quad 2\pi \quad c \quad \nu$$

$$\frac{t}{1} = \frac{\theta}{\omega}$$

Unités standard

Unités usuelles

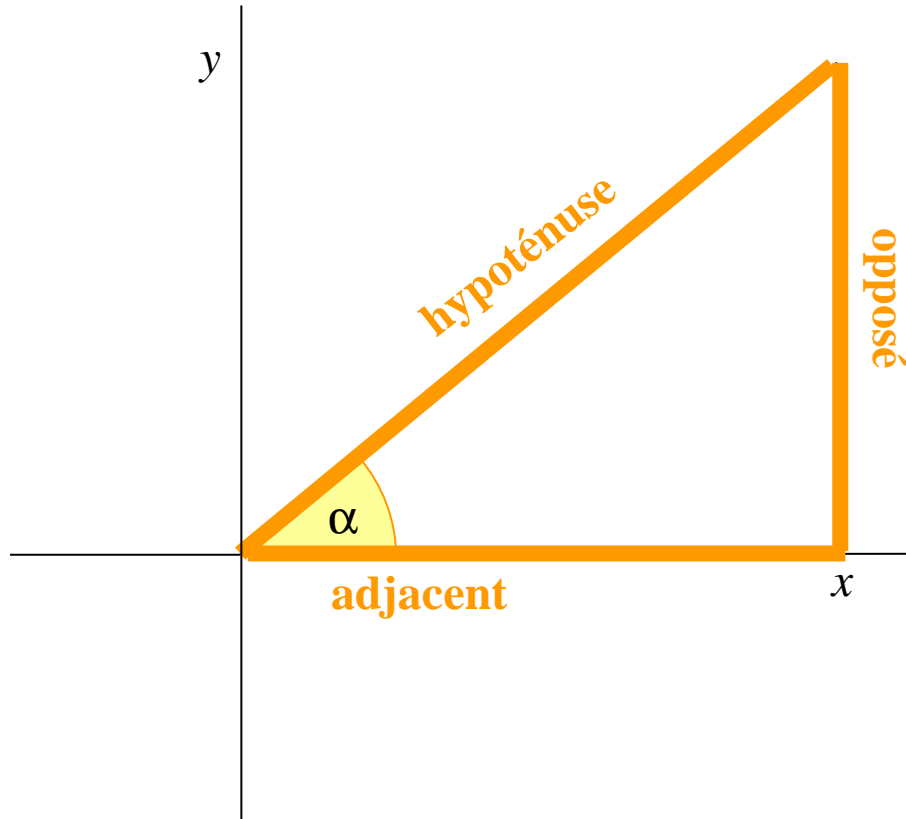
et on exploite les propriétés des proportions

$$k = 2\pi / \lambda \text{ ou } L \nu = n c \text{ ou } \frac{1}{t} = \frac{\omega}{\theta}$$

Premières mesures par le parallaxe

Le parallaxe

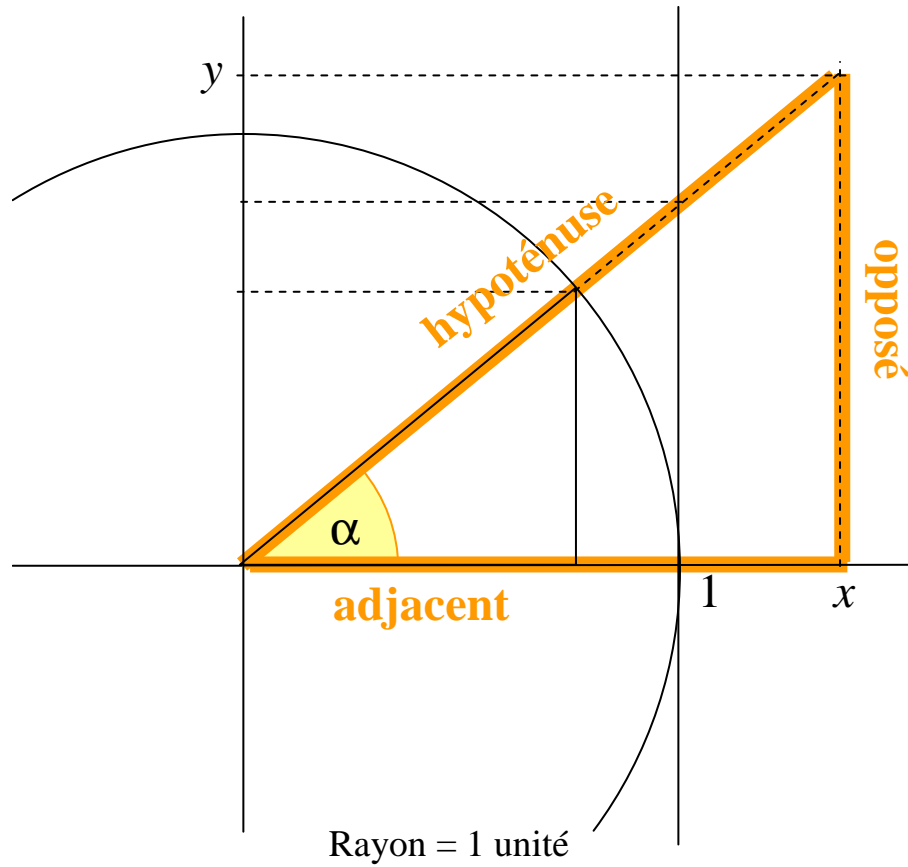
Trigonométrie



Soit un triangle rectangle.

Le parallaxe

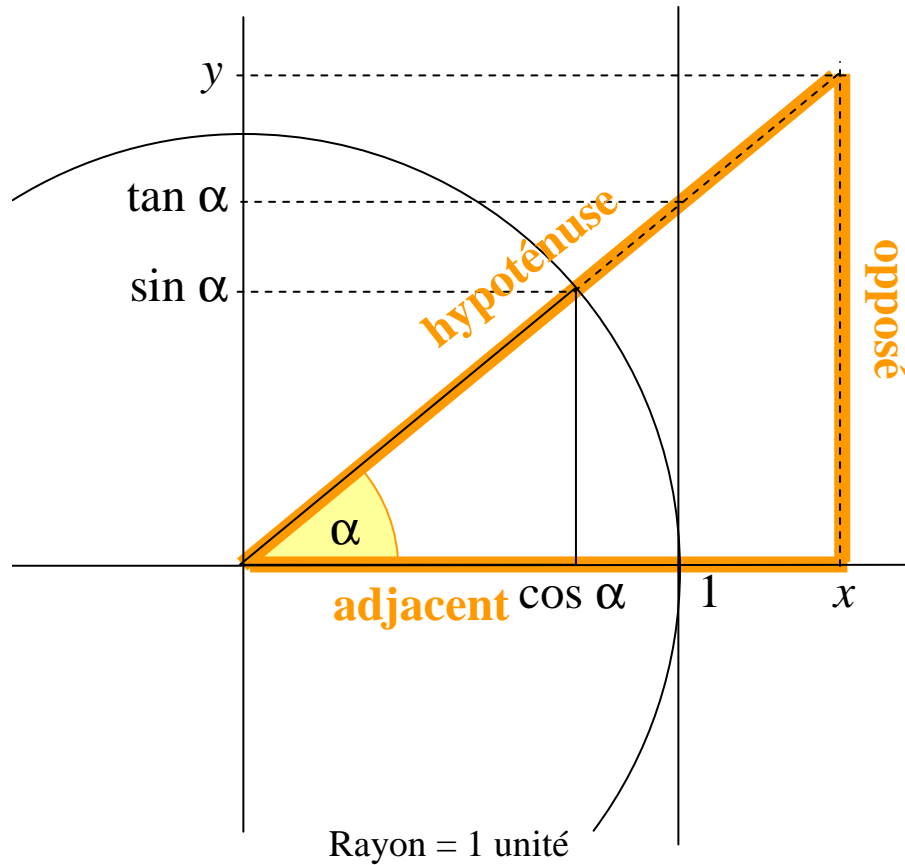
Trigonométrie



Traçons un cercle de rayon unité.

Le parallaxe

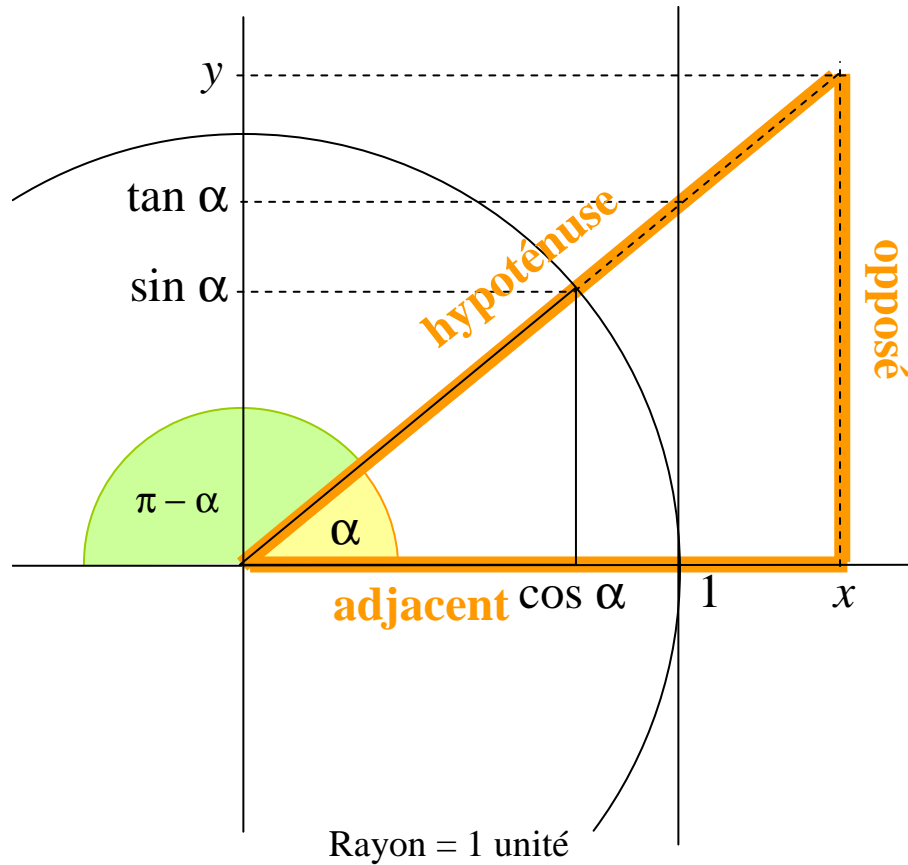
Trigonométrie



Ce cercle définit les grandeurs trigonométriques d'usage.

Le parallaxe

Trigonométrie

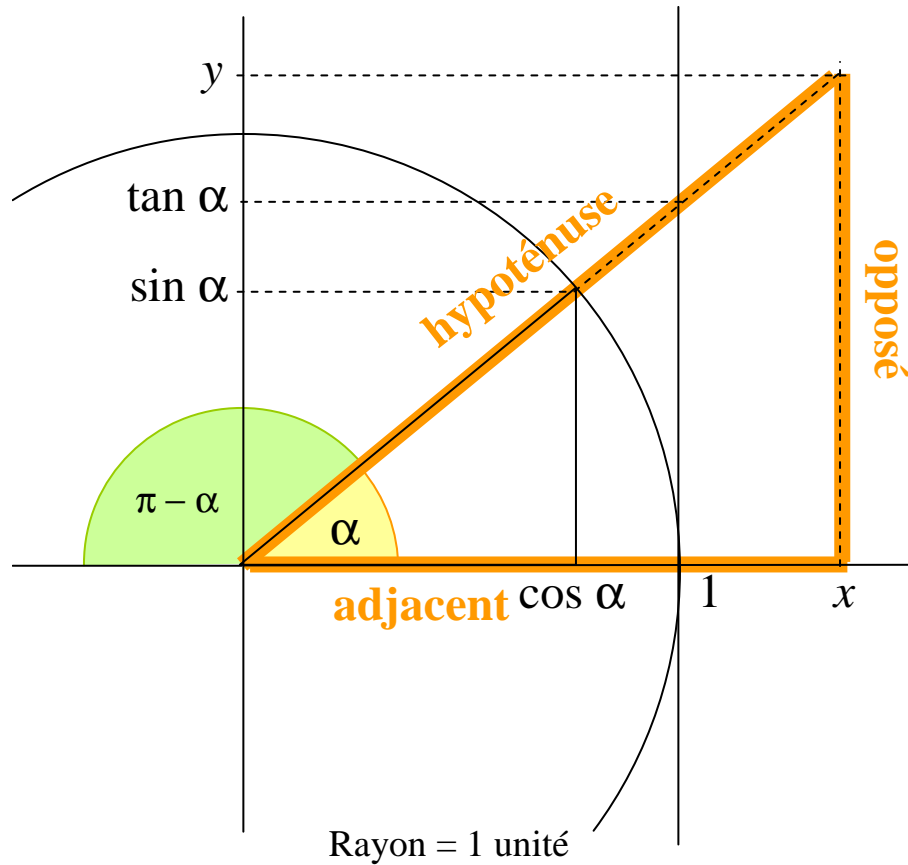


Ce cercle définit les grandeurs trigonométriques d'usage.

Note : la trigonométrie de α et de son complémentaire $\pi - \alpha$ sont identiques.

Le parallaxe

Trigonométrie

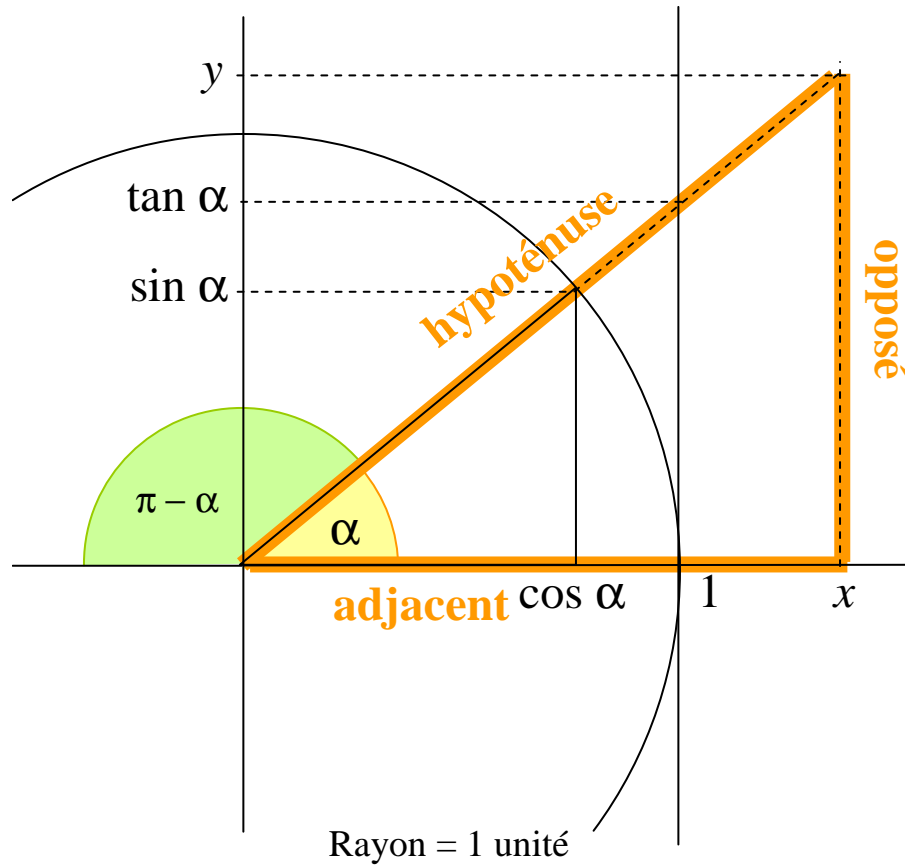


Horizontalement	verticalement	Autrement
x	y	R
1	$\tan \alpha$	–
$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	1
Proportion		

On applique le théorème de Thalès

Le parallaxe

Trigonométrie



Horizontalement	verticalement	Autrement
x	y	R
1	$\tan \alpha$	—
$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	1
Proportion		

4e proportionnelle :

$$x = R \cos a$$

$$y = R \sin a$$

$$\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$$

$$\sin a = y / R$$

$$\cos a = x / R$$

$$\tan a = y / x$$

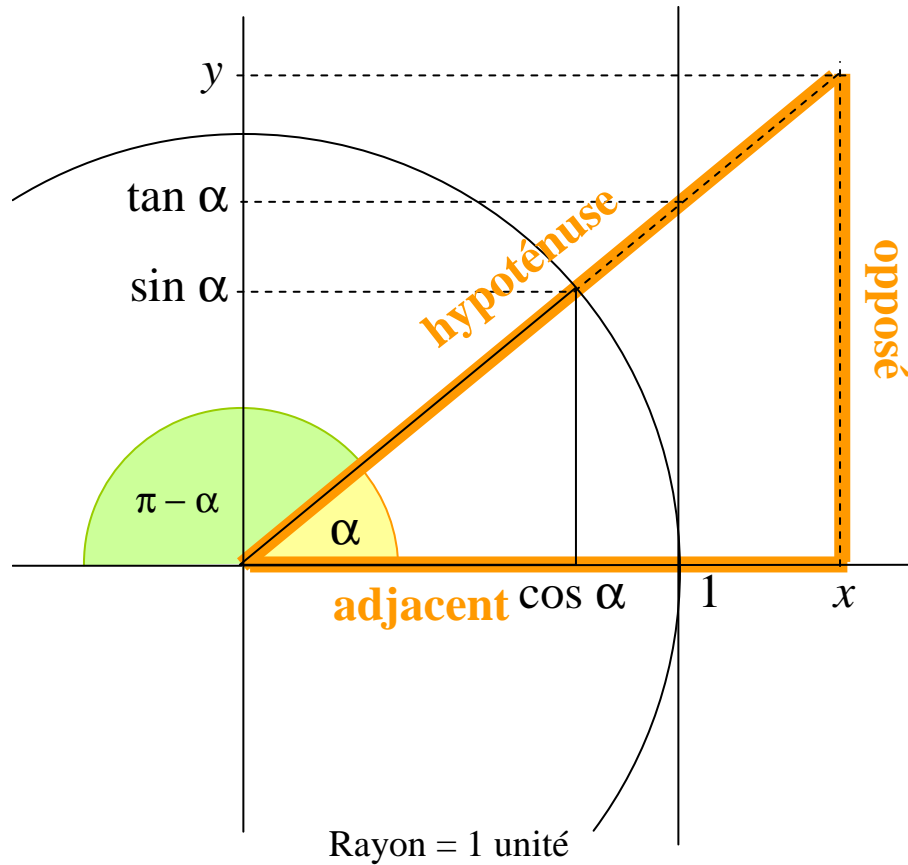
$$\begin{array}{l} x \quad R \\ \cos \alpha \quad 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} y \quad R \\ \sin \alpha \quad 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \quad \tan \alpha \\ \cos \alpha \quad \sin \alpha \end{array}$$

Le parallaxe

Trigonométrie



Horizontalement	verticalement	Autrement
x	y	R
1	$\tan \alpha$	–
$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	1
Proportion		

4e proportionnelle :

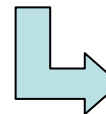
$$x = R \cos a$$

$$y = R \sin a$$

$$\sin a = y / R$$

$$\cos a = x / R$$

$$\tan a = y / x$$



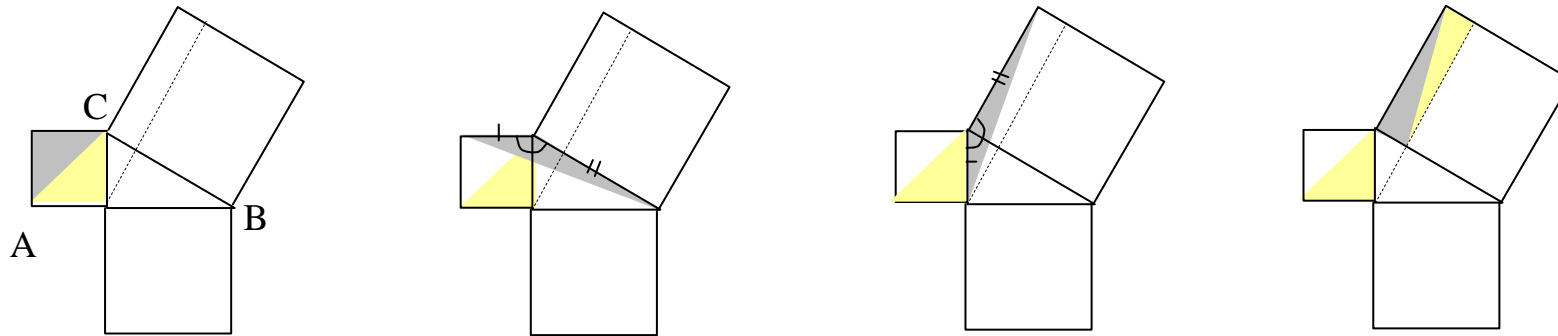
$$\sinus = \frac{\text{opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\cosinus = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\text{tangente} = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}}$$

Le parallaxe

Théorème de Pythagore



On a trois carrés, un petit, un moyen et un grand.

Les aires des surfaces grises sont égales entre elles et égales à celles des surfaces jaunes.

L'aire du petit carré et celle du rectangle bicolore sont égales.

Un raisonnement analogue montre un résultat semblable sur le moyen carré.

L'aire du grand carré est la somme des aires des deux autres carrés.

$$AB^2 + AC^2 = BC^2$$

Application trigonométrique : $\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$.



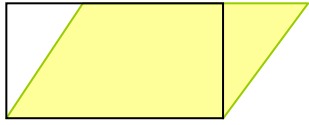
Les aires du rectangle et du
parallélogramme sont
égales.

Le parallaxe

Théorème du sinus

Le parallaxe

Théorème du sinus



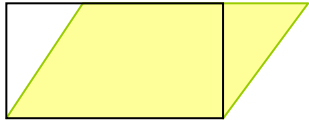
Les aires du rectangle et du
parallélogramme sont
égales.



Quand un côté se déplace
parallèlement au côté opposé,
l'aire d'un parallélogramme reste
constante.

Le parallaxe

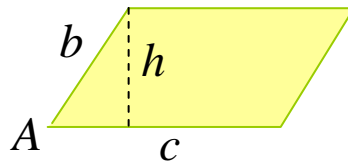
Théorème du sinus



Les aires du rectangle et du parallélogramme sont égales.



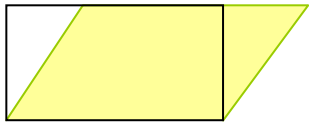
Quand un côté se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un parallélogramme reste constante.



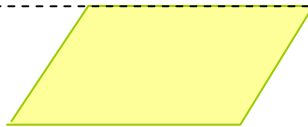
$$\text{Aire} = c h = c b \sin A$$

Le parallaxe

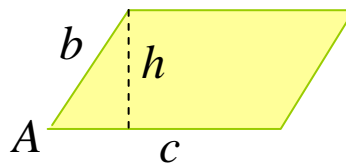
Théorème du sinus



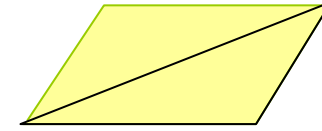
Les aires du rectangle et du parallélogramme sont égales.



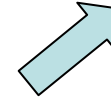
Quand un côté se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un parallélogramme reste constante.



$$\text{Aire} = c h = c b \sin A$$

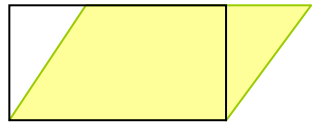


L'aire d'un triangle est la moitié de celle d'un parallélogramme.

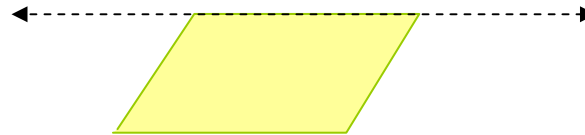
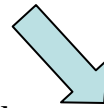


Le parallaxe

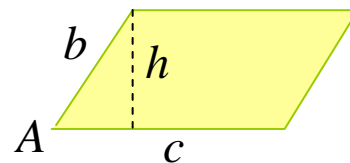
Théorème du sinus



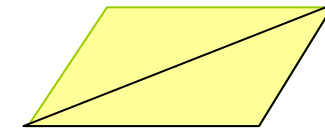
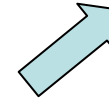
Les aires du rectangle et du parallélogramme sont égales.



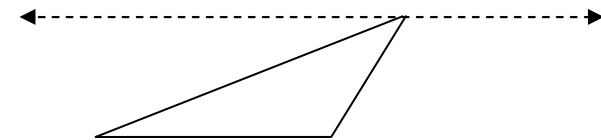
Quand un côté se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un parallélogramme reste constante.



$$\text{Aire} = c h = c b \sin A$$



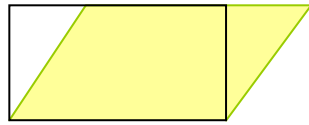
L'aire d'un triangle est la moitié de celle d'un parallélogramme.



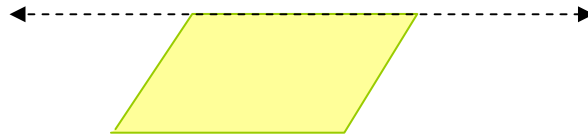
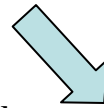
Quand un sommet se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un triangle reste constante.

Le parallaxe

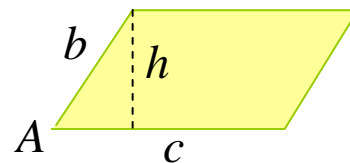
Théorème du sinus



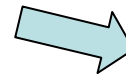
Les aires du rectangle et du parallélogramme sont égales.



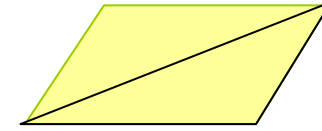
Quand un côté se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un parallélogramme reste constante.



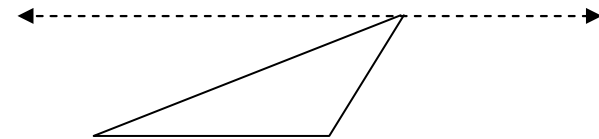
$$\text{Aire} = c h = c b \sin A$$



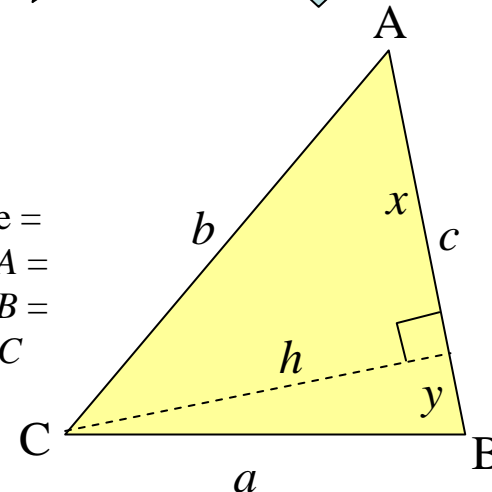
$$\begin{aligned} 2 \times \text{Aire} &= \\ b c \sin A &= \\ c a \sin B &= \\ a b \sin C & \end{aligned}$$



L'aire d'un triangle est la moitié de celle d'un parallélogramme.

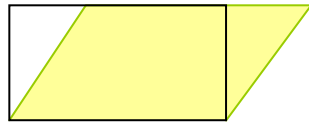


Quand un sommet se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un triangle reste constante.

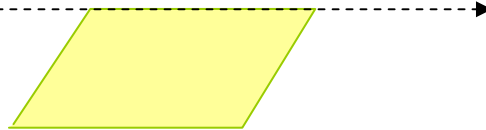
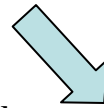


Le parallaxe

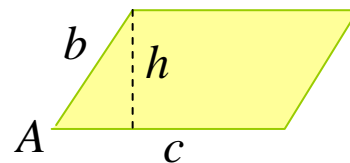
Théorème du sinus



Les aires du rectangle et du parallélogramme sont égales.



Quand un côté se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un parallélogramme reste constante.

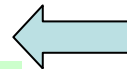


$$\text{Aire} = c h = c b \sin A$$

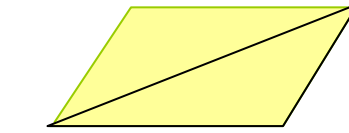
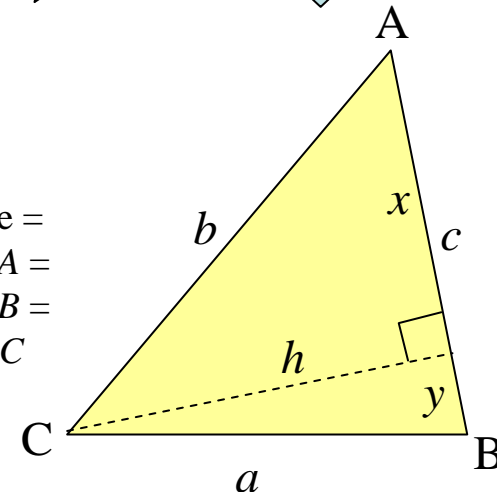
$$\frac{b c \sin A}{a b c} = \frac{c a \sin B}{a b c} = \frac{a b \sin C}{a b c}$$

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

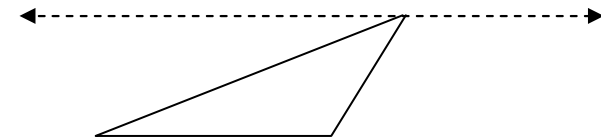
Théorème du sinus



$$\begin{aligned} 2 \times \text{Aire} &= \\ b c \sin A &= \\ c a \sin B &= \\ a b \sin C & \end{aligned}$$



L'aire d'un triangle est la moitié de celle d'un parallélogramme.



Quand un sommet se déplace parallèlement au côté opposé, l'aire d'un triangle reste constante.



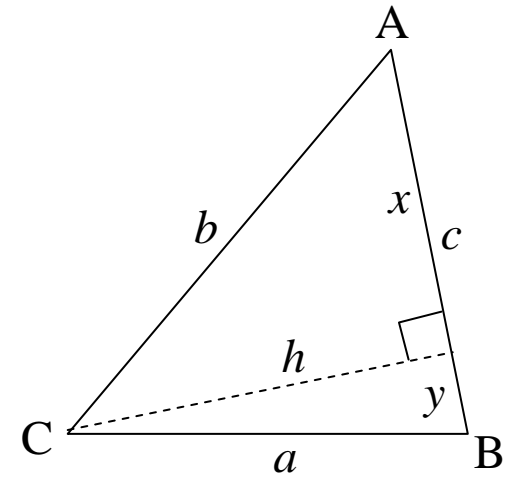
Le parallaxe

Théorème du cosinus

$$\cos A = \frac{x}{b}$$

$$x = b \cos A$$

$$\begin{aligned} a^2 &= y^2 + h^2 \text{ donc } a^2 = (c - x)^2 + (b^2 - x^2) = c^2 + x^2 - 2cx + b^2 - x^2 \\ &= c^2 - 2cb \cos A + b^2 \end{aligned}$$



Le parallaxe

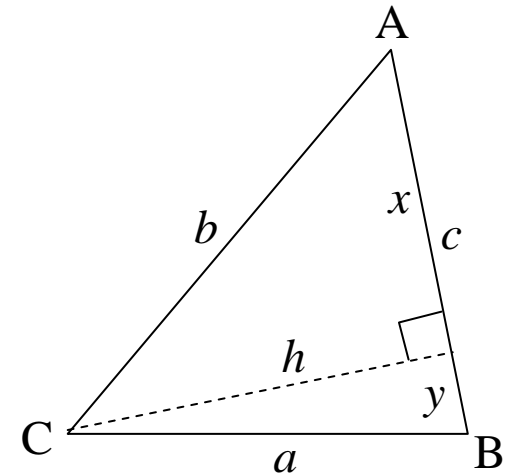
Théorème du cosinus

$$\cos A = \frac{x}{b}$$

$$x = b \cos A$$

$$a^2 = y^2 + h^2 \text{ donc } a^2 = (c - x)^2 + (b^2 - x^2) = c^2 + x^2 - 2 c x + b^2 - x^2 \\ = c^2 - 2 c b \cos A + b^2$$

Théorème : $a^2 = b^2 - 2 x b c \cos A + c^2$
du cosinus



Le parallaxe

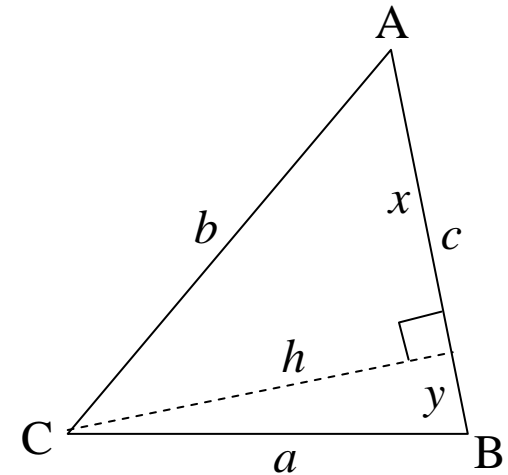
Théorème du cosinus

$$\cos A = \frac{x}{b}$$

$$x = b \cos A$$

$$a^2 = y^2 + h^2 \text{ donc } a^2 = (c - x)^2 + (b^2 - x^2) = c^2 + x^2 - 2 c x + b^2 - x^2 \\ = c^2 - 2 c b \cos A + b^2$$

Théorème : $a^2 = b^2 - 2 x b c \cos A + c^2$
du cosinus



On appelle **vecteur** l'ensemble des flèches identiques à une flèche donnée (même orientation et même longueur).

Le parallaxe

Théorème du cosinus

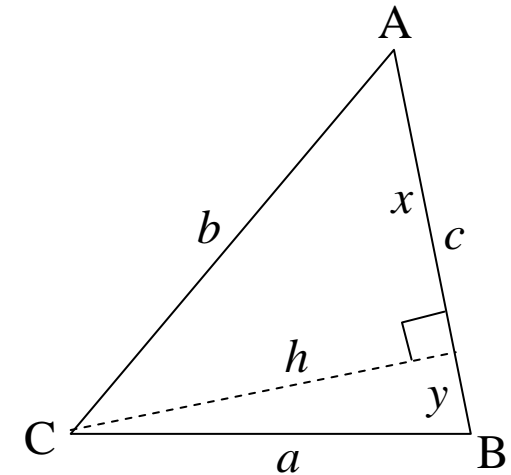
$$\cos A = \frac{x}{b}$$

$$x = b \cos A$$

$$a^2 = y^2 + h^2 \text{ donc } a^2 = (c - x)^2 + (b^2 - x^2) = c^2 + x^2 - 2cx + b^2 - x^2 \\ = c^2 - 2cb \cos A + b^2$$

Théorème : $a^2 = b^2 - 2 \underbrace{bc \cos A} + c^2$
du cosinus

Produit scalaire $\mathbf{b c}$



On appelle **vecteur** l'ensemble des flèches identiques à une flèche donnée (même orientation et même longueur).

Si un vecteur \mathbf{u} contient la flèche (M, P) on l'écrit aussi \mathbf{MP} ou \overrightarrow{MP} .

Le parallaxe

Théorème du cosinus

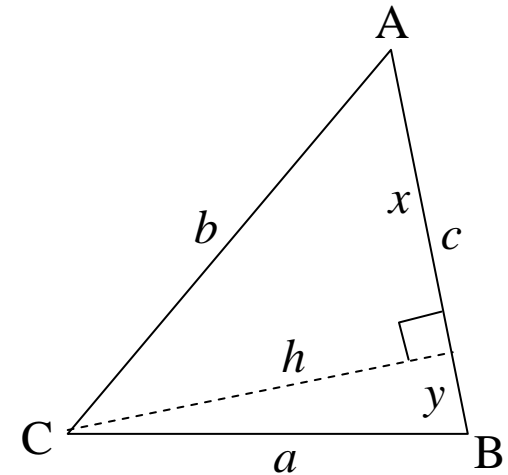
$$\cos A = \frac{x}{b}$$

$$x = b \cos A$$

$$a^2 = y^2 + h^2 \text{ donc } a^2 = (c - x)^2 + (b^2 - x^2) = c^2 + x^2 - 2cx + b^2 - x^2 \\ = c^2 - 2cb \cos A + b^2$$

Théorème : $a^2 = b^2 - 2 \times b c \cos A + c^2$
du cosinus

Produit scalaire $\mathbf{b c}$



On appelle **vecteur** l'ensemble des flèches identiques à une flèche donnée (même orientation et même longueur).

Si un vecteur \mathbf{u} contient la flèche (M, P) on l'écrit aussi $\overrightarrow{\mathbf{MP}}$ ou \mathbf{MP} .

Pour un triangle, une fois choisi un sens de rotation, on nomme les vecteurs à partir des côté en respectant une permutation circulaire des points et des segments. Par exemple $\overrightarrow{\mathbf{AB}} = \mathbf{c}$, $\overrightarrow{\mathbf{BC}} = \mathbf{a}$ et $\overrightarrow{\mathbf{CA}} = \mathbf{b}$.

Le parallaxe

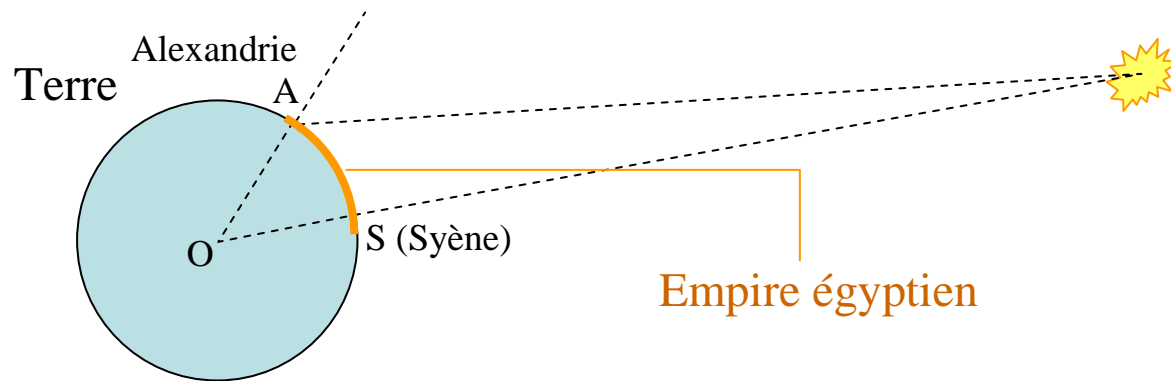
Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.

Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératosthène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

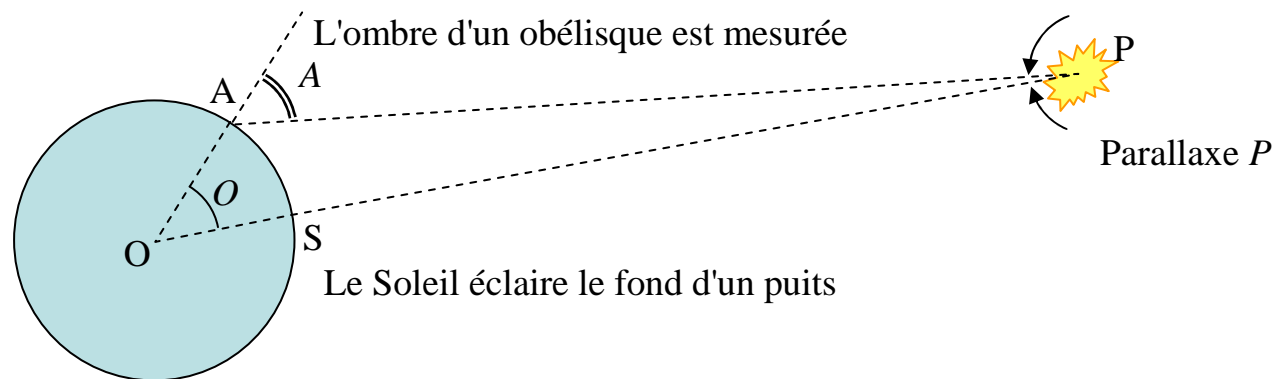
Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

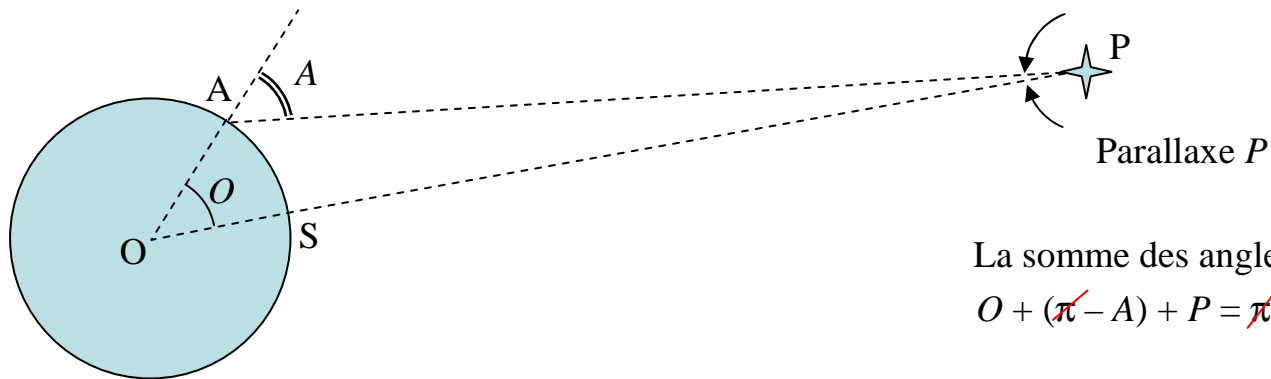
Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



La somme des angles internes d'un triangle vaut π

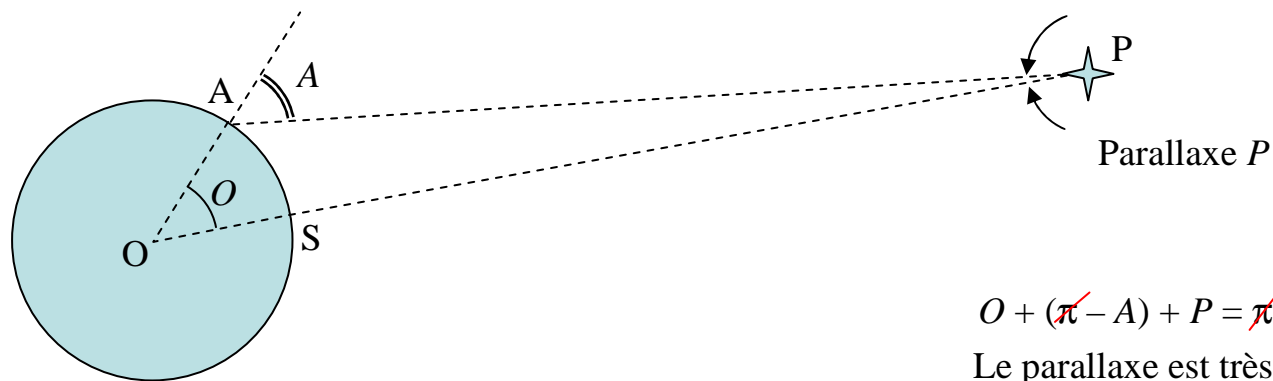
$$O + (\pi - A) + P = \pi$$

soit un
angle plat

Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



$$O + (\pi - A) + P = \pi$$

Le parallaxe est très petit

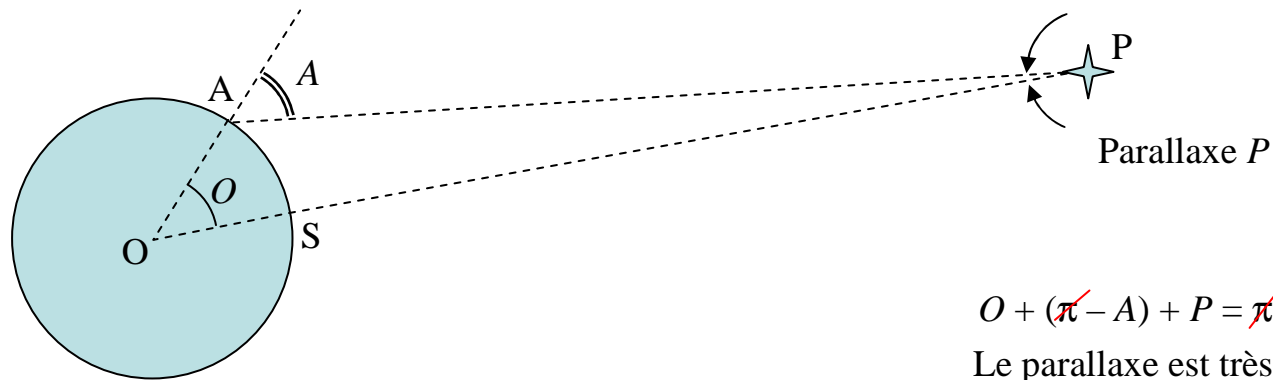
$$O - A + 0 \approx 0 \text{ donc } O \approx A$$

veut dire
"presque
égal à"

Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



$$O + (\pi - A) + P = \pi$$

Le parallaxe est très petit

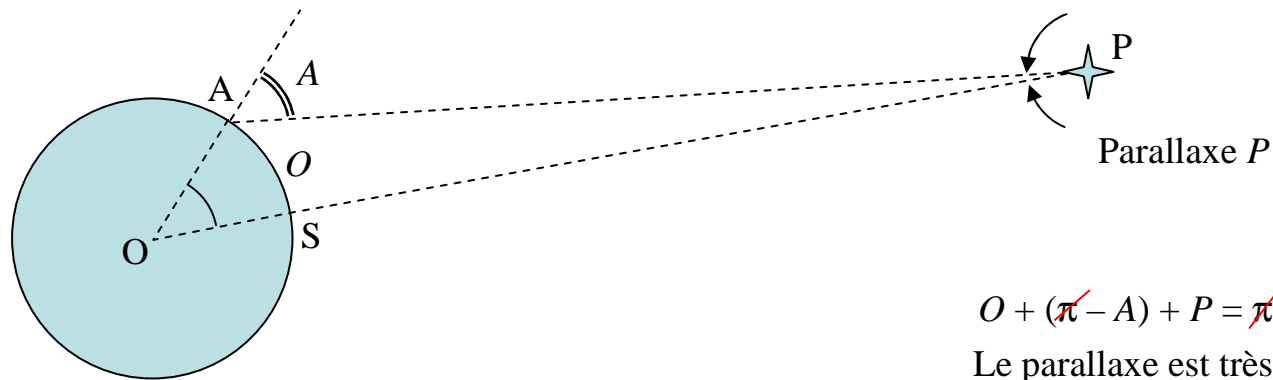
$$O - A + 0 \approx 0 \text{ donc } O \approx A$$

Degrés	Arc	Note
d	L	Arc de cercle méridien
360	$2 \pi R$	Ce cercle entier
Proportion		$2 \pi R d = 360 L$

Le parallaxe

Mesure de la Terre,
Ératoshène (276 av. n. è. – 194 av. n. è)

Le savant a appris le procédé dans la discrétion des temples égyptiens, le pays vivant sous les règnes des diadoques (successeurs d'Alexandre le grand). Mais contrairement aux Égyptiens, les Grecs débattaient de géométrie dans des lieux publics.



$$O + (\pi - A) + P = \pi$$

Le parallaxe est très petit

$$O - A + 0 \approx 0 \text{ donc } O \approx A$$

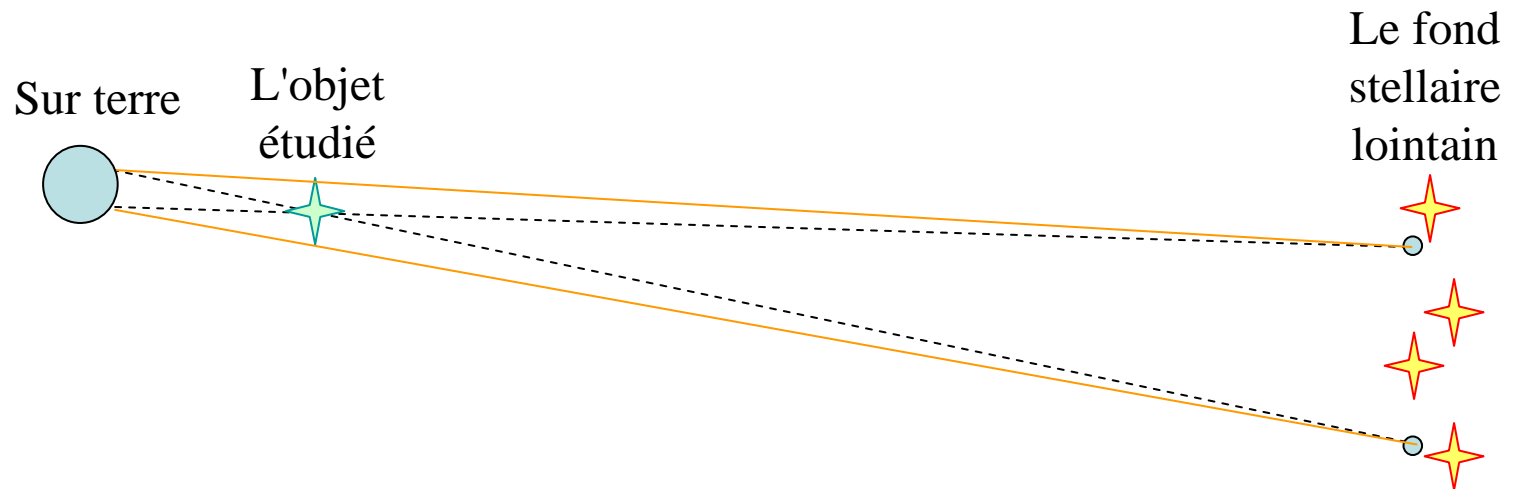
Degrés	Arc	Note
d	L	Arc de cercle méridien
360	$2 \pi R$	Ce cercle entier
Proportion		$2 \pi R d = 360 L$

$$2 \pi R d = 360 L$$

$$\text{Objectif : } R = \frac{360 L}{2 \pi d}$$

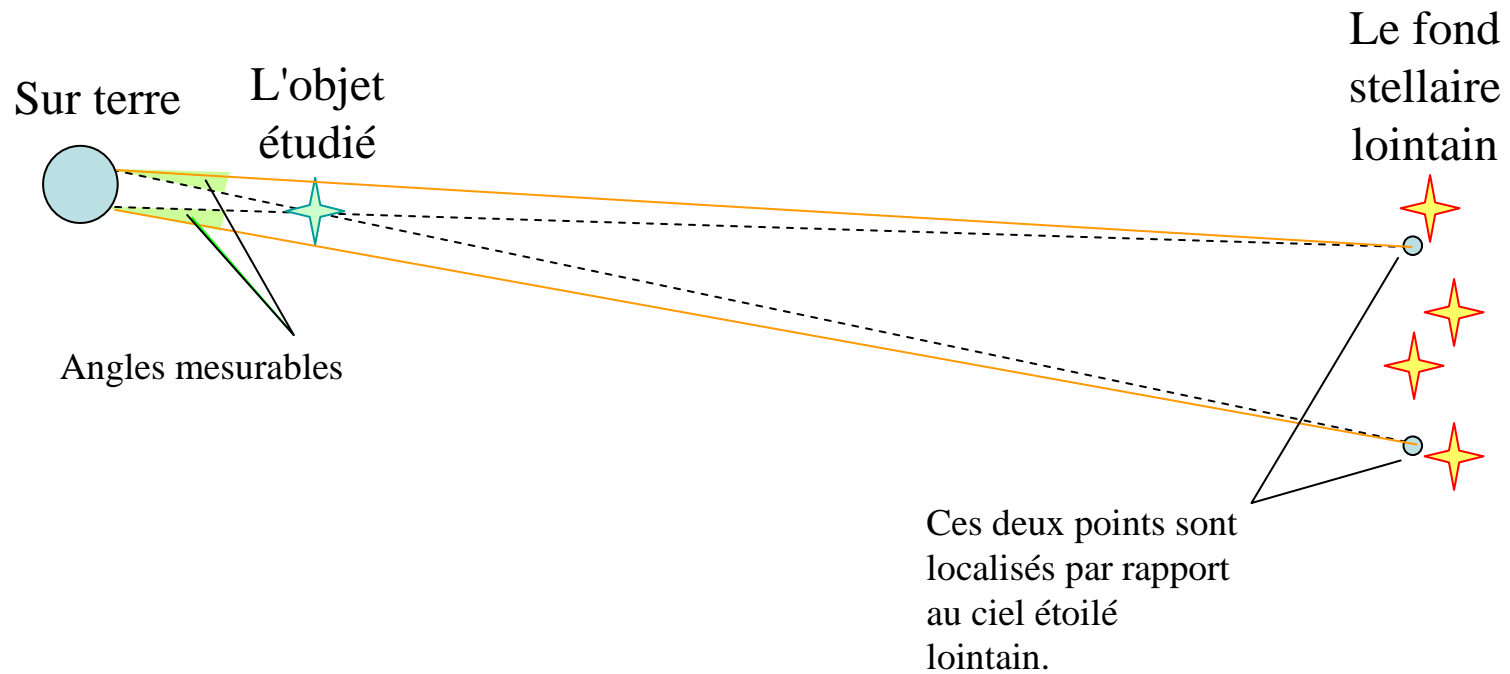
Le parallaxe

Sa mesure



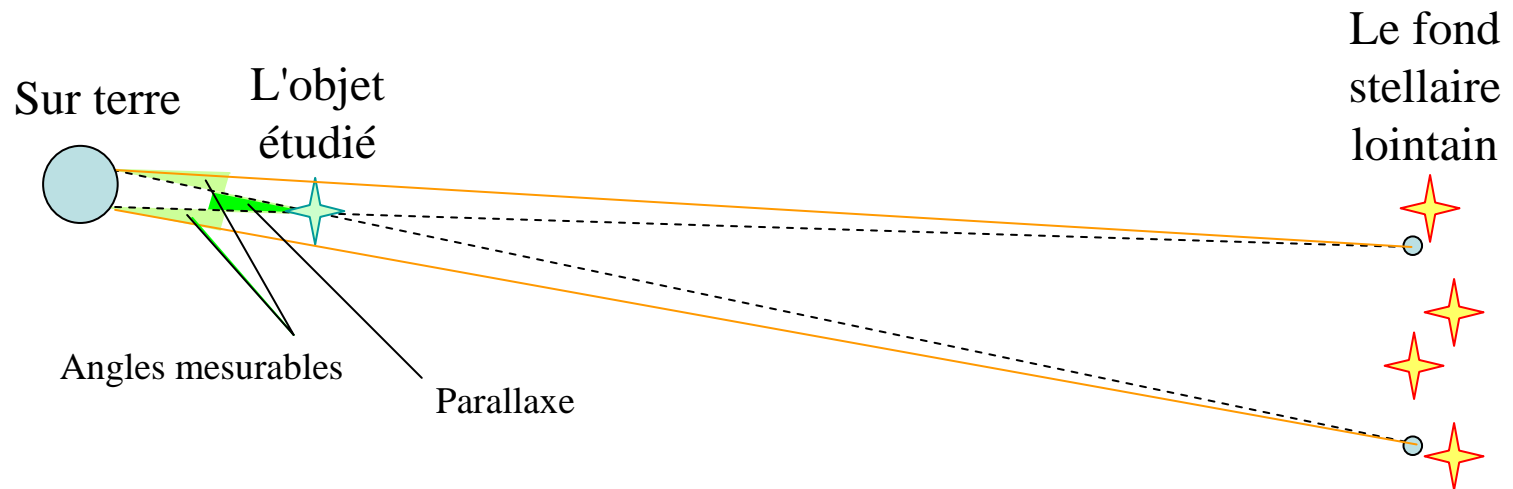
Le parallaxe

Sa mesure



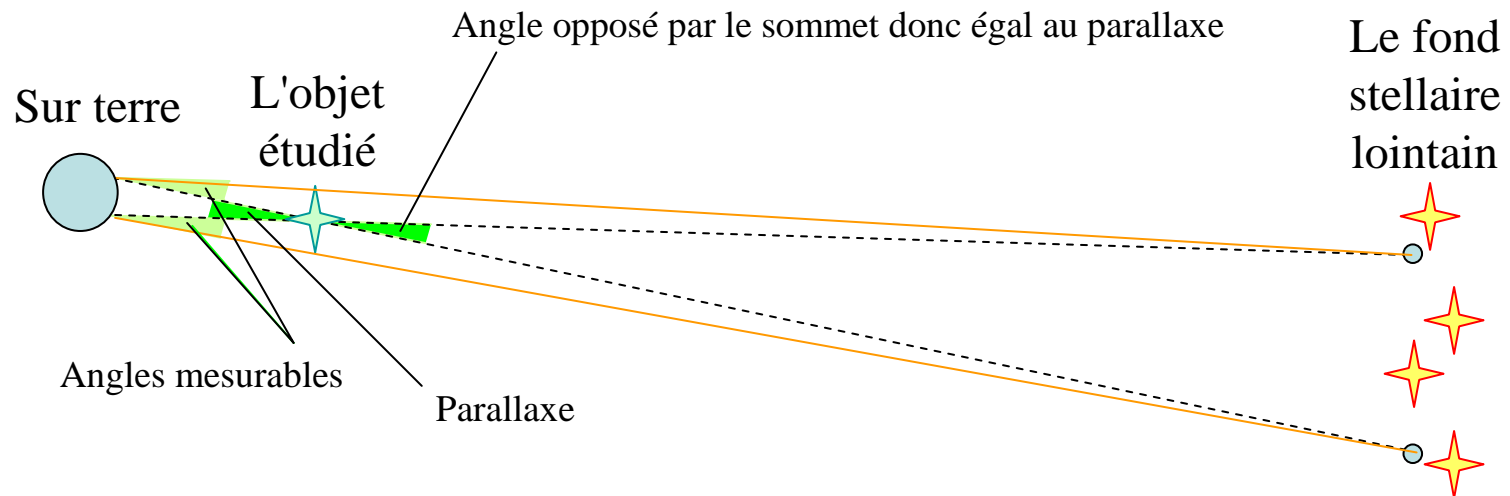
Le parallaxe

Sa mesure



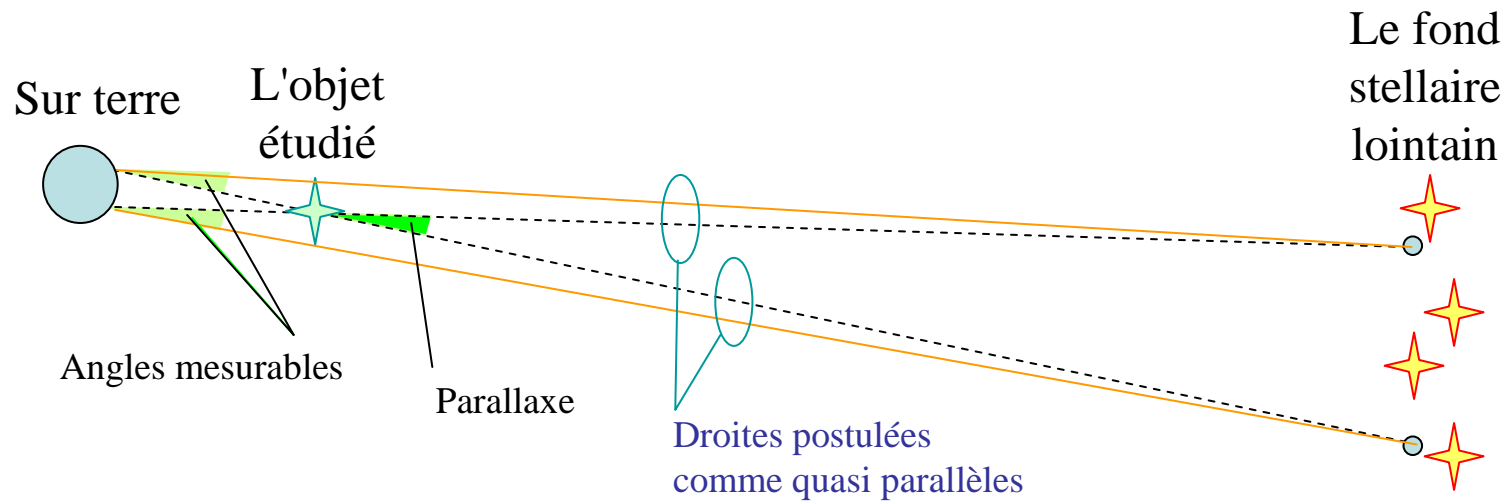
Le parallaxe

Sa mesure



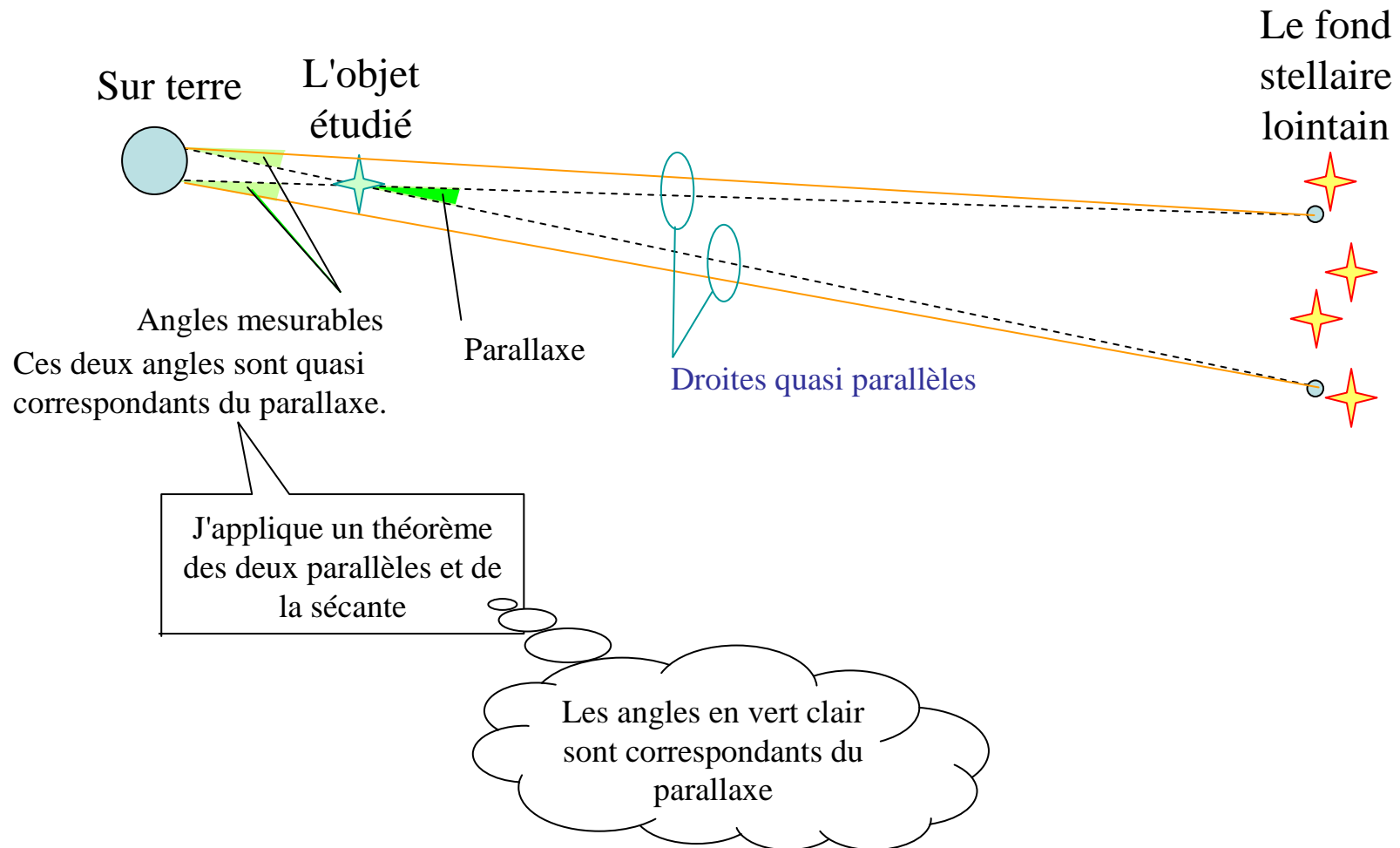
Le parallaxe

Sa mesure



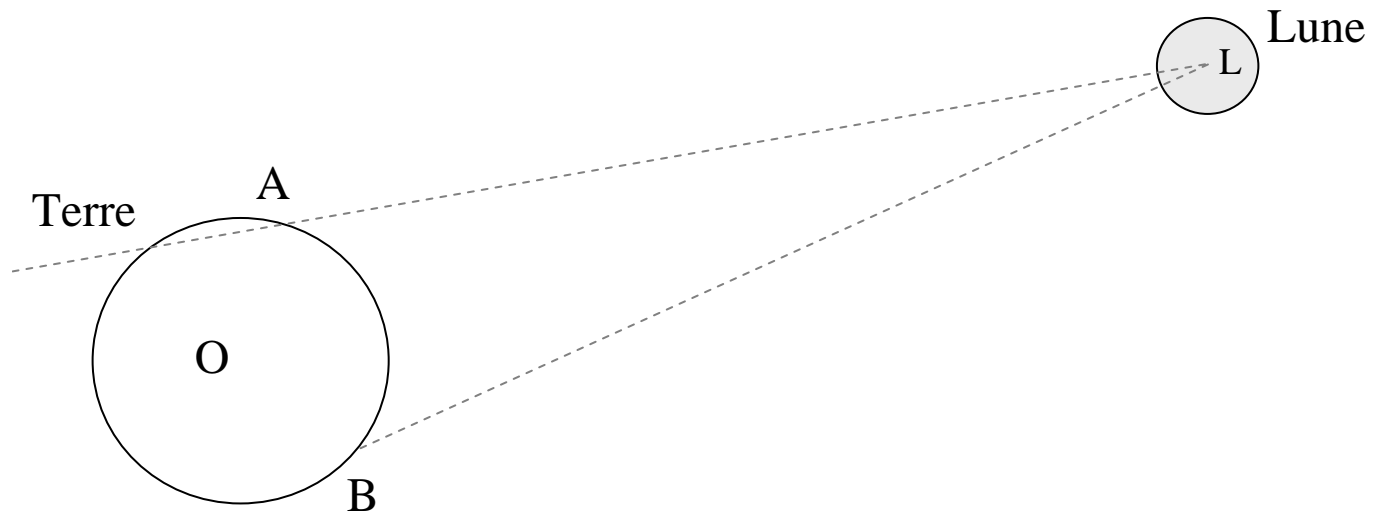
Le parallaxe

Sa mesure



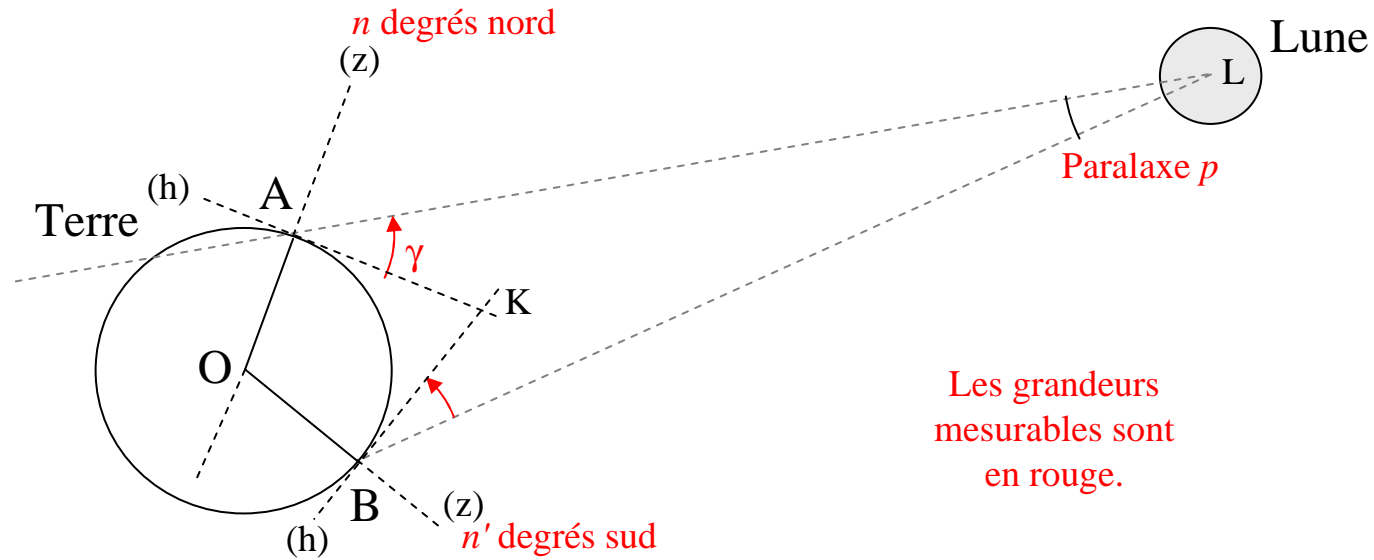
Le parallaxe

De la Terre à la Lune



Le parallaxe

De la Terre à la Lune



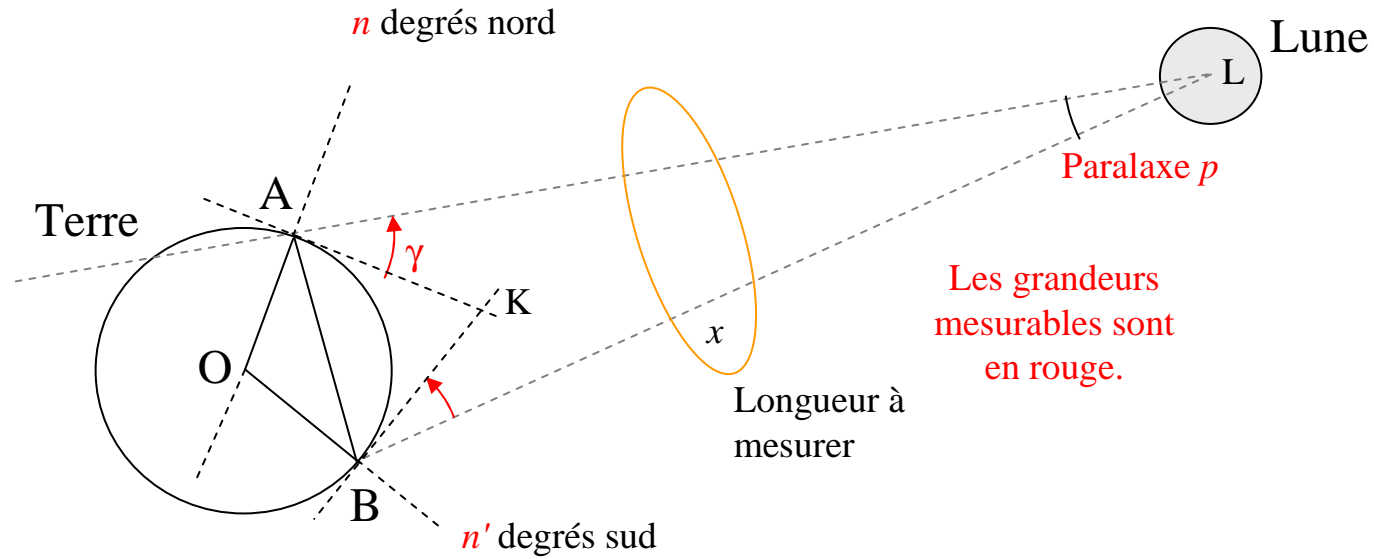
Les grandeurs mesurables sont en rouge.

(h) = horizon local

(z) = azimuth local

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



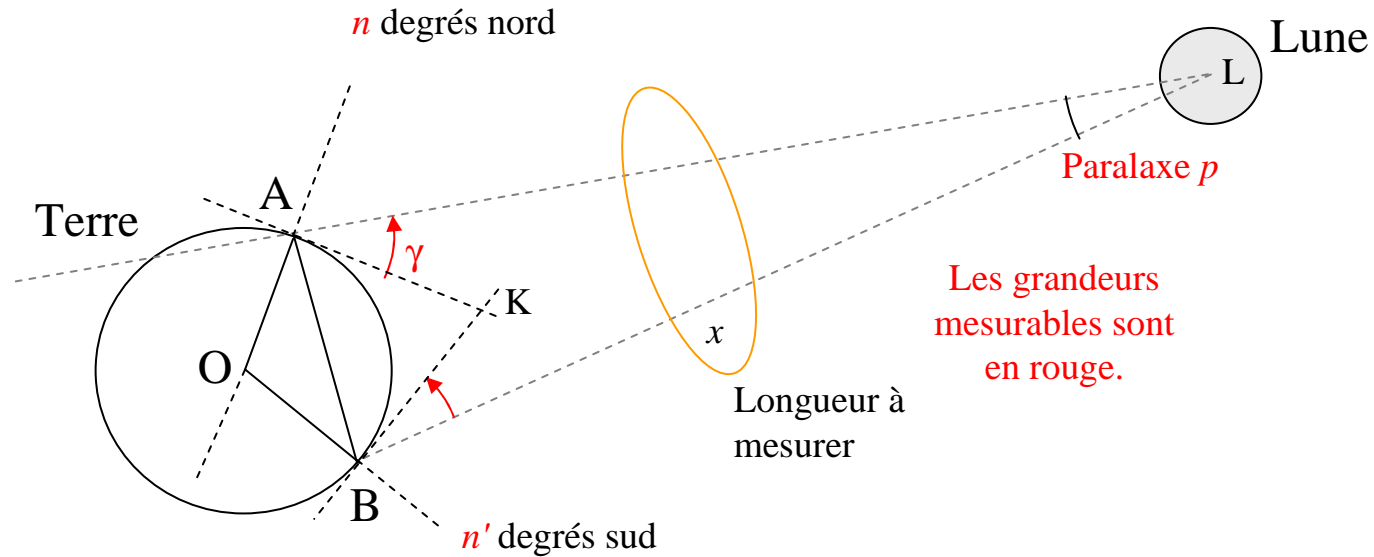
Théorème du sinus

$$\frac{x}{\sin \text{BAL}} = \frac{AB}{\sin p}$$

$$x = \frac{AB \sin \text{BAL}}{\sin p}$$

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin \text{BAL}}{\sin p}$$

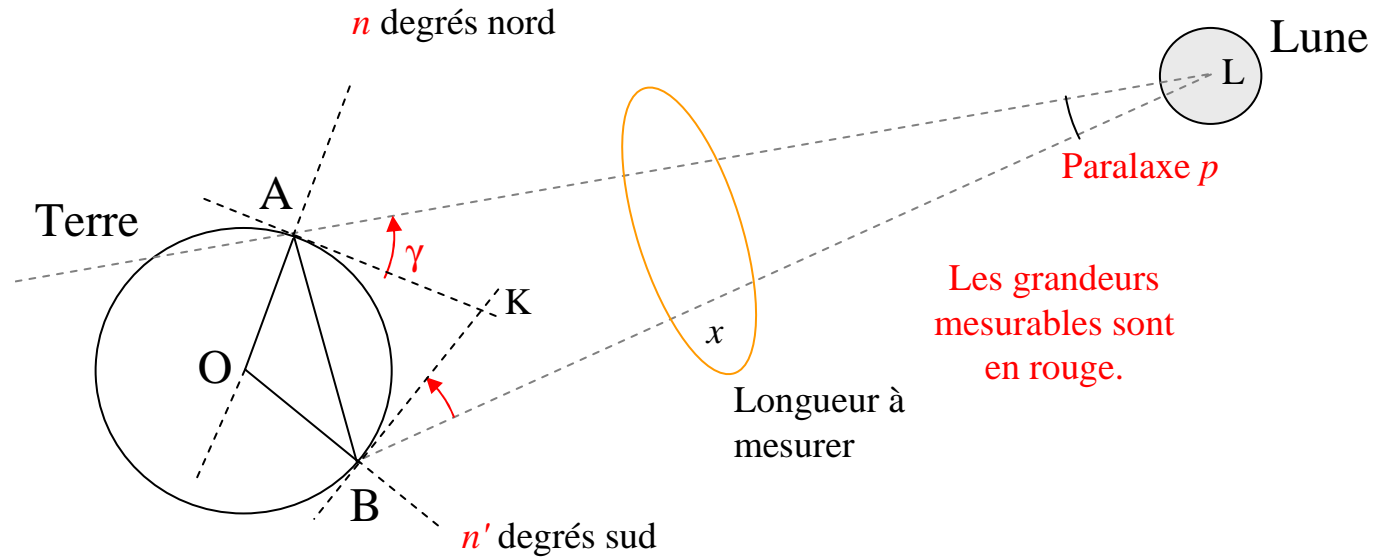
Calcul de *AB*

$$\frac{AB}{\sin \text{AOB}} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

Théorème du sinus

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin BAL}{\sin p}$$

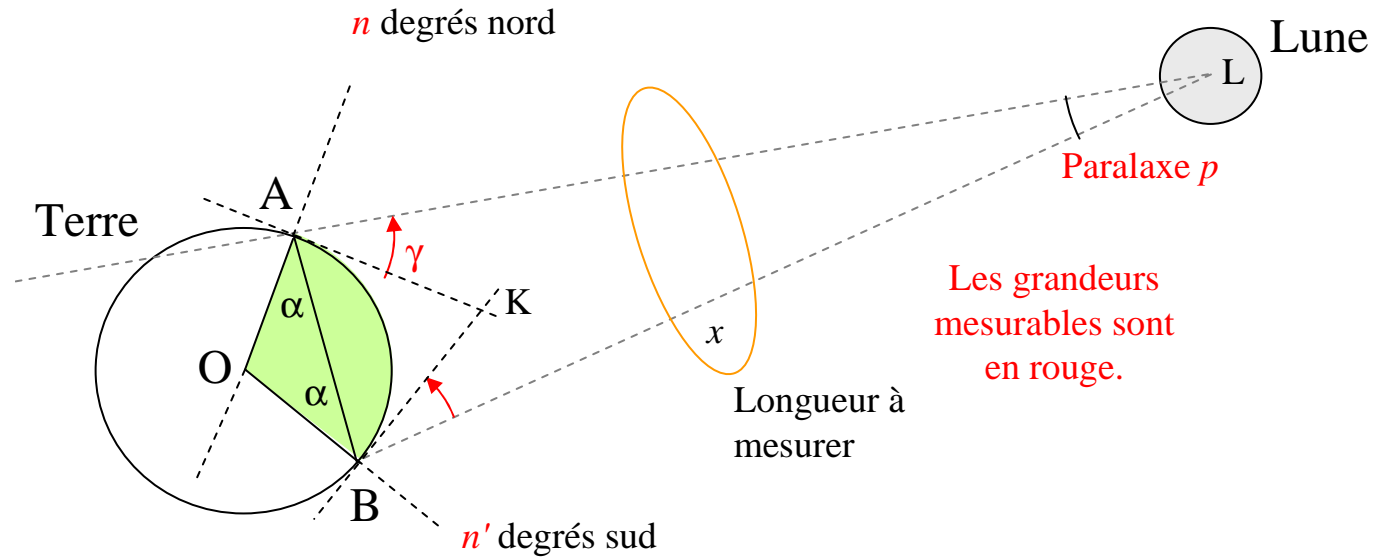
Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin AOB}{\sin \alpha}$$

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



Les grandeurs mesurables sont en rouge.

$$x = \frac{AB \sin BAL}{\sin p}$$

Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin AOB}{\sin \alpha}$$

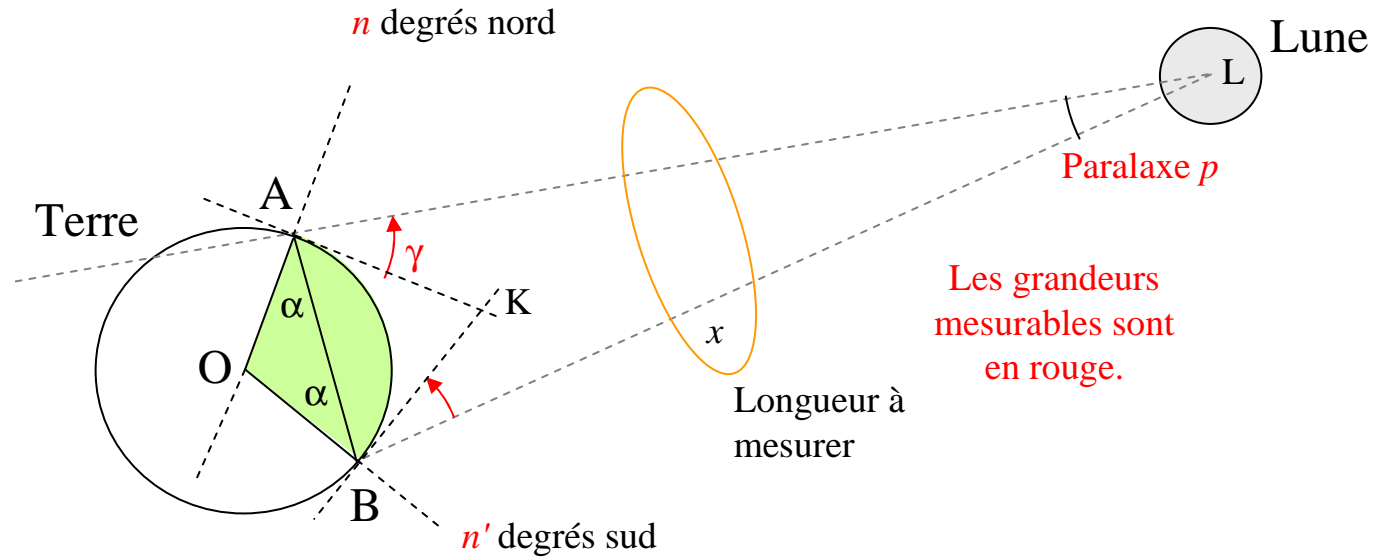
$$AOB + 2 \alpha = \pi$$

Angle du secteur vert

Théorème des angles internes d'un triangle

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin BAL}{\sin p}$$

Calcul de *AB*

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

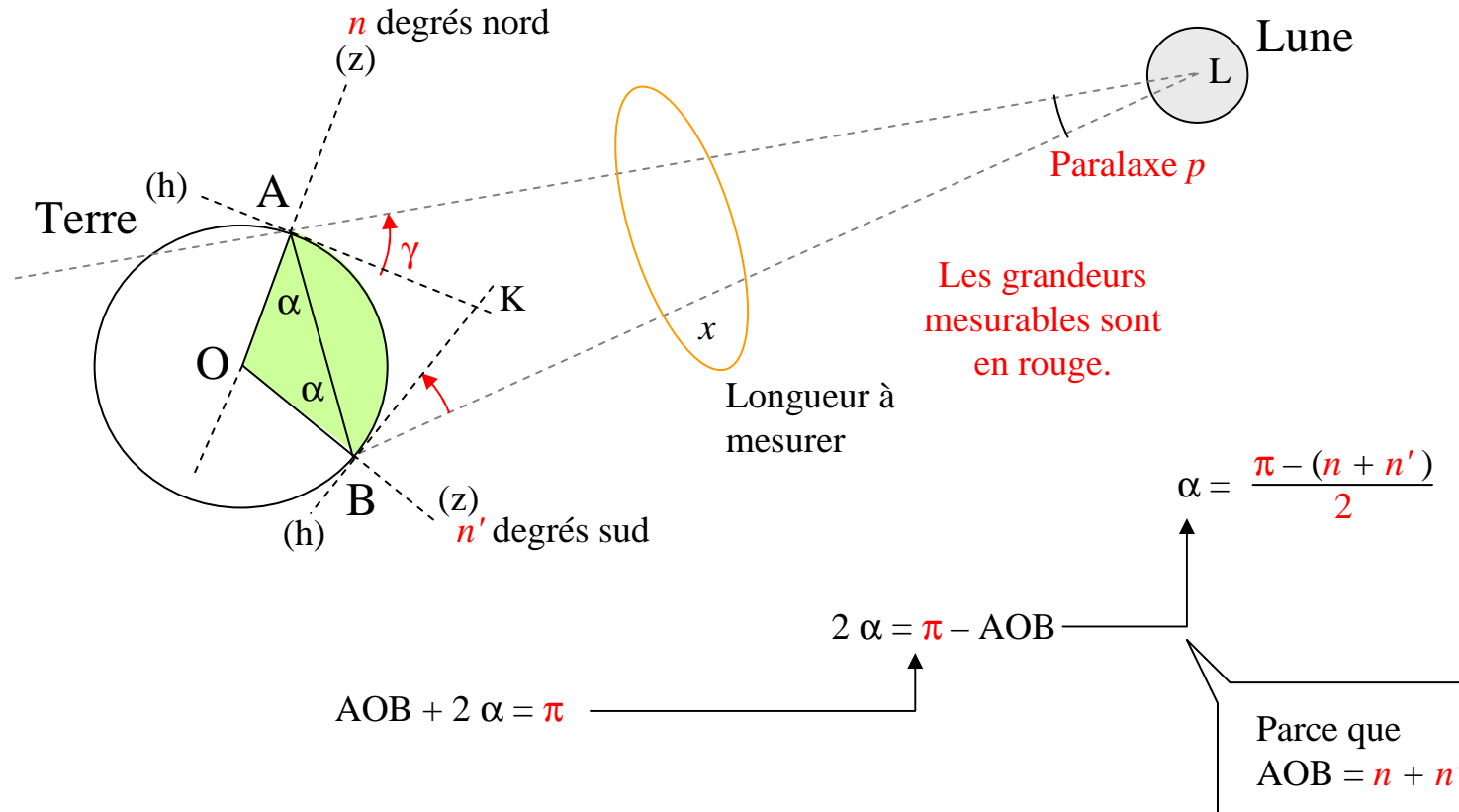
$$AB = \frac{R \sin AOB}{\sin \alpha}$$

$$AOB + 2\alpha = \pi$$

$$2\alpha = \pi - AOB$$

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin BAL}{\sin p}$$

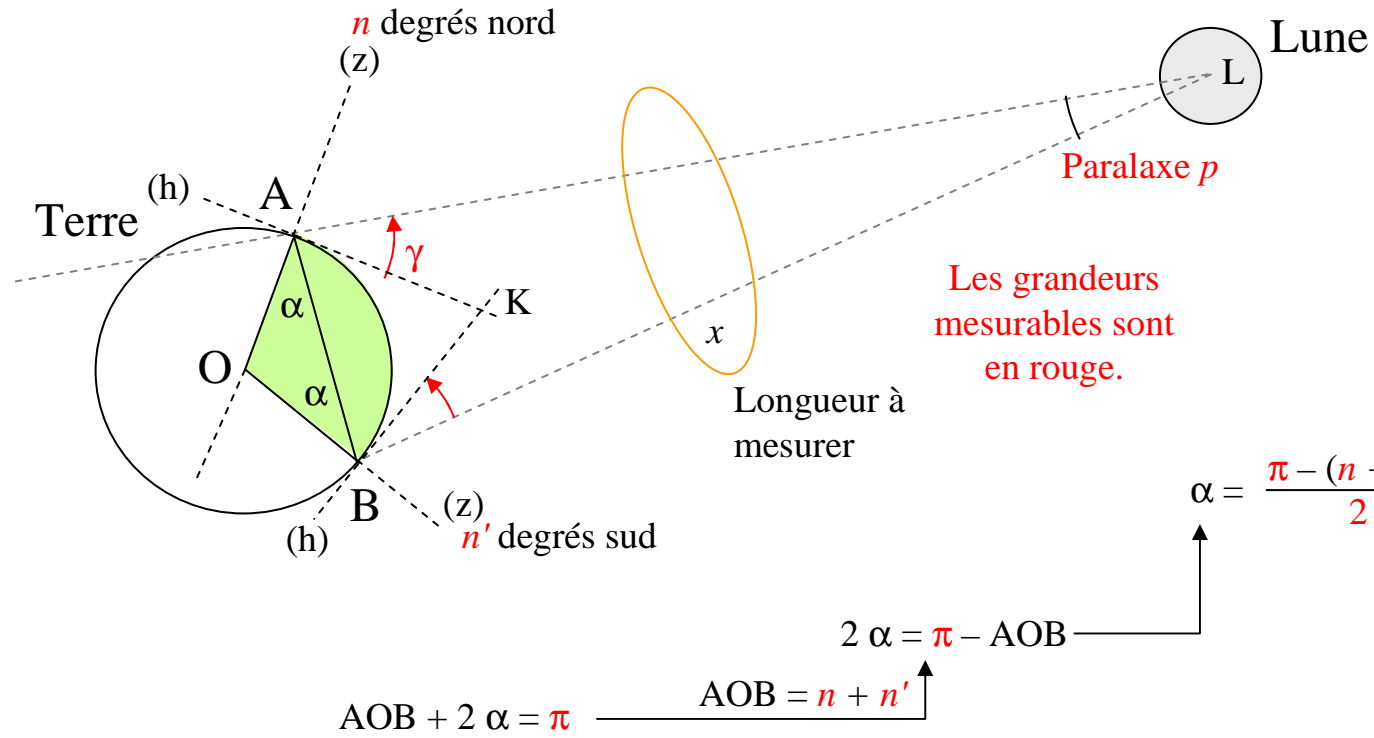
Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin AOB}{\sin \alpha}$$

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin \text{BAL}}{\sin p}$$

Calcul de AB

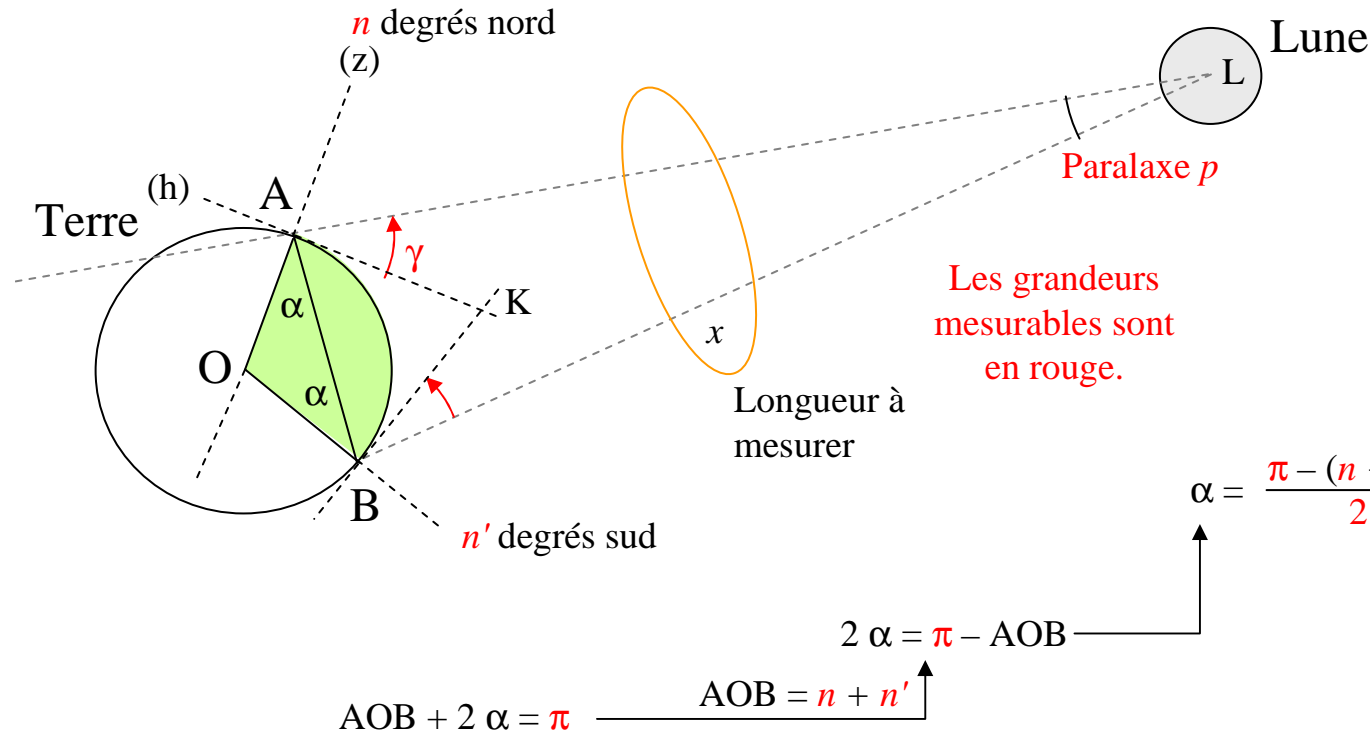
$$\frac{AB}{\sin \text{AOB}} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin \text{AOB}}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin (n + n')}{\sin \frac{\pi - (n + n')}{2}}$$

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



Parce que OA est l'azimuth local et AK l'horizontale locale

$\text{OAK} = \pi/2$

$$x = \frac{AB \sin \text{BAL}}{\sin p}$$

Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin \text{AOB}} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

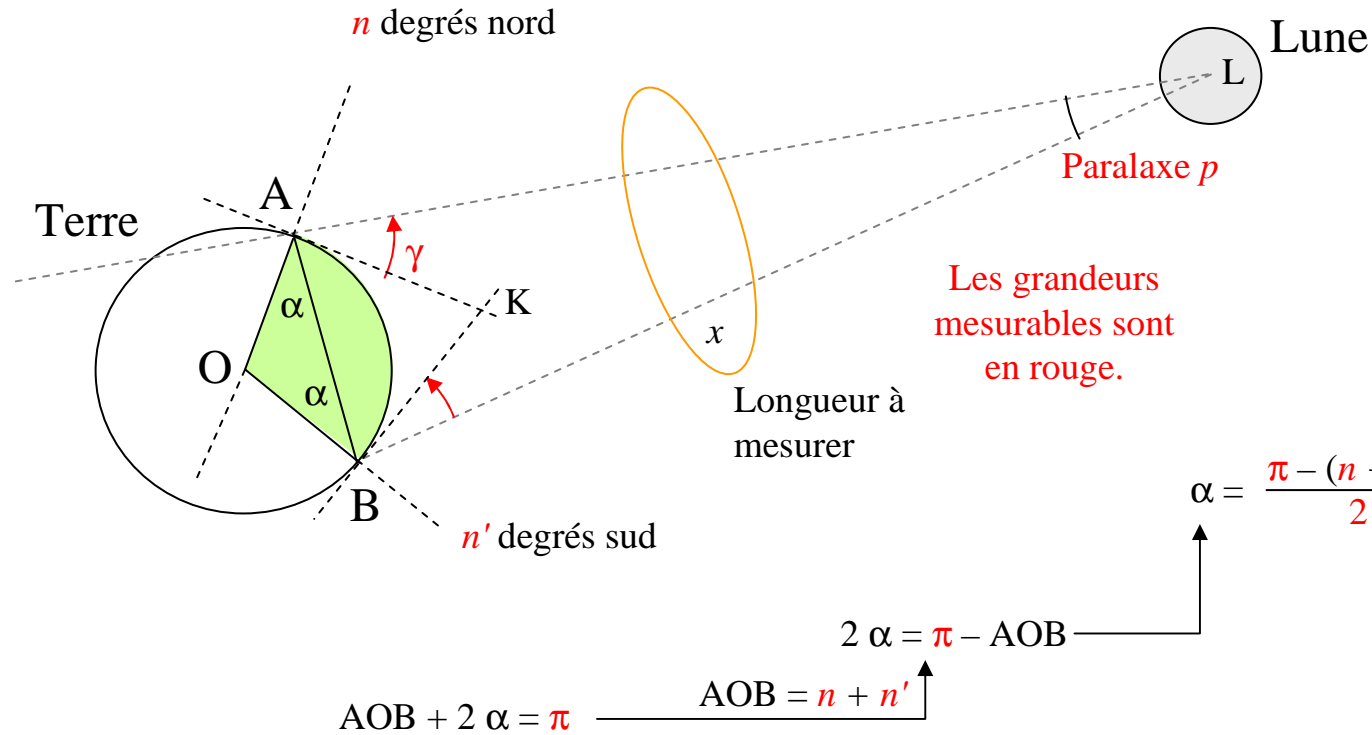
$$AB = \frac{R \sin \text{AOB}}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin (n + n')}{\sin \frac{\pi - (n + n')}{2}}$$

Calcul de BAL

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin \text{BAL}}{\sin p}$$

Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin \text{AOB}} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin \text{AOB}}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin (n + n')}{\sin \frac{\pi - (n + n')}{2}}$$

Calcul de BAL

$$\text{OAK} = \pi/2 \longrightarrow \text{BAL} = \gamma + \frac{\pi}{2} - \alpha$$

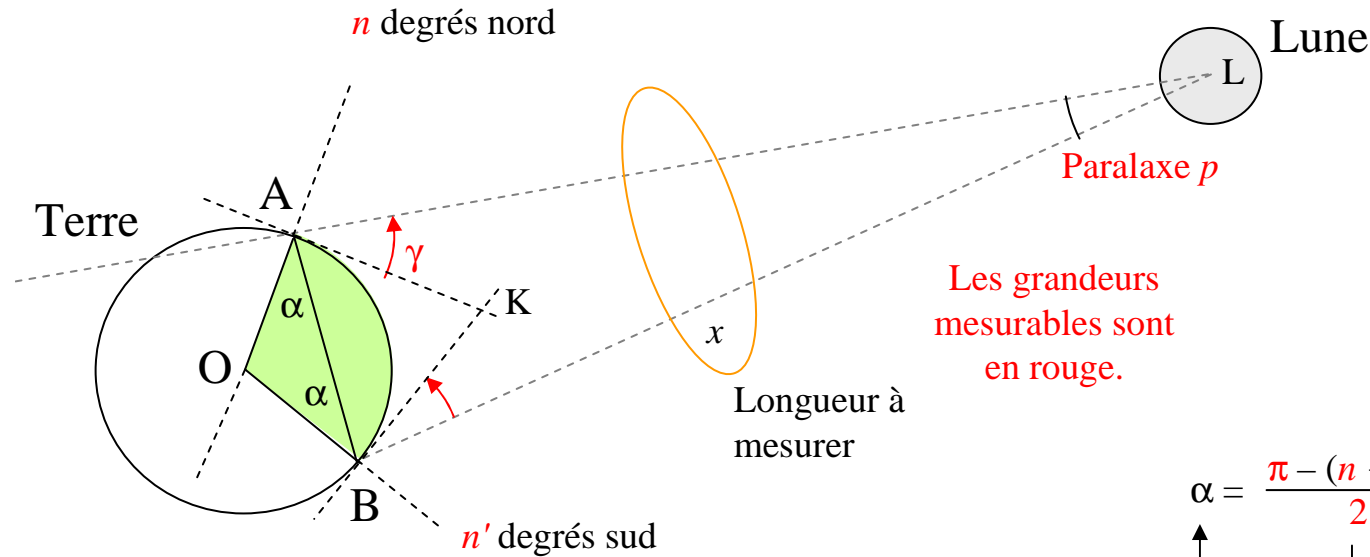
De AL à AK

De AO à AB

De AK à AO

Le parallaxe

De la Terre à la Lune



$$x = \frac{AB \sin BAL}{\sin p}$$

Calcul de AB

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin AOB}{\sin \alpha}$$

$$AB = \frac{R \sin (n + n')}{\sin \frac{\pi - (n + n')}{2}}$$

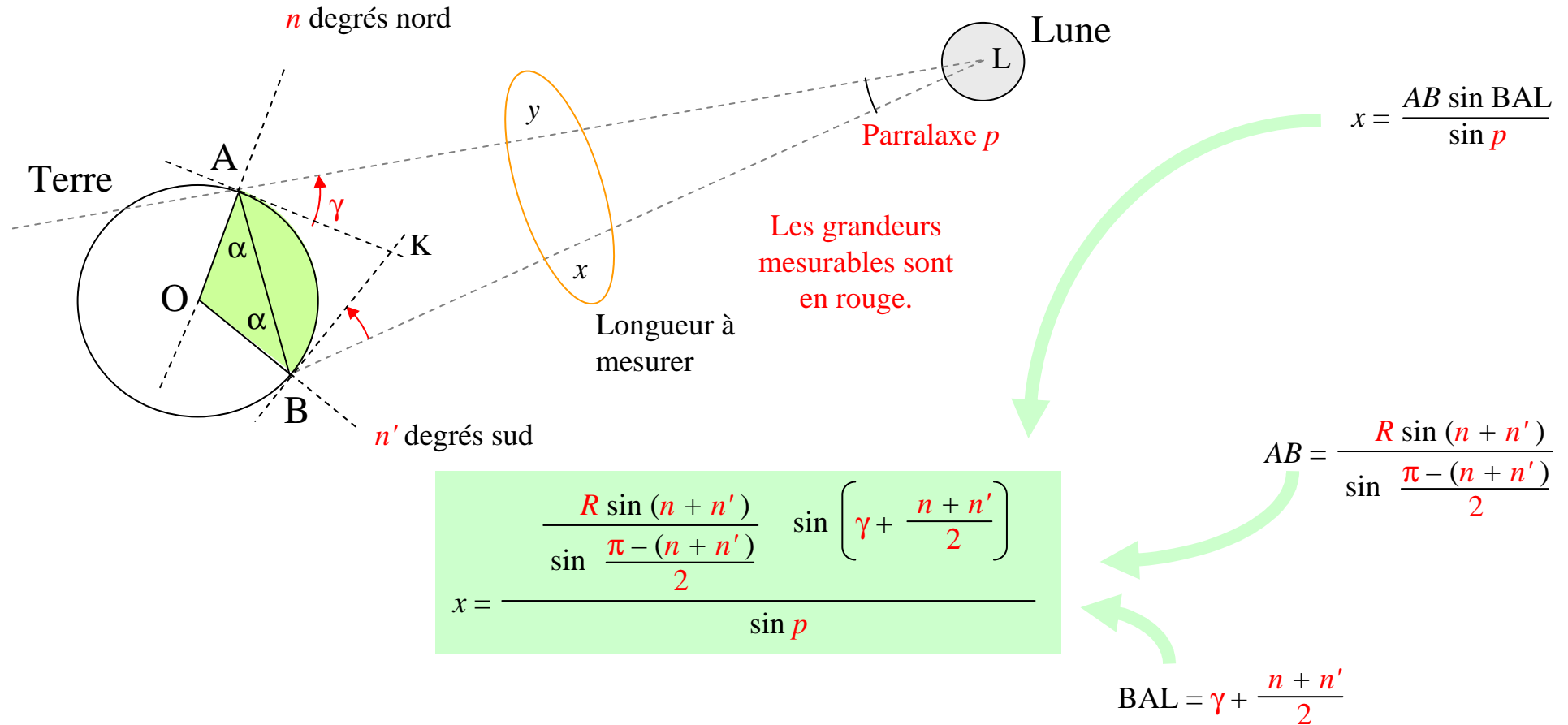
$$AOB + 2\alpha = \pi \quad \rightarrow \quad AOB = n + n' \quad \rightarrow \quad 2\alpha = \pi - AOB \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{\pi - (n + n')}{2}$$

$$OAK = \pi/2 \quad \rightarrow \quad BAL = \gamma + \frac{\pi}{2} - \alpha \quad \rightarrow \quad BAL = \gamma + \frac{n + n'}{2}$$

Calcul de BAL

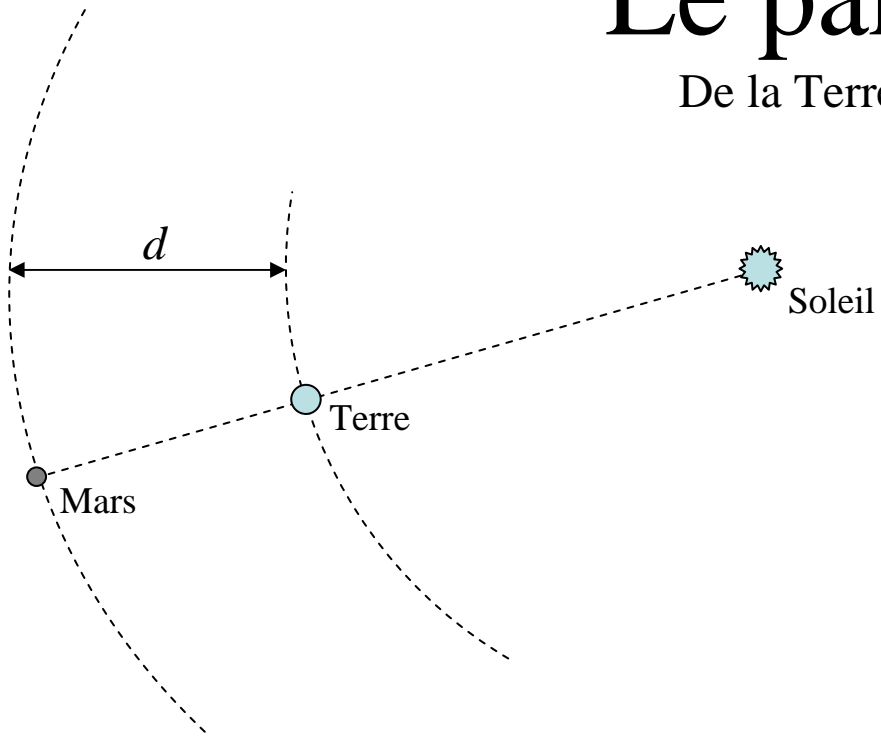
Le parallaxe

De la Terre à la Lune



Le parallaxe

De la Terre au Soleil



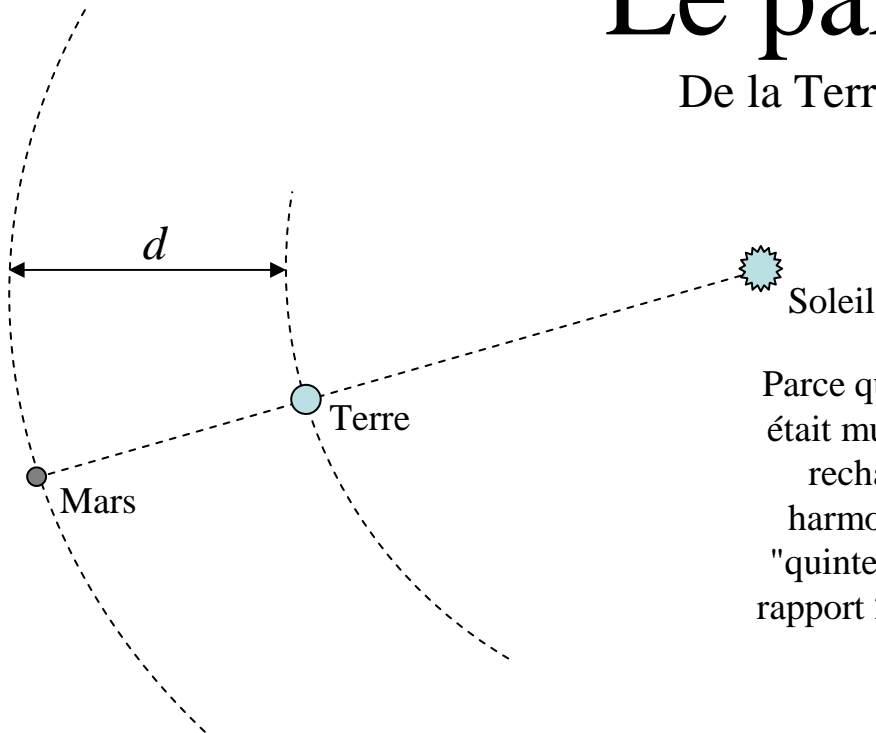
d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil

d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil

d = leur différence

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



Parce que Kepler
était musicien, il
retrait une
harmonie dite
"quinte", soit un
rapport 2/3 ou 3/2

Scénario
postulé

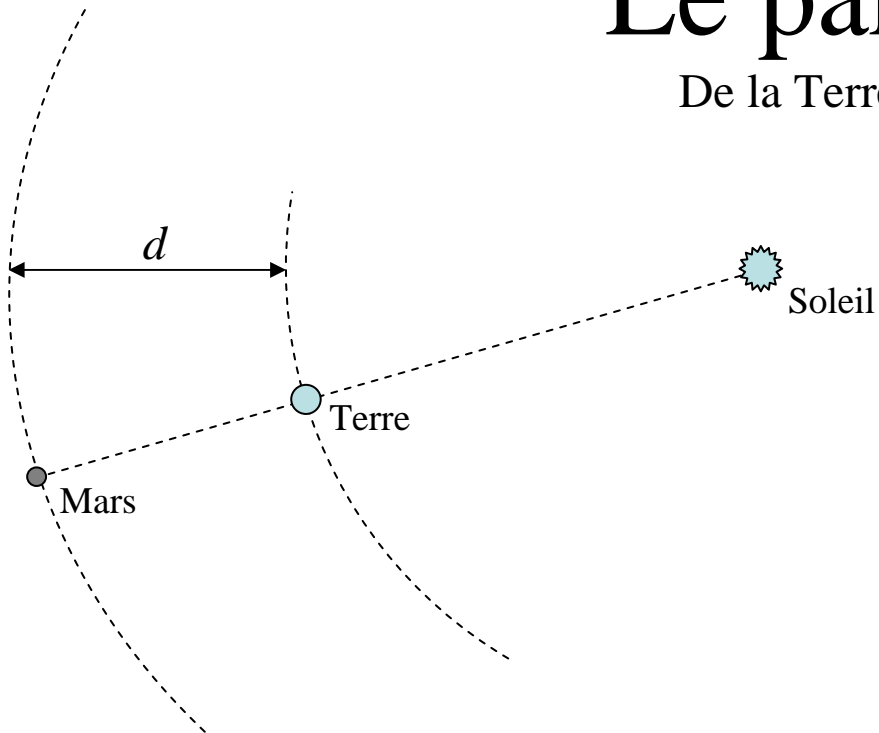
d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des
orbites des satellites de Jupiter ...
a été postulé la troisième loi de Kepler
reliant leurs distances et leurs périodes.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

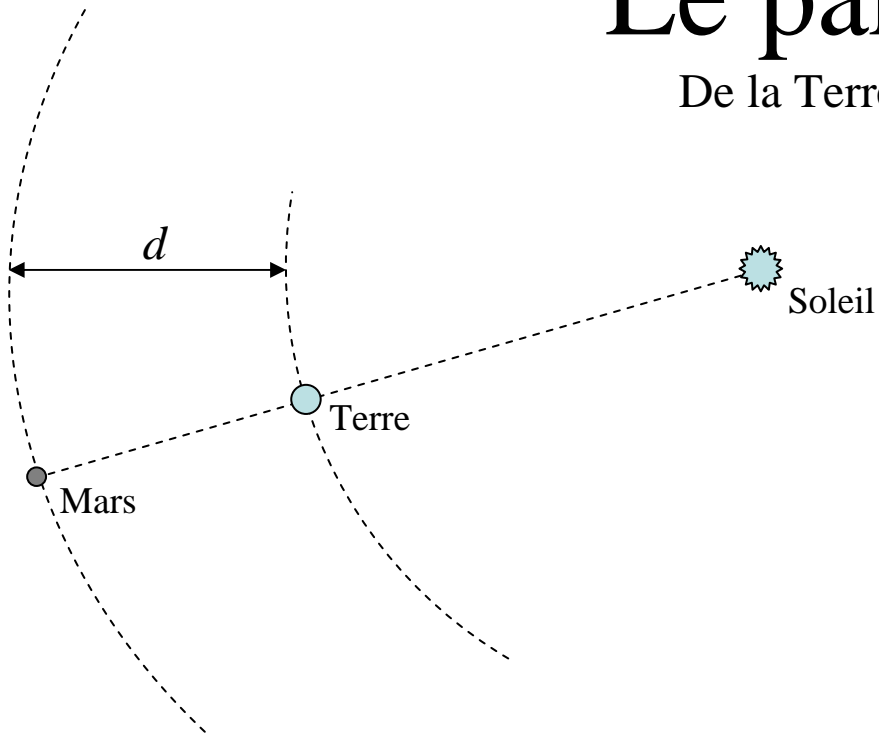
... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}} \right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}} \right)^3$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

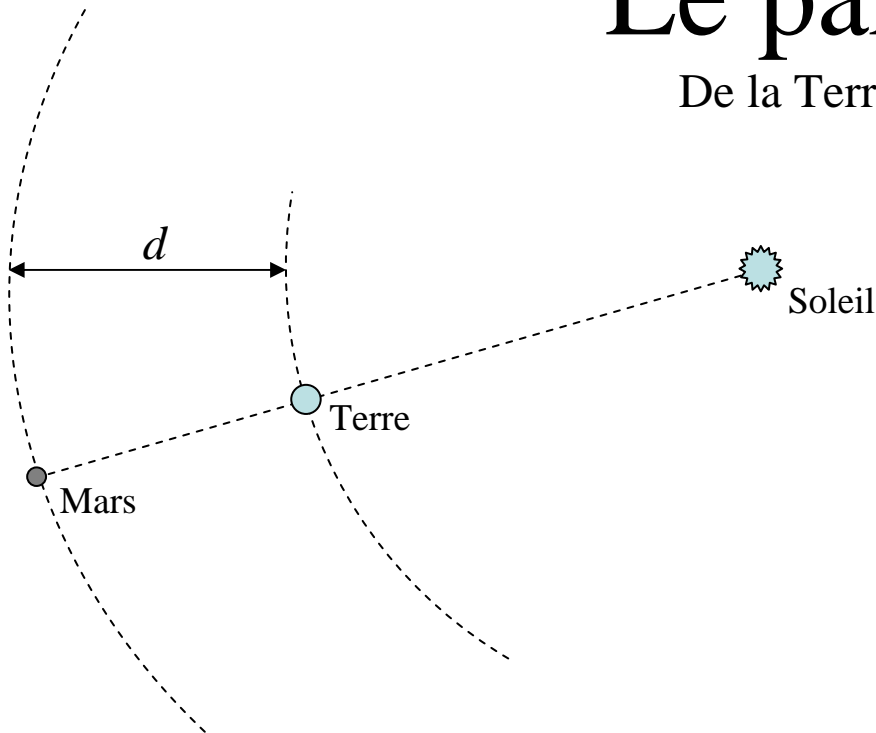
Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}} \right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}} \right)^3$$

Définissons : $d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

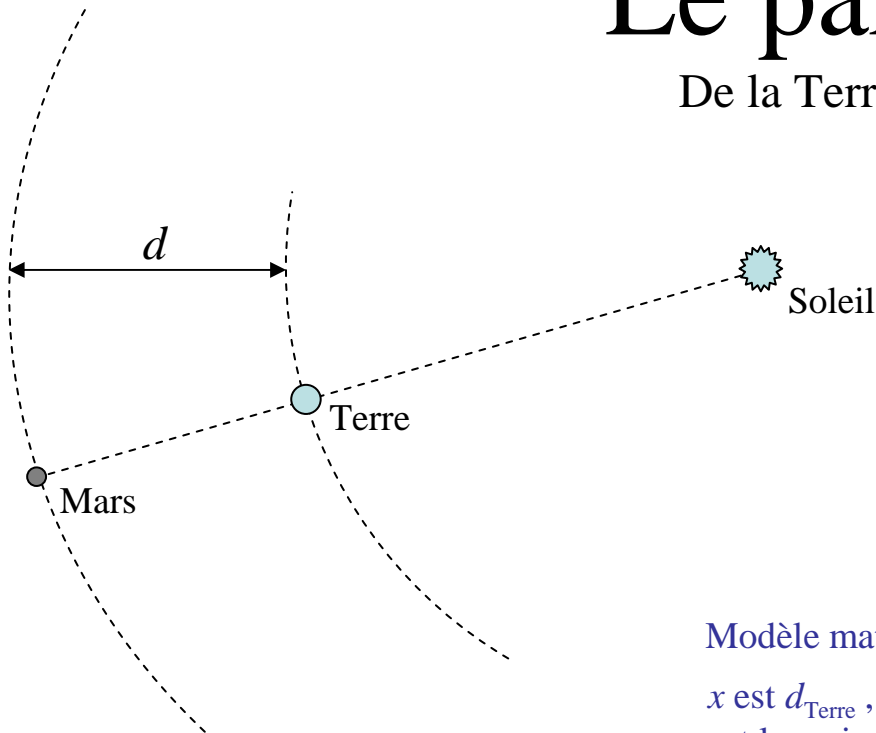
Par définition de la racine cubique

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

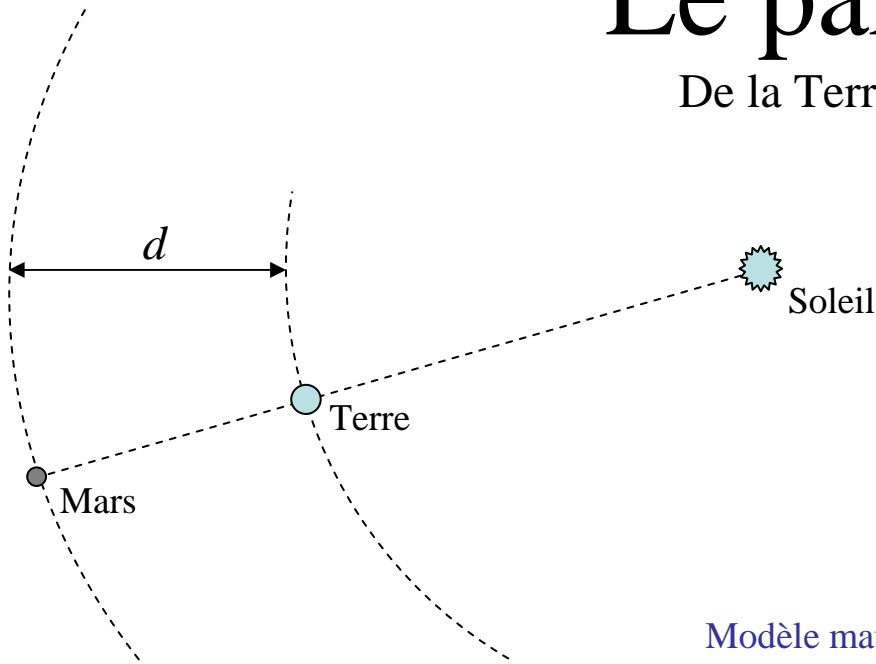
$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$x / y = q$ et $y - x = d$ sont donnés

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

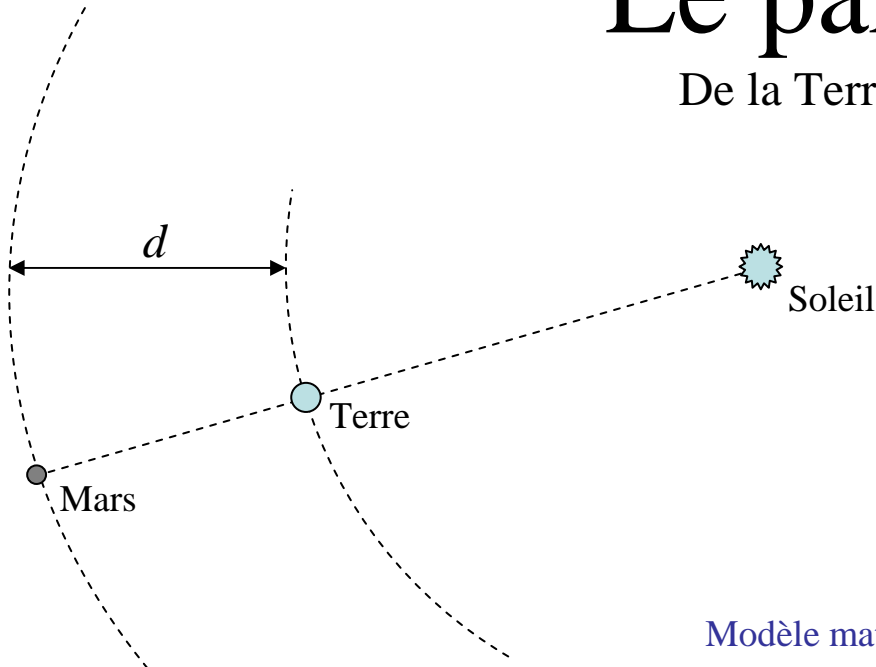
$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



$x / y = q$ et $y - x = d$ sont donnés

$x = q y$ et $y - q y = d$

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

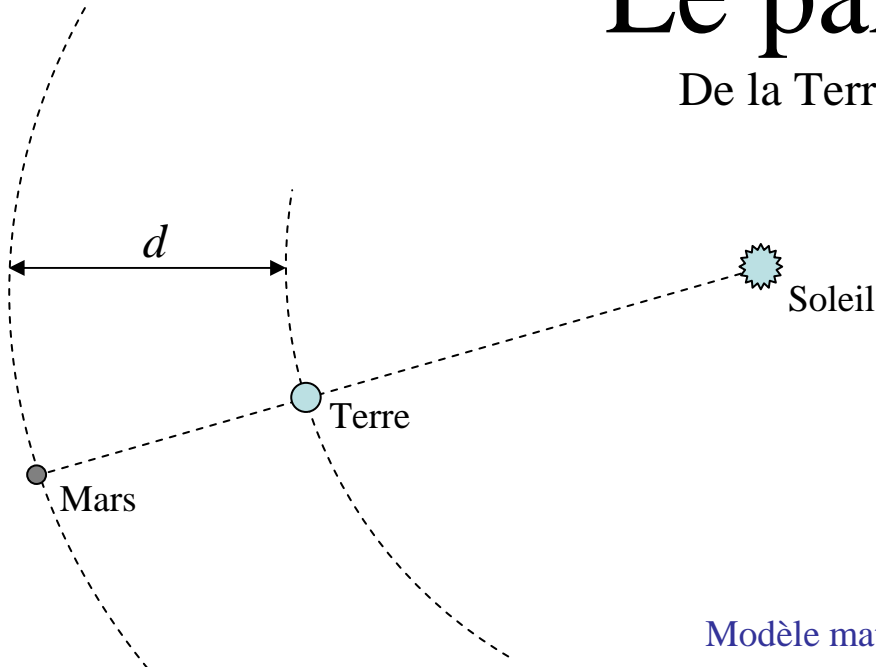
Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$x / y = q$ et $y - x = d$ sont donnés

$$x = q y \text{ et } y - q y = d \longrightarrow y(1 - q) = d$$

$$y = \frac{d}{1 - q}$$

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

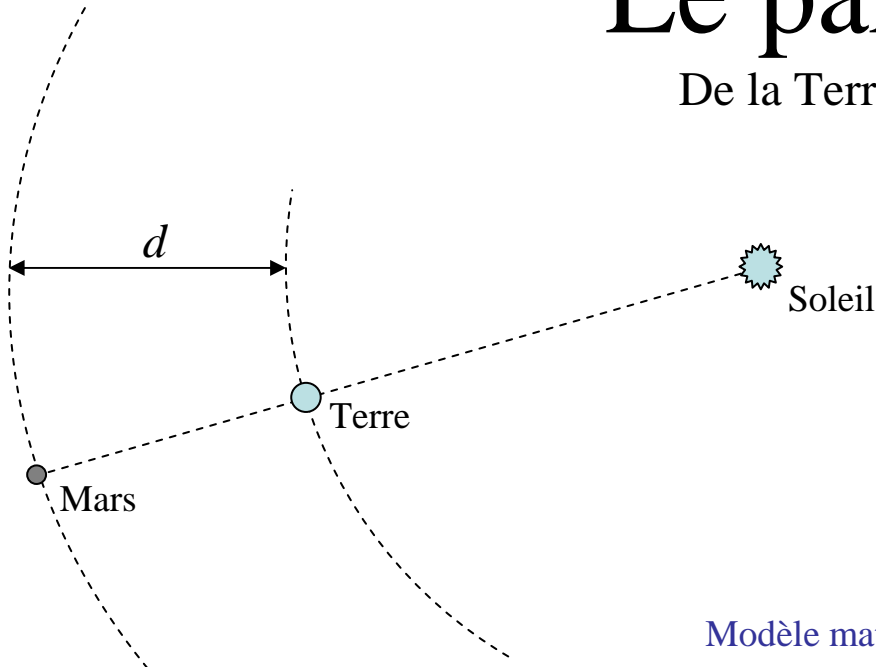
$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

$x / y = q$ et $y - x = d$ sont donnés

$$x = q y \text{ et } y - q y = d \longrightarrow y(1 - q) = d$$

$$x = q \frac{d}{1 - q} \quad y = \frac{d}{1 - q}$$

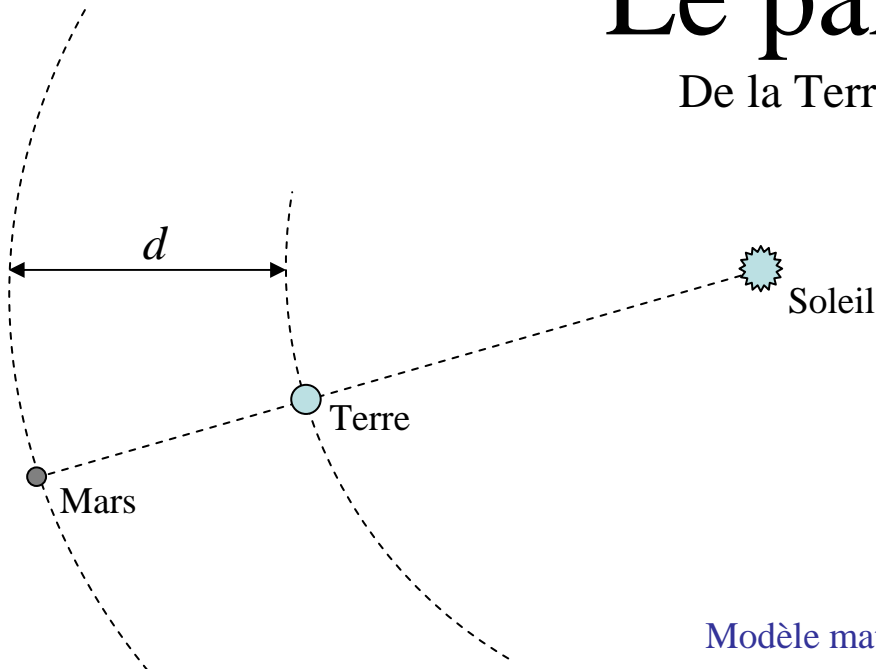
$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

De la Terre au Soleil



d_{Terre} = distance entre Terre et Soleil
 d_{Mars} = distance entre Mars et Soleil
 d = leur différence

Par comparaison des périodes et des orbites des satellites de Jupiter ...

... Kepler postula sa troisième loi reliant la distance et la période des planètes autour du Soleil.

Modèle mathématique :

x est d_{Terre} , $y = d_{\text{Mars}}$ et q est la racine cubique

$x / y = q$ et $y - x = d$ sont donnés

$$x = q y \text{ et } y - q y = d \longrightarrow y(1 - q) = d$$

$$x = q \frac{d}{1 - q} \quad y = \frac{d}{1 - q}$$

Application numérique :

$$d = d_{\text{terre}} = 149\,597\,870,7 \text{ km.}$$

$$\sqrt[3]{\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2} = \frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}$$

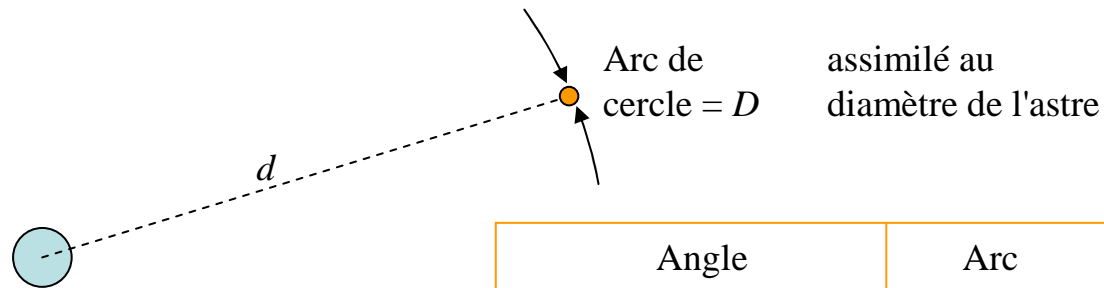
Période	Distance du Soleil
T_{Terre}^2	d_{Terre}^3
T_{Mars}^2	d_{Mars}^3
Proportion	

$$\left(\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Mars}}}\right)^2 = \left(\frac{d_{\text{Terre}}}{d_{\text{Mars}}}\right)^3$$

$$d_{\text{Terre-Mars}} = d_{\text{Mars}} - d_{\text{Terre}}$$

Le parallaxe

La taille d'un astre

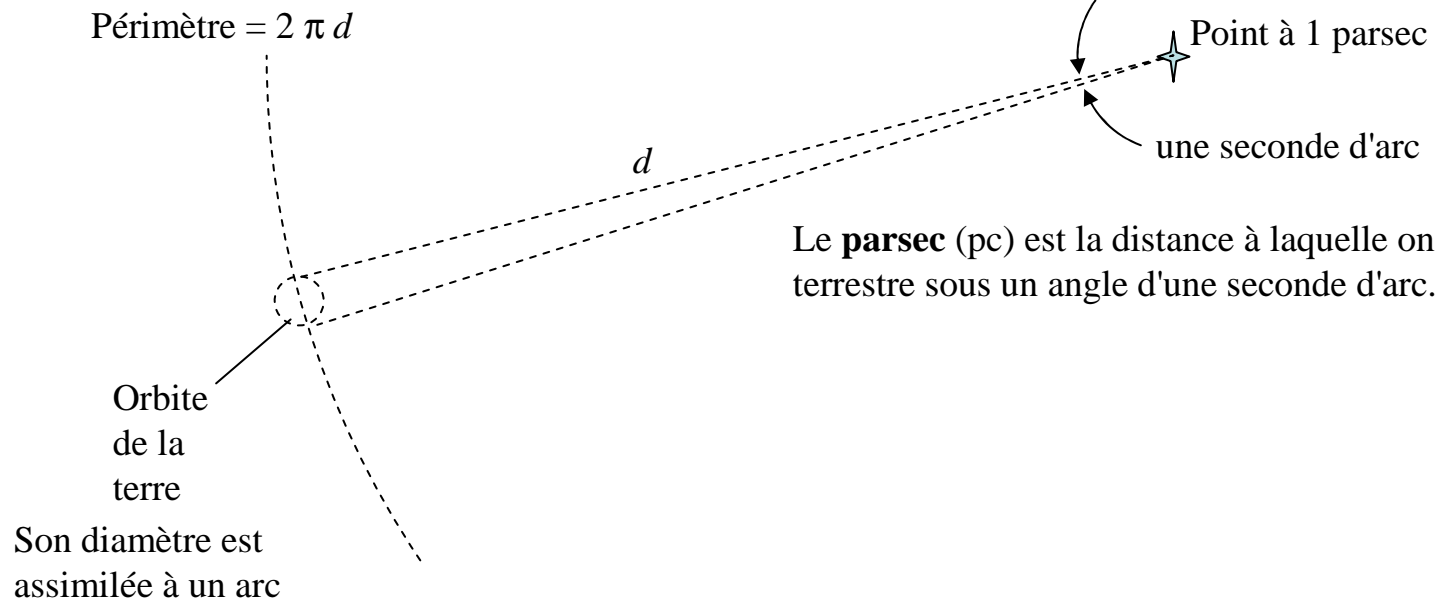


Angle	Arc	Note
θ	D	= Arc de cercle
$360 \times 60 \times 60 \times 1000$	$2 \pi d$	= Ce cercle entier
Proportion		$2 \pi d \theta = 360 \times 60 \times 60 \times 1000 D$

Les angles sont en millièmes de seconde d'arc
 D et d sont dans la même unité de longueur.

Le parallaxe

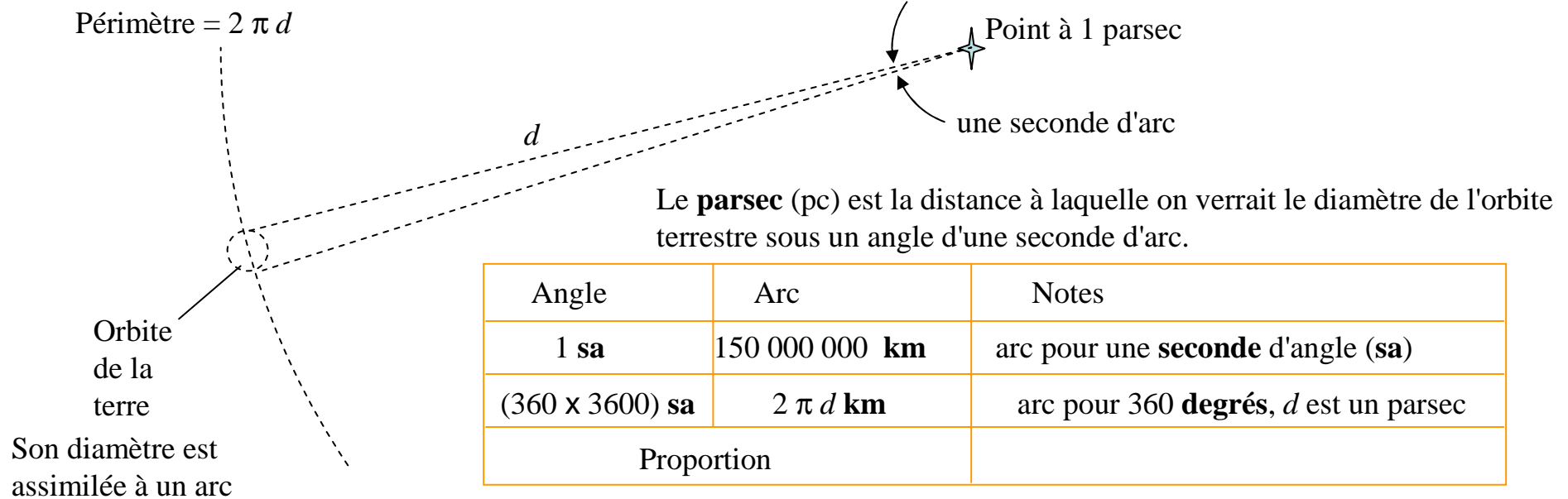
Le parsec



Le **parsec** (pc) est la distance à laquelle on verrait le diamètre de l'orbite terrestre sous un angle d'une seconde d'arc.

Le parallaxe

Le parsec



$$2 \pi d \text{ km} = 360^\circ \times 3600 \text{ (sa / }^\circ) \times 150\,000\,000 \text{ (km / sa)}$$

$$d \text{ km} = \frac{360^\circ \times 3600 \text{ (sa / }^\circ) \times 150\,000\,000 \text{ (km / sa)}}{2 \pi}$$

Résultat numérique : 1 **pc** = $3,1 \times 10^{13}$ **km**

$$\text{Note : } d \text{ ua} = \frac{360^\circ \times 3600 \text{ (sa / }^\circ) \times 1 \text{ ua / sa}}{2 \pi} = \frac{180 \times 3600 \text{ ua}}{\pi} = \frac{64800 \text{ ua}}{\pi}$$

=

Le parallaxe

L'année lumière

Le **parsec** (pc) est la distance à laquelle on verrait le diamètre de l'orbite terrestre sous un angle d'une seconde d'arc.

$$1 \text{ pc} = 61\,713\,551\,629\,823,3 \text{ km}$$

L'**unité astronomique** (ua) est la distance entre la terre et le Soleil.

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870,7 \text{ km}$$

L'**année lumière** (al) est la distance parcourue par la lumière dans l'espace vide de matière durant une année.

$$1 \text{ al} = 299\,792\,458 \text{ km/s} \times 60 \text{ s/mn} \times 60 \text{ mn/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,2422 \text{ j} = 9,460528 \times 10^{15} \text{ km}$$

Le parallaxe

L'unité astronomique

C'est le demi grand axe de l'orbite de la terre autour du Soleil

Lettres grecques

α alpha

β bêta

χ khi

δ delta

ε epsilon

ϕ phi majuscule

φ phi

γ gamma

η êta

κ kappa

μ mu

ξ zeta

Le **parsec** (pc) est la distance à laquelle on verrait le diamètre de l'orbite terrestre sous un angle d'une seconde d'arc.

L'**unité astronomique** (ua) est la distance entre la terre et le Soleil.

L'**année lumière** (al) est la distance parcourue par la lumière dans l'espace vide de matière durant une année.

$$1 \text{ al} = 299\,792\,458 \text{ km/s} \times 60 \text{ s/mn} \times 60 \text{ mn/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,2422 \text{ j} = 9,460528 \times 10^{15} \text{ km}$$

km	ua	pc	al	Notes
L	x	y	z	
1	α	β	γ	Pour 1 kilomètre
δ	1	ε	ϕ	Pour 1 unité astronomique
φ	Φ	1	η	Pour 1 parsec
κ	μ	ξ	1	Pour 1 année lumière
Proportion				

$$\alpha = 1/\delta, \beta = 1/\varphi, \gamma = 1/\kappa$$

$$\delta = 149\,597\,870,7 \text{ km/ua}$$

$$\varphi = 3,086 \times 10^{13} \text{ km/pc}$$

$$\kappa = 9,460528 \times 10^{15} \text{ km/al}$$

Le parallaxe

Unités astronomiques

L z *Proxima centauri* se situe à $z = 4,244$ années-lumière du Soleil dans la constellation du Centaure.

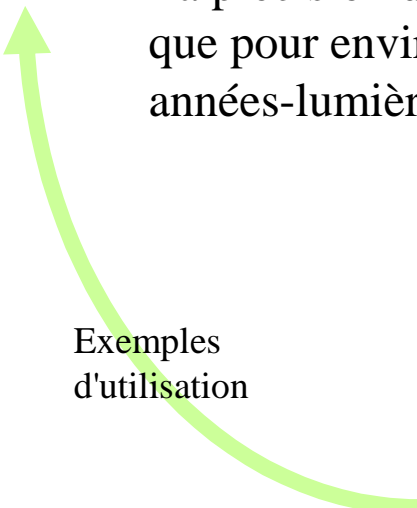
κ 1 $L = z \kappa = 4,244 \text{ al} \times 9,460528 \times 10^{15} \text{ km/al} = 4,0150 \times 10^{16} \text{ km}$.

L x $x = L/\delta = 4,0150 \text{ km} \times 10^{16} \text{ km} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0150 \times 10^{16} \text{ km} / 1,49\,597\,870\,7 \times 10^8 \text{ km/ua}$
 δ 1 $= 2,6840 \times 10^8 \text{ ua}$

L y $y = L/\varphi = 4,0150 \times 10^{16} \text{ km} / 3,086 \times 10^{13} \text{ km/pc} = 1,301 \text{ pc}$.
 φ 1

La précision de la méthode du parallaxe n'atteint 10 % que pour environ 700 étoiles, jusqu'à soixante-cinq années-lumière.

Exemples
d'utilisation



km	ua	pc	al	Notes
L	x	y	z	
1	α	β	γ	1 kilomètre
δ	1	ϵ	ϕ	1 unité astronomique
φ	Φ	1	η	1 parsec
κ	μ	ξ	1	1 année lumière
Proportion				

$\alpha = 1/\delta$, $\beta = 1/\varphi$, $\gamma = 1/\kappa$

$\delta = 149\,597\,870,7 \text{ km/ua}$

$\varphi = 3,086 \times 10^{13} \text{ km/pc}$

$\kappa = 9,460528 \times 10^{15} \text{ km/al}$

Le parallaxe

Ses limites

La précision de la méthode du parallaxe n'atteint 10 % que pour environ 700 étoiles, jusqu'à soixante-cinq années-lumière.

Le parallaxe

Ses limites

La précision de la méthode du parallaxe n'atteint 10 % que pour environ 700 étoiles, jusqu'à soixante-cinq années-lumière.

le pouvoir séparateur des grands télescopes est meilleur que pour les petits mais il est limité par la turbulence atmosphérique qui produit des variations aléatoires de direction de l'ordre de la seconde (au mieux 0,25", correspondant au pouvoir séparateur d'un instrument de 60 cm de diamètre).

Le parallaxe

Ses limites

La précision de la méthode du parallaxe n'atteint 10 % que pour environ 700 étoiles, jusqu'à soixante-cinq années-lumière.

le pouvoir séparateur des grands télescopes est meilleur que pour les petits mais il est limité par la turbulence atmosphérique qui produit des variations aléatoires de direction de l'ordre de la seconde (au mieux 0,25", correspondant au pouvoir séparateur d'un instrument de 60 cm de diamètre).

Le traitement statistique d'un grand nombre de mesures permet d'atteindre des parallaxes très inférieures à ces valeurs.

Le parallaxe

Ses limites

La précision de la méthode du parallaxe n'atteint 10 % que pour environ 700 étoiles, jusqu'à soixante-cinq années-lumière.

le pouvoir séparateur des grands télescopes est meilleur que pour les petits mais il est limité par la turbulence atmosphérique qui produit des variations aléatoires de direction de l'ordre de la seconde (au mieux 0,25", correspondant au pouvoir séparateur d'un instrument de 60 cm de diamètre).

Le traitement statistique d'un grand nombre de mesures permet d'atteindre des parallaxes très inférieures à ces valeurs.

Pour les étoiles nous entourant dans un rayon d'environ 650 années-lumière, la méthode est efficace avec une précision décroissante avec la distance (environ 10 000 étoiles).

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est **le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.**

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ **19,4 km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ 19,4 **km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Cela donne $y = L / \delta = 612\,217\,440 \text{ km/an} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0924208 \text{ ua/an}$.

km	ua
<i>L</i>	<i>y</i>
φ	1

Proportion

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est **le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.**

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ **19,4 km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Cela donne $y = L / \delta = 612\,217\,440 \text{ km/an} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0924208 \text{ ua/an}$.

En répétant les mêmes mesures à dix ans d'intervalle on peut atteindre une base de 40 ua.

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ 19,4 **km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Cela donne $y = L / \delta = 612\,217\,440 \text{ km/an} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0924208 \text{ ua/an}$.

En répétant les mêmes mesures à dix ans d'intervalle on peut atteindre une base de 40 ua.

Cette vitesse ne doit pas être confondue avec la vitesse orbitale du Soleil autour du centre galactique, qui s'élève à 220 km/s et qui est celle de tout l'ensemble du référentiel au repos local.

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est **le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.**

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ **19,4 km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Cela donne $y = L / \delta = 612\,217\,440 \text{ km/an} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0924208 \text{ ua/an}$.

En répétant les mêmes mesures à dix ans d'intervalle on peut atteindre une base de 40 ua.

Cette vitesse ne doit pas être confondue avec la vitesse orbitale du Soleil autour du centre galactique, qui s'élève à 220 km/s et qui est celle de tout l'ensemble du référentiel au repos local.

Les astronomes modernes s'accordent à localiser l'apex à proximité des étoiles Nu et Ksi de la constellation d'Hercule.

Le parallaxe

La course vers l'apex

En astronomie, **l'apex** est **le nom donné à un point de la sphère céleste proche vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre galaxie.**

Ce déplacement fut mis en évidence par application de l'effet dit Doppler-Fizeau, et se ferait à une vitesse apparente d'environ **19,4 km/s**

En un an, cette course parcourt $19,4 \text{ km/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ h/j} \times 365,25 \text{ j/an} = 612\,217\,440 \text{ km/an}$.

Cela donne $y = L / \delta = 612\,217\,440 \text{ km/an} / 149\,597\,870,7 \text{ km/ua} = 4,0924208 \text{ ua/an}$.

En répétant les mêmes mesures à dix ans d'intervalle on peut atteindre une base de 40 ua.

Cette vitesse ne doit pas être confondue avec la vitesse orbitale du Soleil autour du centre galactique, qui s'élève à 220 km/s et qui est celle de tout l'ensemble du référentiel au repos local.

Les astronomes modernes s'accordent à localiser l'apex à proximité des étoiles Nu et Ksi de la constellation d'Hercule.

Le **référentiel au repos local** (en anglais *local standard of rest* ou *LSR*) suit le mouvement moyen des étoiles de la Voie lactée au voisinage du Soleil.

Mesures par la photographie

La lumière

Grandeurs et unités

Le **flux lumineux** est la puissance totale émise par une source.

Unité : le **watt W**.



La lumière

Grandeurs et unités

Le **flux lumineux** est la puissance totale émise par une source.

Unité : le **watt W**.

Φ


$$\frac{d\Phi}{d\Omega}$$

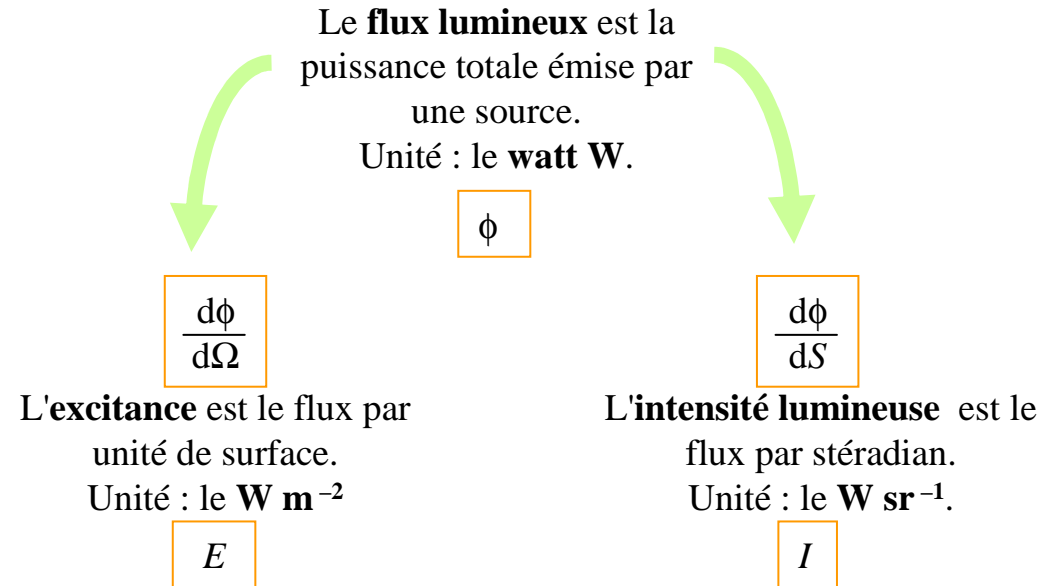
L'**excitance** est le flux par unité de surface.

Unité : le **W m⁻²**

E

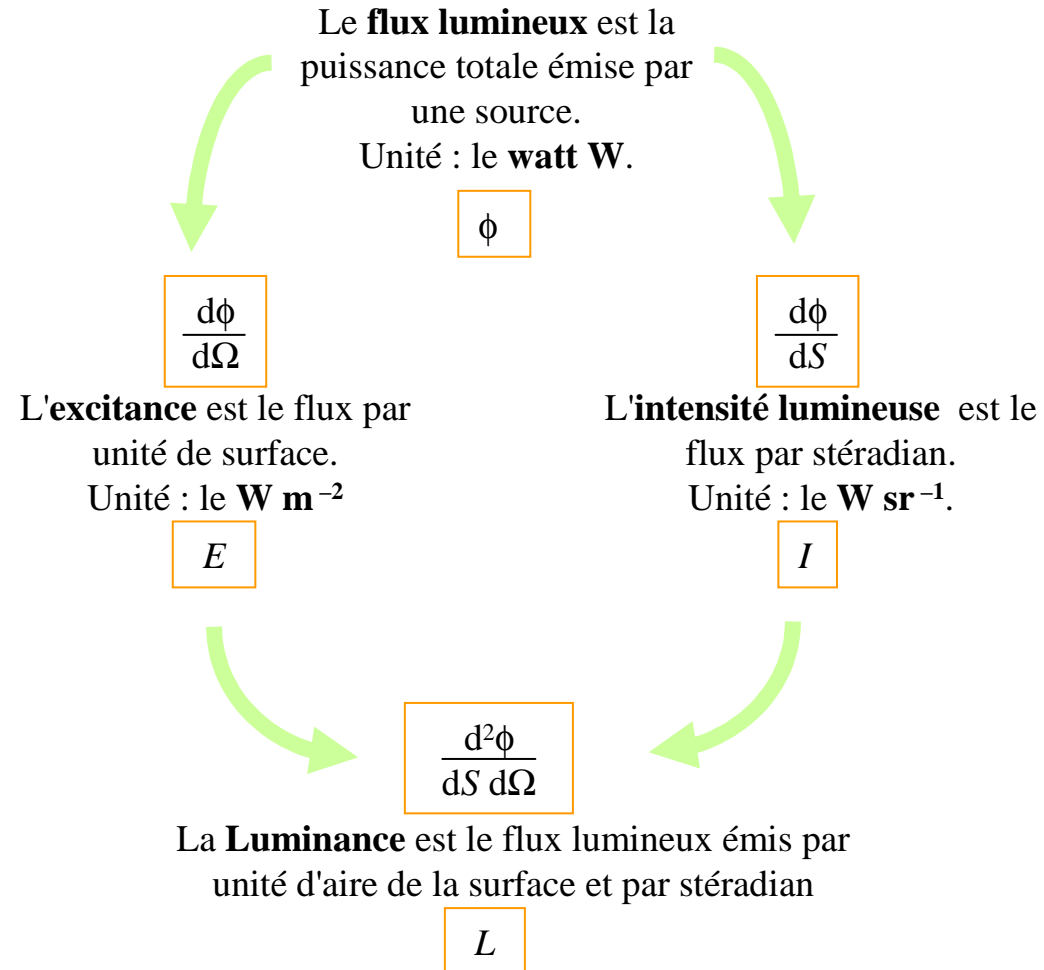
La lumière

Grandeurs et unités



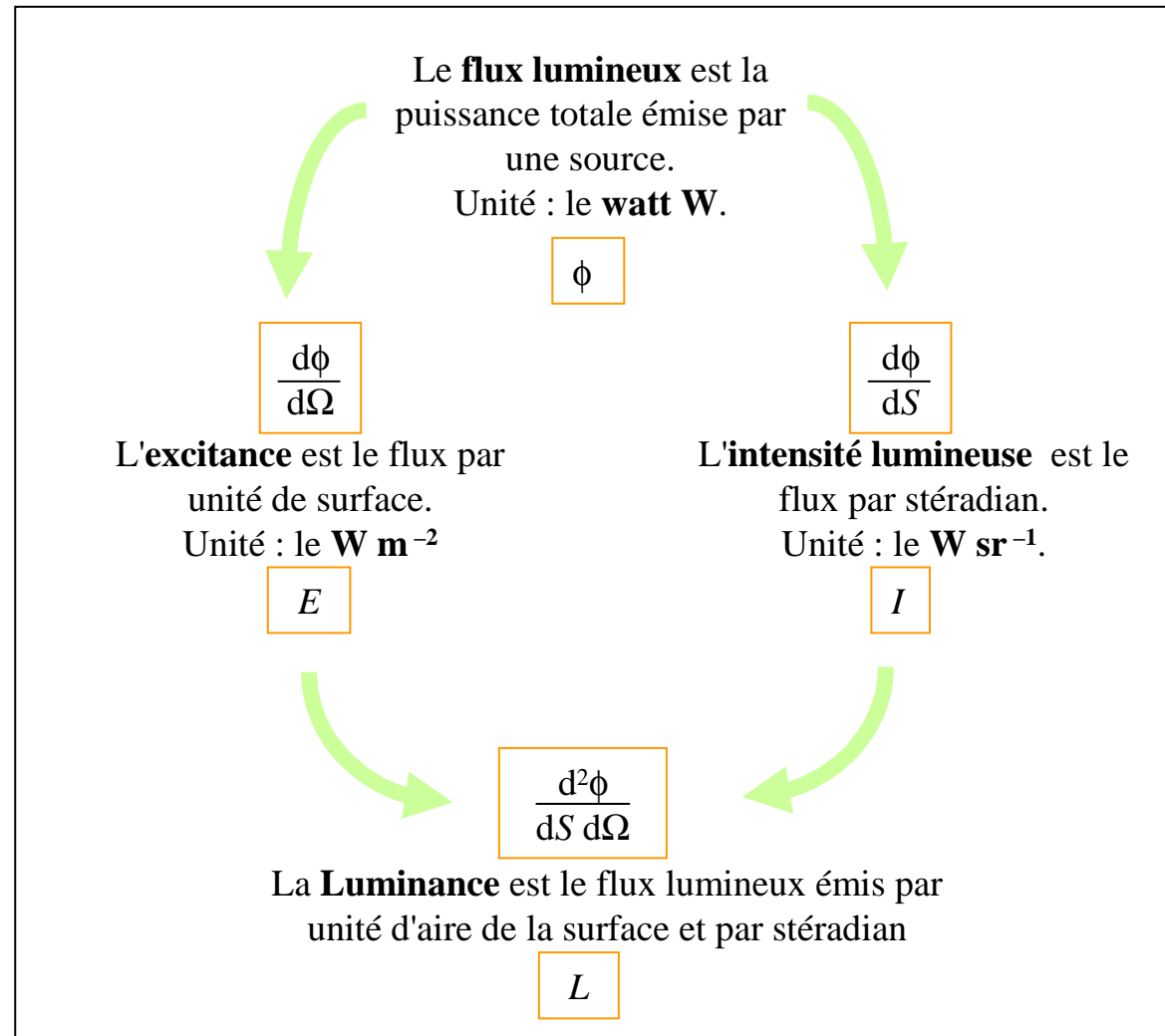
La lumière

Grandeurs et unités



La lumière

Grandeurs et unités

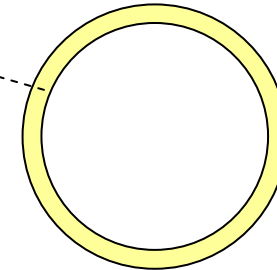


La lumière

Les distances

Sphère de référence, rayon R_0 ,
épaisseur dR_0 , aire πR_0^2

$$\text{Volume } dV_0 = 4 \pi R_0^2 dR_0$$



La lumière

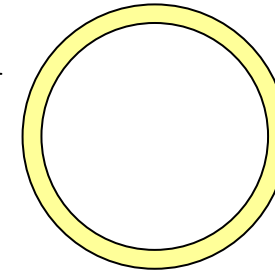
Les distances

Énergie	Volume
dE	V_0
Densité — ρ_0	1
Proportion	

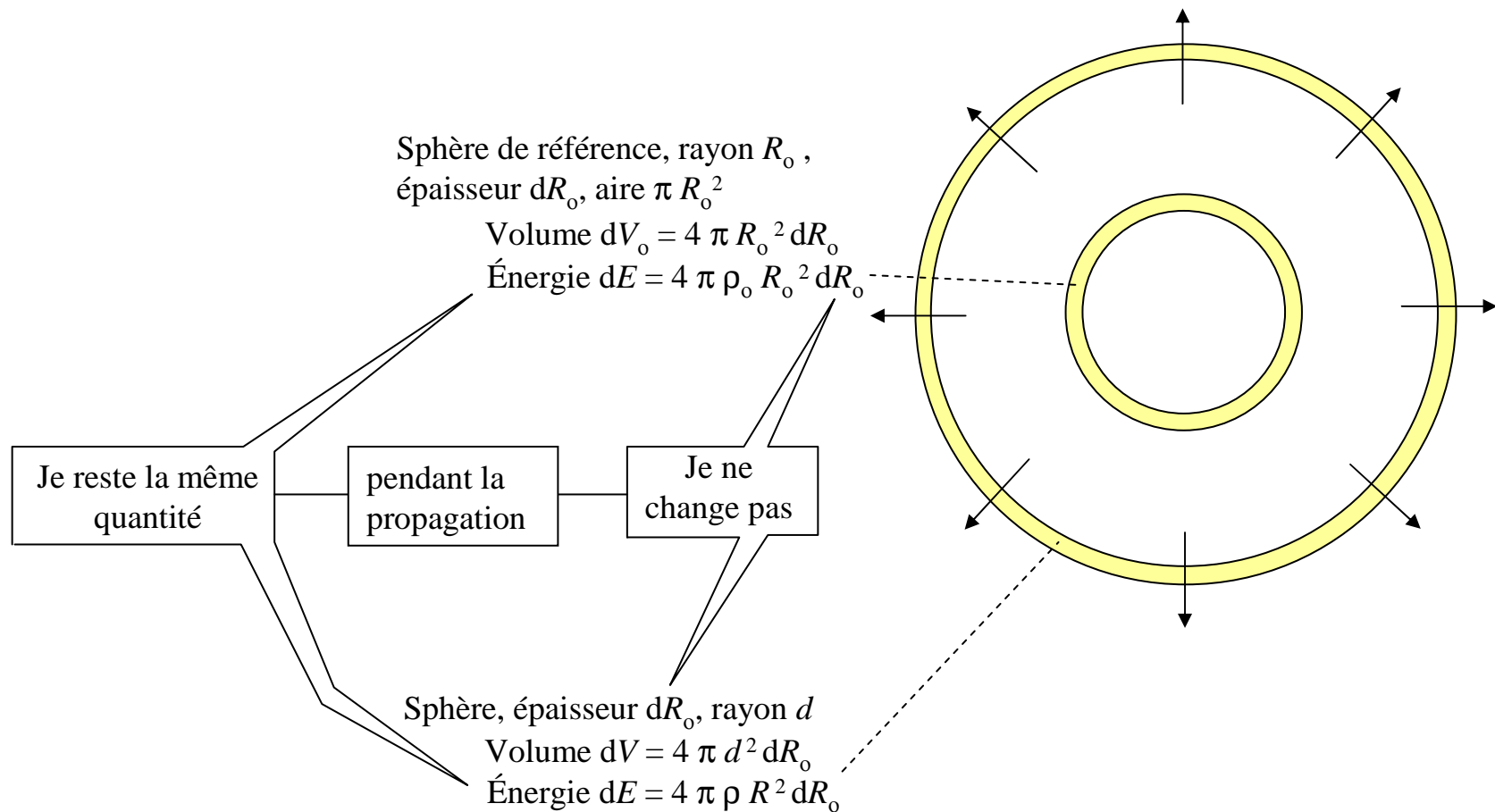
Sphère de référence, rayon R_0 ,
épaisseur dR_0 , aire πR_0^2

$$\text{Volume } dV_0 = 4 \pi R_0^2 dR_0$$

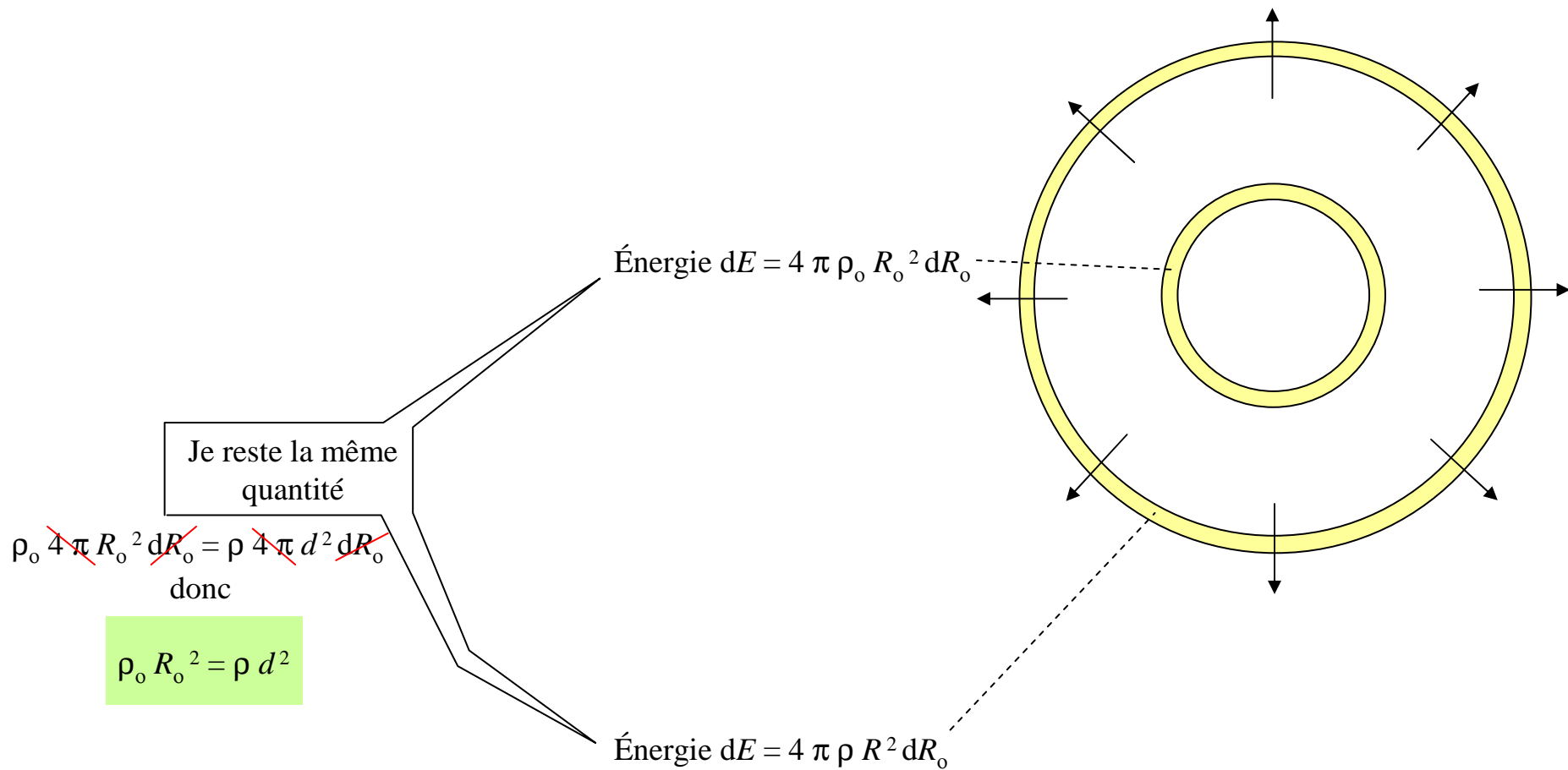
$$\text{Énergie } dE = 4 \pi \rho_0 R_0^2 dR_0$$



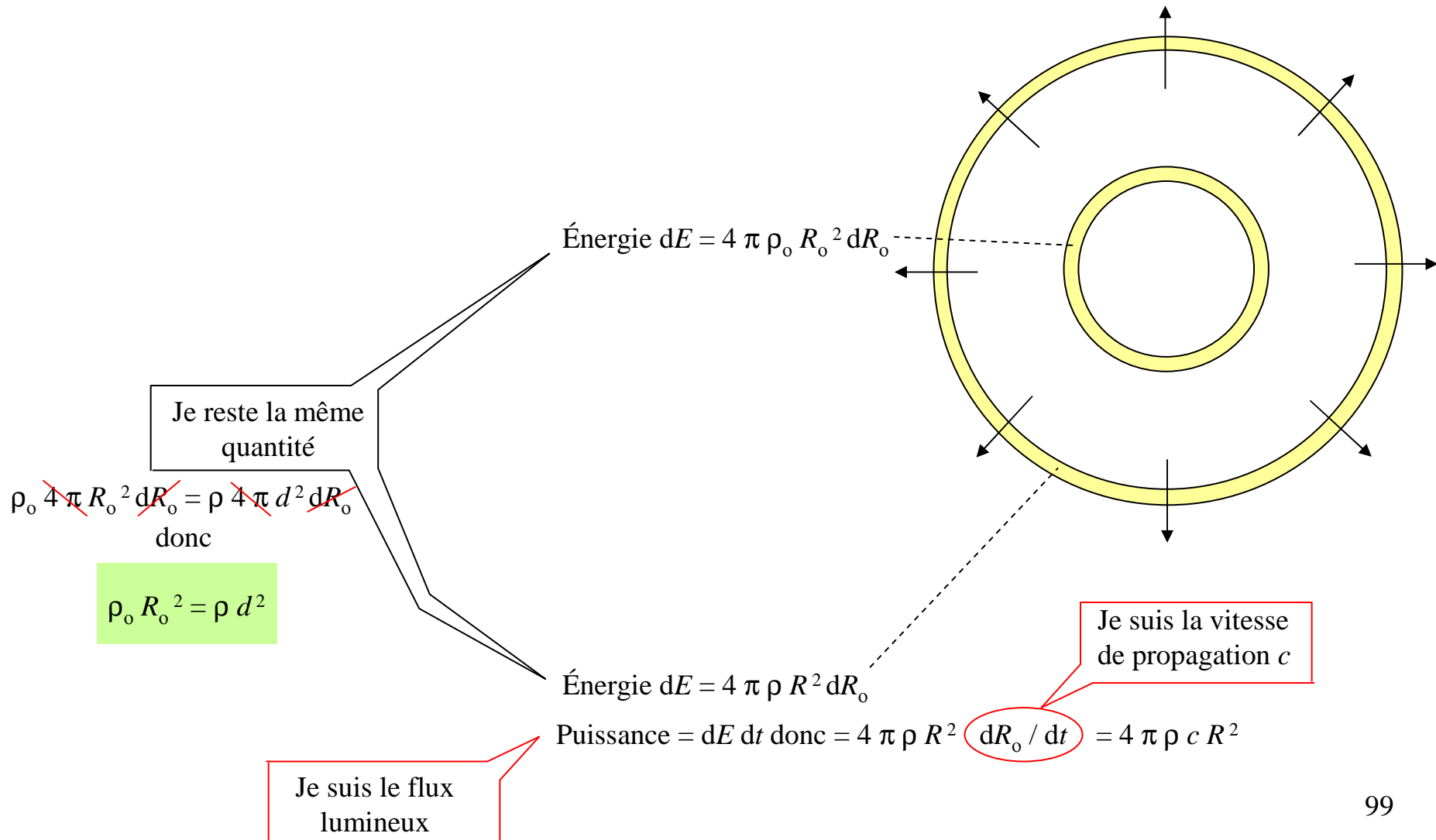
La lumière



La lumière



La lumière

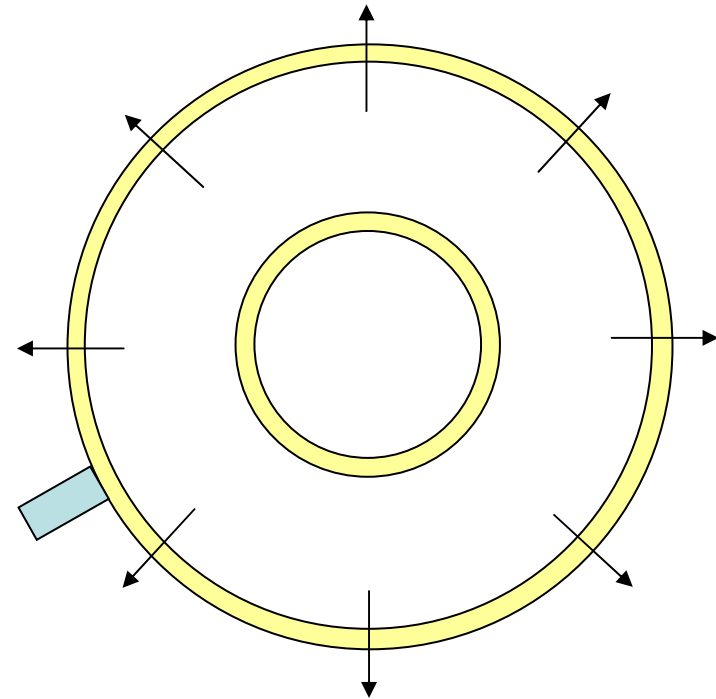


La lumière

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.



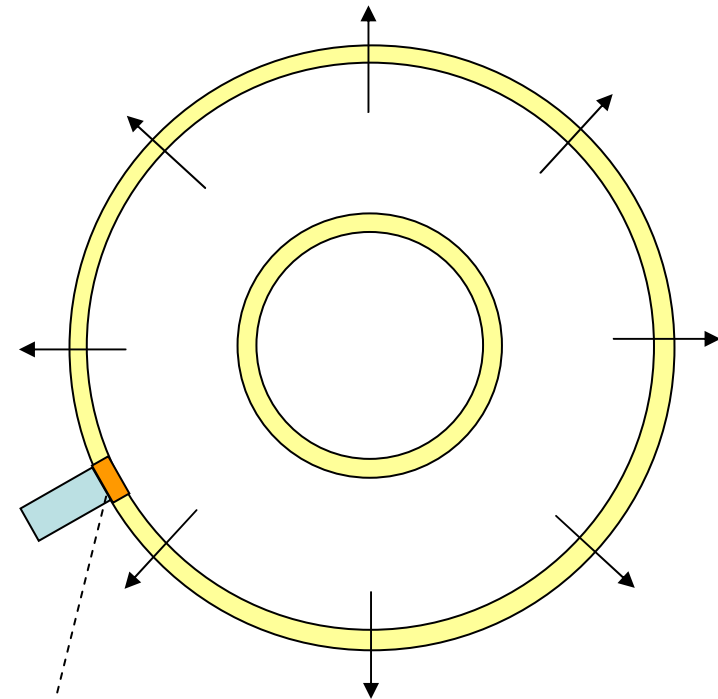
La lumière

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

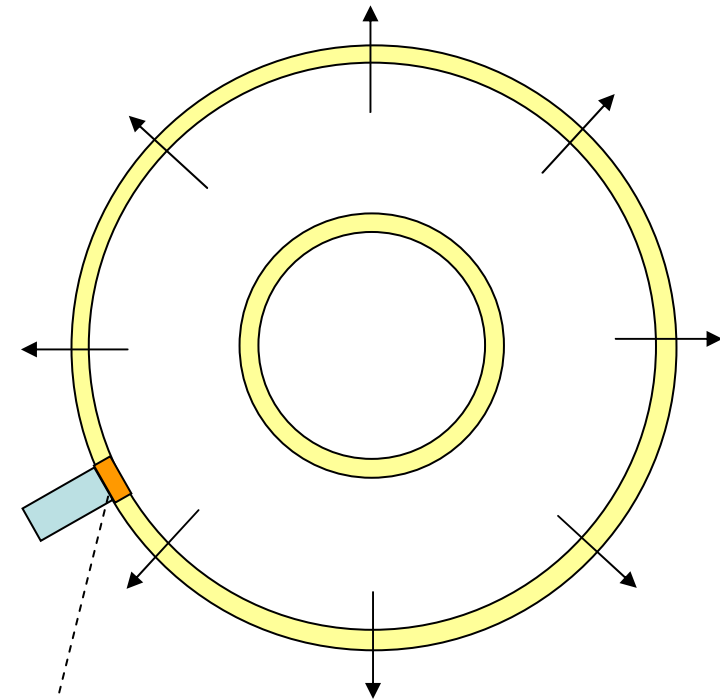
Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.

Dimensions : aire = σ ,
 hauteur = $c dt$
 énergie $dE = \rho \sigma c dt$



La lumière



Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

$$\rho = \frac{\phi}{\sigma c} \quad \leftarrow \quad \phi = \frac{dE}{dt} = \rho \sigma c$$

Cette énergie sort du volume en dt unités de temps

Dimensions : aire = σ ,
hauteur = $c dt$
énergie $dE = \rho \sigma c dt$

La lumière

$$\rho_o R_o^2 = \frac{\phi}{\sigma c} d^2$$

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

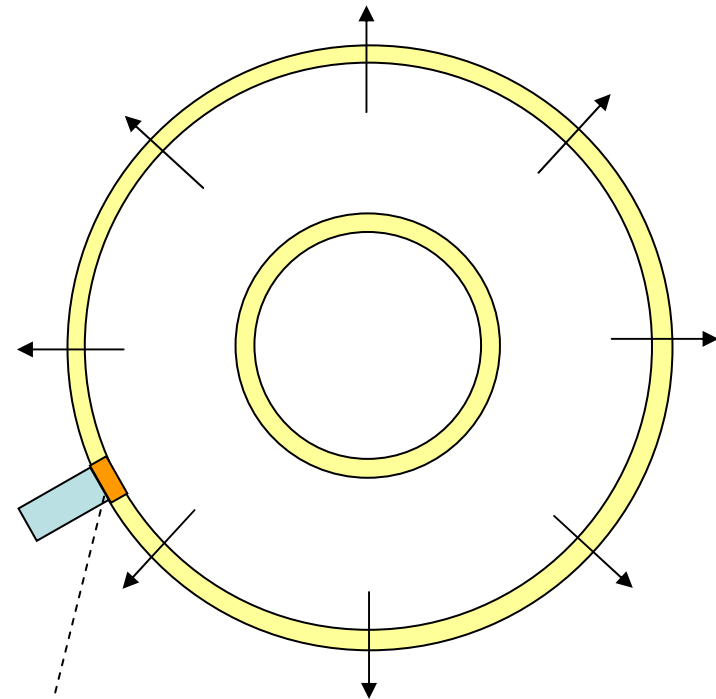
$$\rho = \frac{\phi}{\sigma c} \quad \leftarrow \quad \phi = \frac{dE}{dt} = \rho \sigma c$$

Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.

Dimensions : aire = σ ,
 hauteur = $c dt$
 énergie $dE = \rho \sigma c dt$

Cette énergie sort du volume en dt unités de temps



La lumière

Postulat : deux émetteurs ayant le même spectre sont identiques donc émettent la même puissance.

$$\rho_o R_o^2 = \frac{\phi}{\sigma c} d^2$$

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

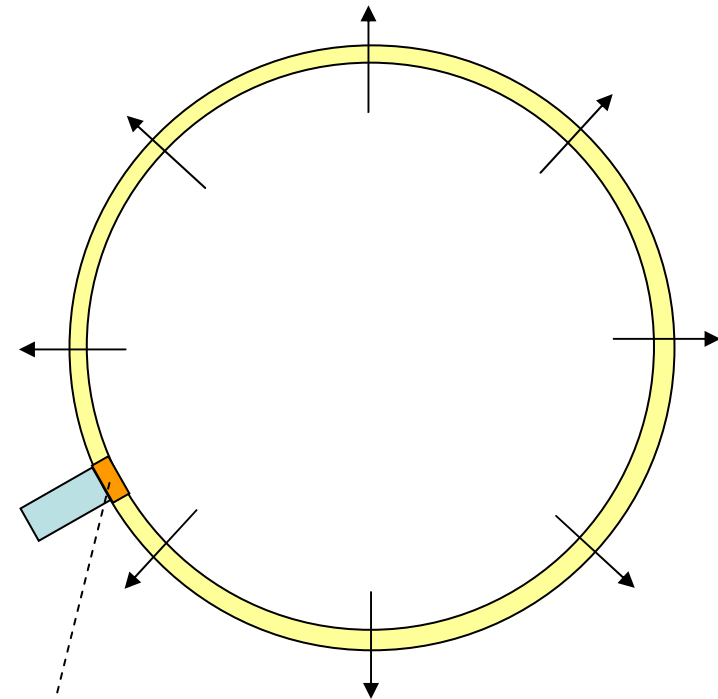
$$\rho = \frac{\phi}{\sigma c} \leftarrow \phi = \frac{dE}{dt} = \rho \sigma c$$

Cette énergie sort du volume en dt unités de temps

Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.

Dimensions : aire = σ ,
hauteur = $c dt$
énergie $dE = \rho \sigma c dt$



Énergie	Volume
dE	$\sigma c dt$
ρ	1
Proportion	

La lumière

Postulat : deux émetteurs ayant le même spectre sont identiques donc émettent la même puissance.

$$\frac{\phi}{\sigma c} d^2 = \frac{\phi'}{\sigma c} d'^2$$

Puissance	Distance
ϕ	d'^2
ϕ'	d^2
Proportion	

En rouge : ce qui est donné, en bleu : ce qui est mesuré.

$$\rho_o R_o^2 = \frac{\phi}{\sigma c} d^2$$

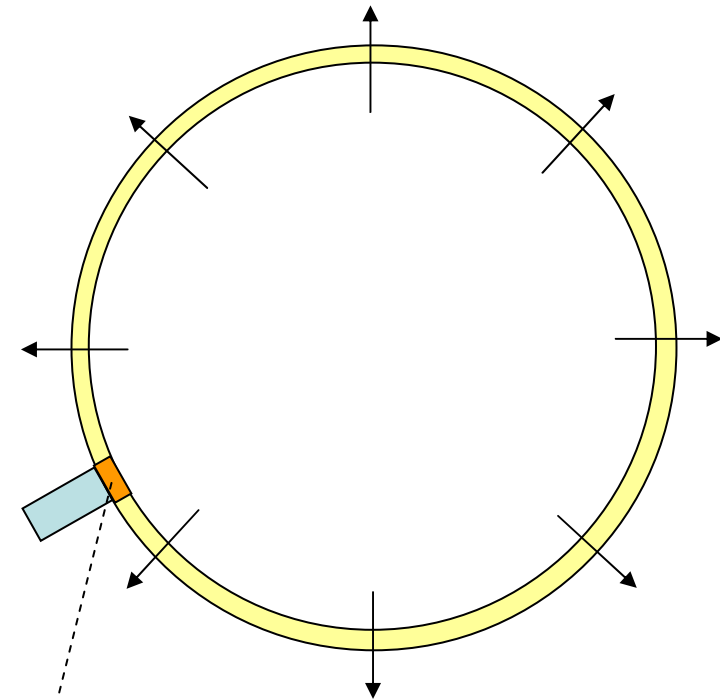
Puissance	Aire
Φ	$4 \pi d^2$
ϕ	σ
Proportion	

Un appareil reçoit une puissance proportionnelle à l'aire σ de son objectif.

$$\rho_o R_o^2 = \rho d^2$$

$$\rho = \frac{\phi}{\sigma c} \leftarrow \phi = \frac{dE}{dt} = \rho \sigma c$$

Cette énergie sort du volume en dt unités de temps



Dimensions : aire = σ , hauteur = $c dt$, énergie $dE = \rho \sigma c dt$

Énergie	Volume
dE	$\sigma c dt$
ρ	1
Proportion	

Les classes d'étoiles

Classes d'étoiles

Magnitude

L'astronome grec Hipparque aurait réalisé un catalogue d'un millier d'étoiles visibles à l'œil nu.

L'échelle comprend alors **six** « **grandeurs** » (en latin, *magna* = **grandeur**, d'où **magnitude**) : les étoiles les plus brillantes sont de **première grandeur** et les étoiles les moins brillantes encore visibles à l'œil nu sont de **sixième grandeur**.

Classes d'étoiles

Magnitude

L'astronome grec Hipparque aurait réalisé un catalogue d'un millier d'étoiles visibles à l'œil nu.

L'échelle comprend alors **six** « **grandeurs** » (en latin, *magna* = **grandeur**, d'où **magnitude**) : les étoiles les plus brillantes sont de **première grandeur** et les étoiles les moins brillantes encore visibles à l'œil nu sont de **sixième grandeur**.

Au XVIIe siècle, Galilée, qui observe le ciel avec sa lunette astronomique, est contraint de créer une **septième magnitude** pour classer les étoiles visibles seulement avec son instrument.

Classes d'étoiles

Magnitude

L'astronome grec Hipparque aurait réalisé un catalogue d'un millier d'étoiles visibles à l'œil nu.

L'échelle comprend alors **six** « **grandeurs** » (en latin, *magna* = **grandeur**, d'où **magnitude**) : les étoiles les plus brillantes sont de **première grandeur** et les étoiles les moins brillantes encore visibles à l'œil nu sont de **sixième grandeur**.

Au XVIIe siècle, Galilée, qui observe le ciel avec sa lunette astronomique, est contraint de créer une **septième magnitude** pour classer les étoiles visibles seulement avec son instrument.

Des nouveaux échelons et des niveaux intermédiaires sont ajoutés peu à peu avec l'amélioration des instruments d'observation. En 1860, le catalogue *Bonner Durchmusterung* comptait 324 188 étoiles classées en **neuf magnitudes**.

Classes d'étoiles

Magnitude

L'astronome grec Hipparque aurait réalisé un catalogue d'un millier d'étoiles visibles à l'œil nu.

L'échelle comprend alors **six** « **grandeurs** » (en latin, *magna* = **grandeur**, d'où **magnitude**) : les étoiles les plus brillantes sont de **première grandeur** et les étoiles les moins brillantes encore visibles à l'œil nu sont de **sixième grandeur**.

Au XVIIe siècle, Galilée, qui observe le ciel avec sa lunette astronomique, est contraint de créer une **septième magnitude** pour classer les étoiles visibles seulement avec son instrument.

Des nouveaux échelons et des niveaux intermédiaires sont ajoutés peu à peu avec l'amélioration des instruments d'observation. En 1860, le catalogue *Bonner Durchmusterung* comptait 324 188 étoiles classées en **neuf magnitudes**.

Cette dépendance psychophysique suit un escalier comme la suite des premiers nombres entiers naturels, du genre 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100-200-300-etc, comme si on gradue en pensée une demi-droite dont le zéro est en face des yeux et s'étend vers l'infini horizontalement et perpendiculairement au regard.

Classes d'étoiles

Magnitude

L'astronome grec Hipparque aurait réalisé un catalogue d'un millier d'étoiles visibles à l'œil nu.

L'échelle comprend alors **six** « grandeurs » (en latin, *magna* = **grandeur**, d'où **magnitude**) : les étoiles les plus brillantes sont de **première grandeur** et les étoiles les moins brillantes encore visibles à l'œil nu sont de **sixième grandeur**.

Au XVIIe siècle, Galilée, qui observe le ciel avec sa lunette astronomique, est contraint de créer une **septième magnitude** pour classer les étoiles visibles seulement avec son instrument.

Des nouveaux échelons et des niveaux intermédiaires sont ajoutés peu à peu avec l'amélioration des instruments d'observation. En 1860, le catalogue *Bonner Durchmusterung* comptait 324 188 étoiles classées en **neuf magnitudes**.

Cette dépendance psychophysique suit un escalier comme la suite des premiers nombres entiers naturels, du genre 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100-200-300-etc, comme si on gradue en pensée une demi-droite dont le zéro est en face des yeux et s'étend vers l'infini horizontalement et perpendiculairement au regard.

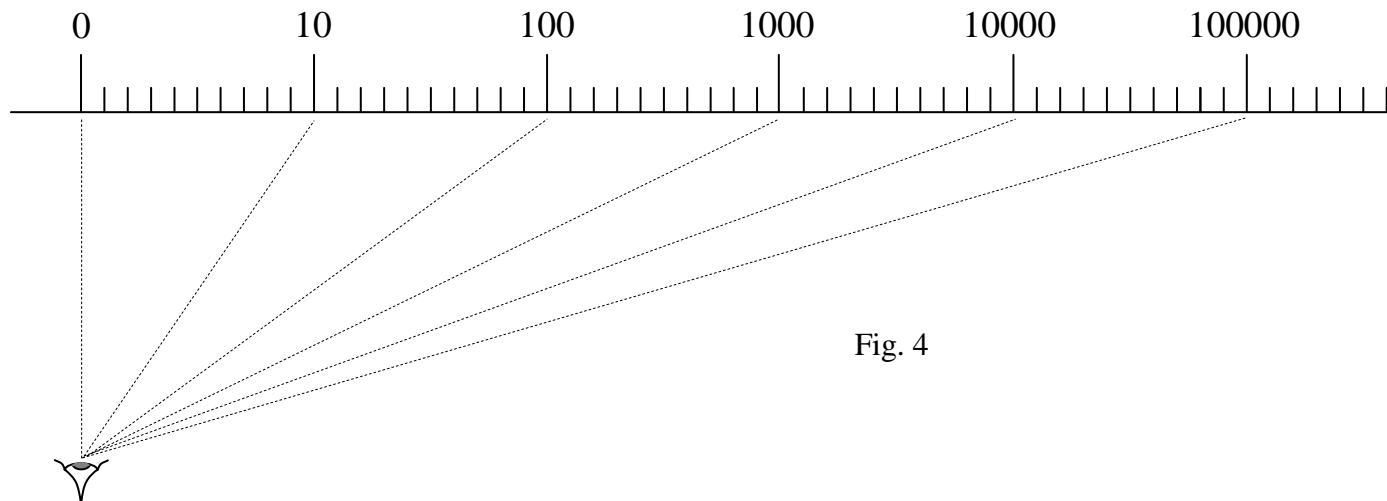


Fig. 4

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'**une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.**

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

$$L_1 = K L_2, L_2 = K L_3, L_3 = K L_4, L_4 = K L_5, L_5 = K L_6 \text{ donc } L_1 = K^5 L_6$$

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'**une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.**

$$L_1 = K^5 L_6 \text{ et } L_1 = 100 L_6$$

donnent $K^5 = 100$ donc

$$K = \sqrt[5]{100} = 2,51188643\dots$$

qu'on va arrondir à 2,5.

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

$$L_1 = K L_2, L_2 = K L_3, L_3 = K L_4, L_4 = K L_5, L_5 = K L_6 \text{ donc } L_1 = K^5 L_6$$

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.

$$L_1 = K^5 L_6 \text{ et } L_1 = 100 L_6$$

donnent $K^5 = 100$ donc

$$K = \sqrt[5]{100} = 2,51188643\dots$$

qu'on va arrondir à 2,5.

Arcturus ou Vega sont postulées de magnitude zéro

"Grandeur"	Luminosité
0	$K^6 L$
1	$K^5 L$
2	$K^4 L$
3	$K^3 L$
4	$K^2 L$
5	$K^1 L = K L$
6	$K^0 L = L$

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

$$L_1 = K L_2, L_2 = K L_3, L_3 = K L_4, L_4 = K L_5, L_5 = K L_6 \text{ donc } L_1 = K^5 L_6$$

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.

$$L_1 = K^5 L_6 \text{ et } L_1 = 100 L_6$$

donnent $K^5 = 100$ donc

$$K = \sqrt[5]{100} = 2,51188643\dots$$

qu'on va arrondir à 2,5.

"Grandeur"	Luminosité	L / L_{\max}	Logarithme
0	$K^6 L$	1	0
1	$K^5 L$	0,400	-0,398
2	$K^4 L$	0,160	-0,796
3	$K^3 L$	0,063	-1,194
4	$K^2 L$	0,026	-1,592
5	$K^1 L = K L$	0,01	-1,990
6	$K^0 L = L$	0,004	-2,388

Qu'est-ce que c'est ?

(voir image 117)

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

$$L_1 = K L_2, L_2 = K L_3, L_3 = K L_4, L_4 = K L_5, L_5 = K L_6 \text{ donc } L_1 = K^5 L_6$$

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.

$$L_1 = K^5 L_6 \text{ et } L_1 = 100 L_6$$

donnent $K^5 = 100$ donc

$$K = \sqrt[5]{100} = 2,51188643\dots$$

qu'on va arrondir à 2,5.

"Grandeur"	Luminosité	L / L_{\max}	Logarithme	$K \times$ logarithme
0	$L / K^0 = L$	1	0	0
1	$L / K^1 = L / K$	0,400	-0,398	-0,995
2	L / K^2	0,160	-0,796	-1,990
3	L / K^3	0,063	-1,194	-2,985
4	L / K^4	0,026	-1,592	-3,979
5	L / K^5	0,01	-1,990	-4,974
6	L / K^6	0,004	-2,388	-5,969

Classes d'étoiles

Par principe, on passe d'une magnitude à la précédente en multipliant la luminosité L par une constante K

$$L_1 = K L_2, L_2 = K L_3, L_3 = K L_4, L_4 = K L_5, L_5 = K L_6 \text{ donc } L_1 = K^5 L_6$$

En 1856, Norman Robert Pogson remarque qu'une étoile de première magnitude est 100 fois plus brillante qu'une étoile de sixième magnitude.

$$L_1 = K^5 L_6 \text{ et } L_1 = 100 L_6$$

donnent $K^5 = 100$ donc

$$K = \sqrt[5]{100} = 2,51188643\dots$$

qu'on va arrondir à 2,5.

Arcturus ou Vega

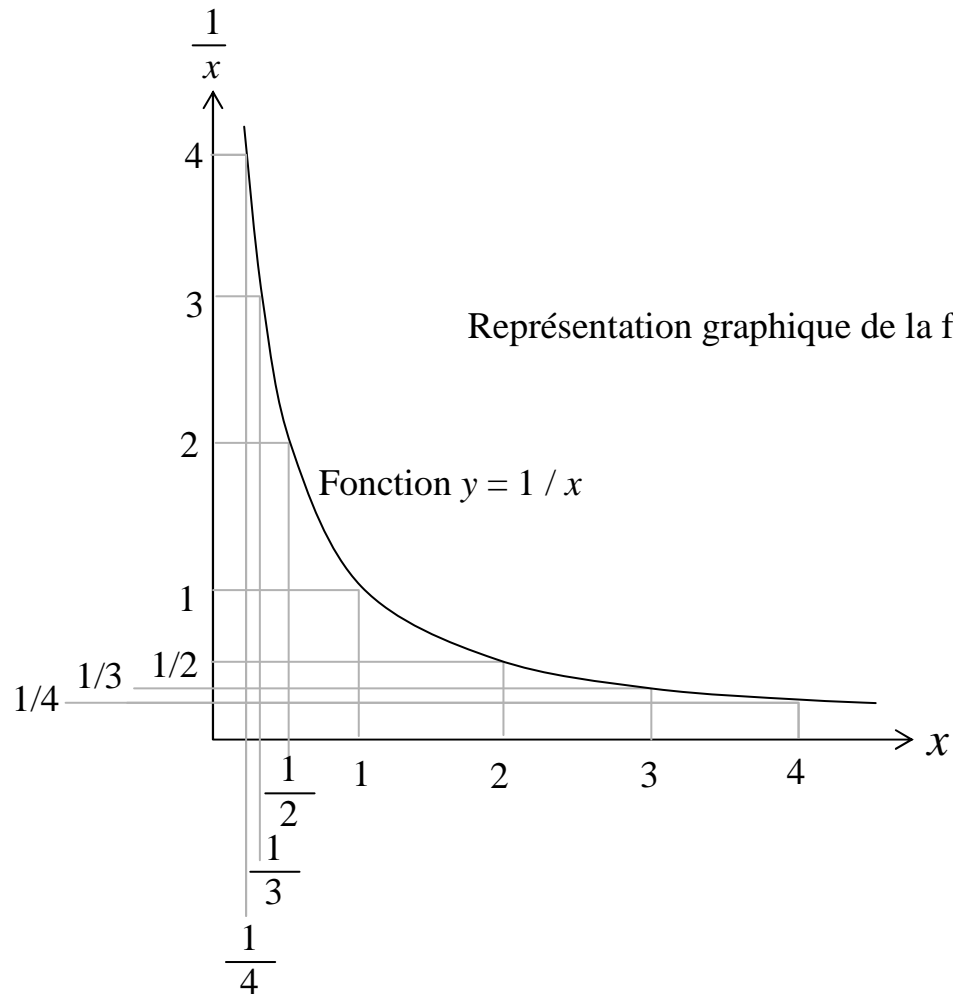
"Grandeur"	Luminosité	L / L_{\max}	Logarithme	$K \times$ logarithme
0	$L / K^0 = L$	1	0	0
1	$L / K^1 = L / K$	0,400	-0,398	-0,995
2	L / K^2	0,160	-0,796	-1,990
3	L / K^3	0,063	-1,194	-2,985
4	L / K^4	0,026	-1,592	-3,979
5	L / K^5	0,01	-1,990	-4,974
6	L / K^6	0,004	-2,388	-5,969

$m = 2,5 \lg \frac{L}{L_{\max}}$

La magnitude m est l'arrondi à l'entier le plus proche

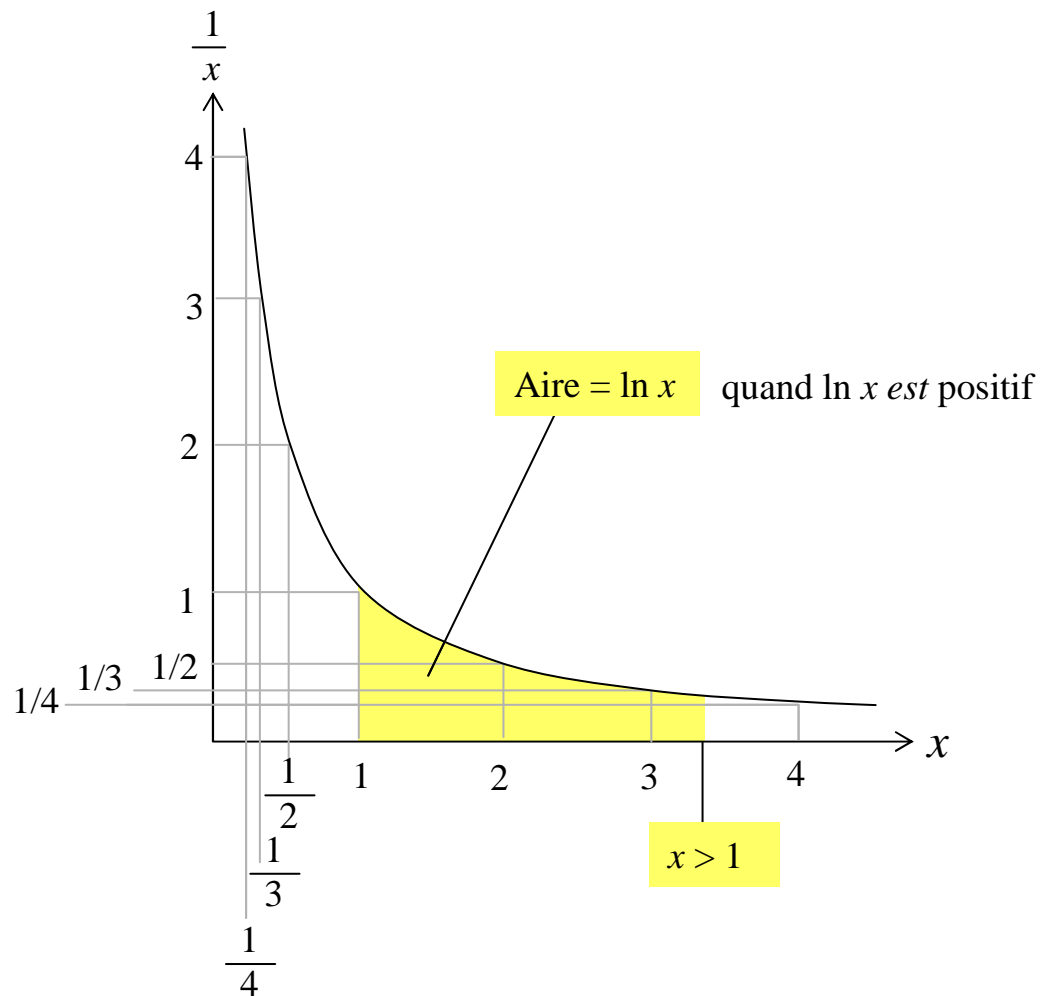
Classes d'étoiles

Les logarithmes



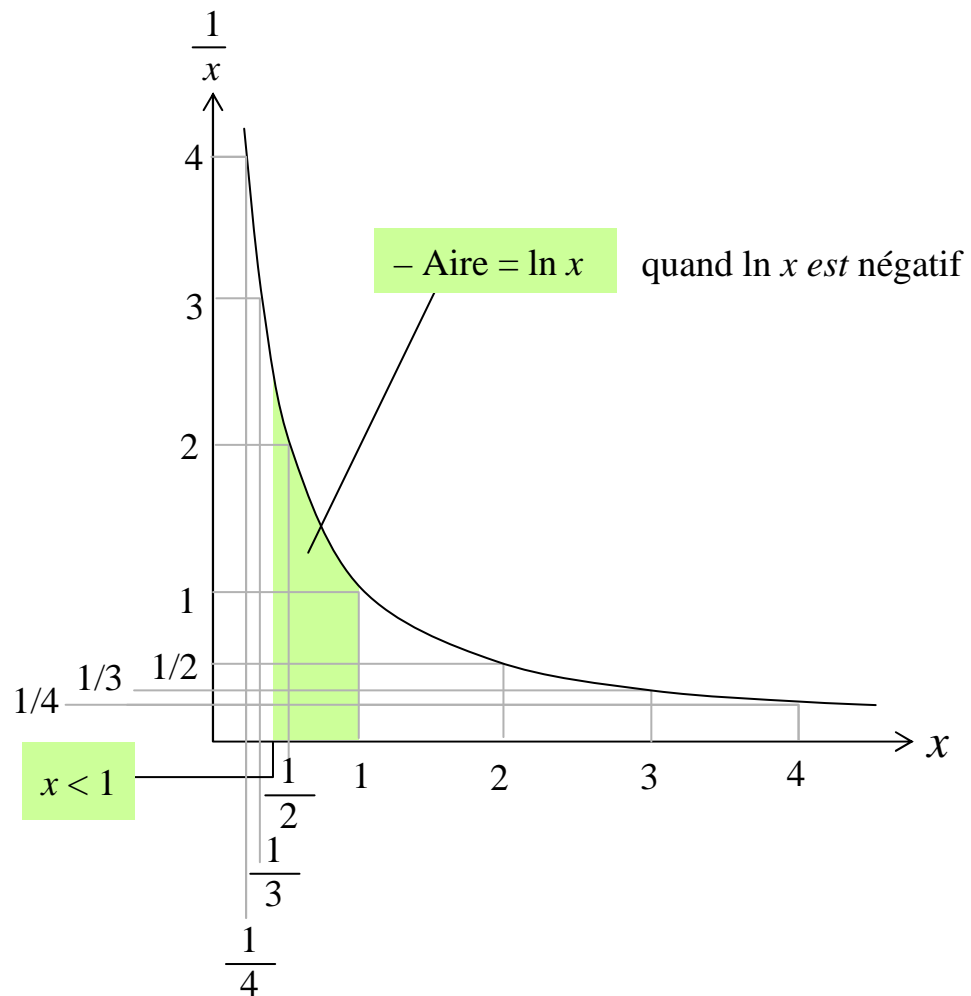
Classes d'étoiles

Les logarithmes



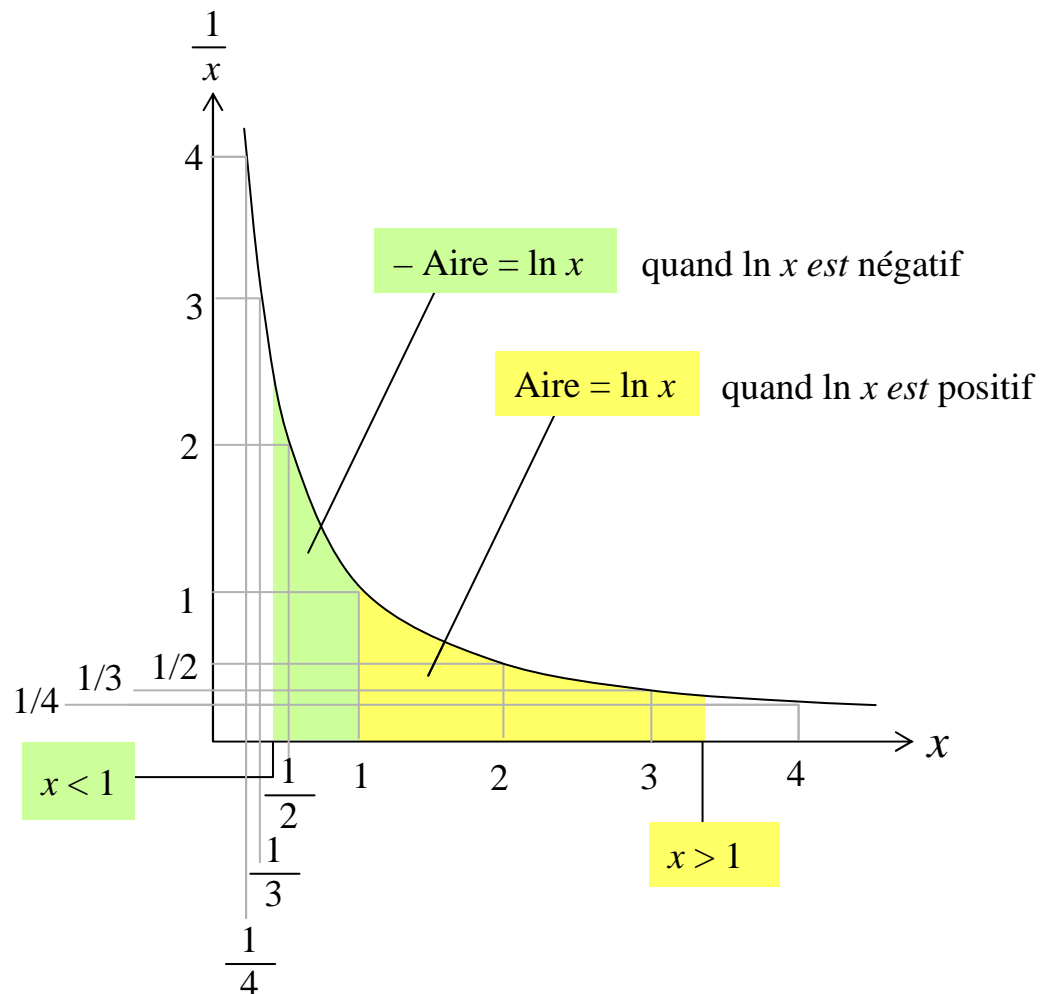
Classes d'étoiles

Les logarithmes



Classes d'étoiles

Les logarithmes



Classes d'étoiles

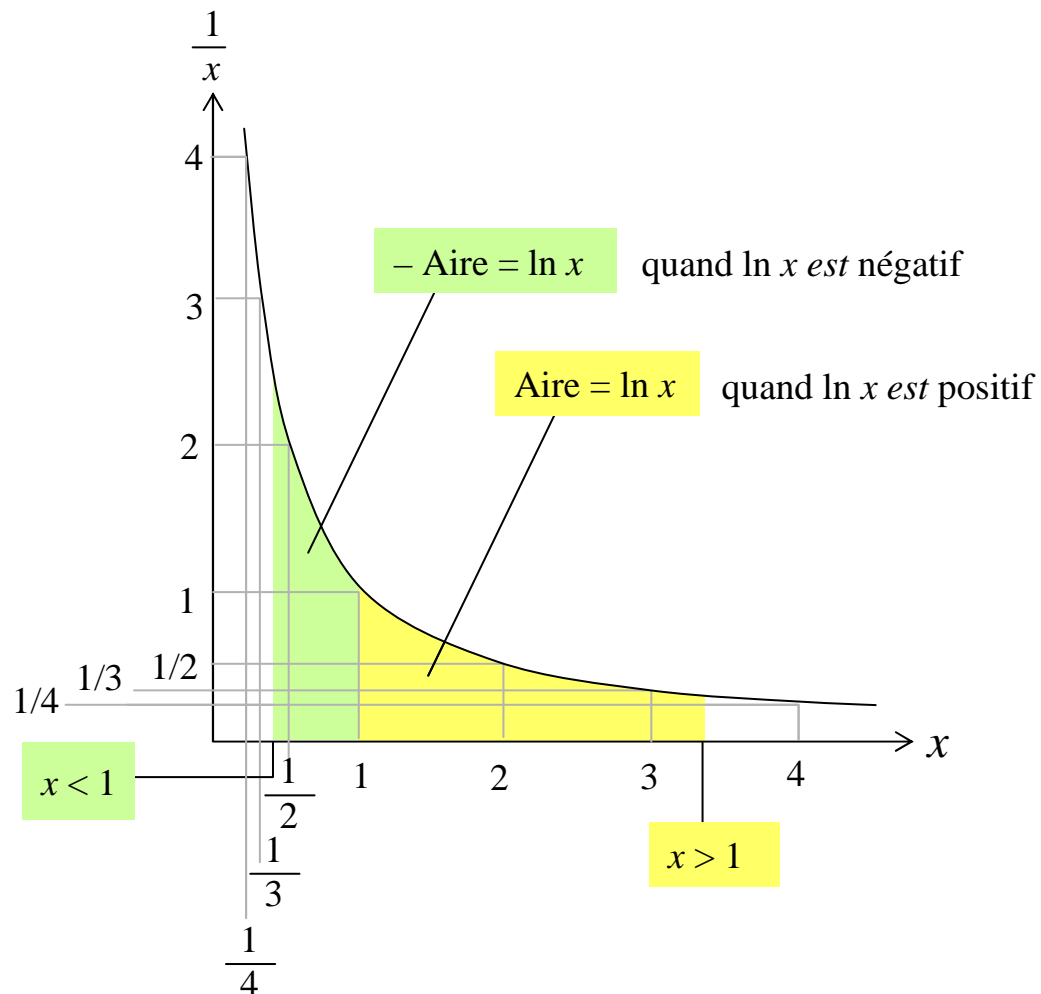
Les logarithmes

Propriétés

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln(ax) = \ln a + \ln x$$

$$\ln(x/a) = \ln x - \ln a$$



Classes d'étoiles

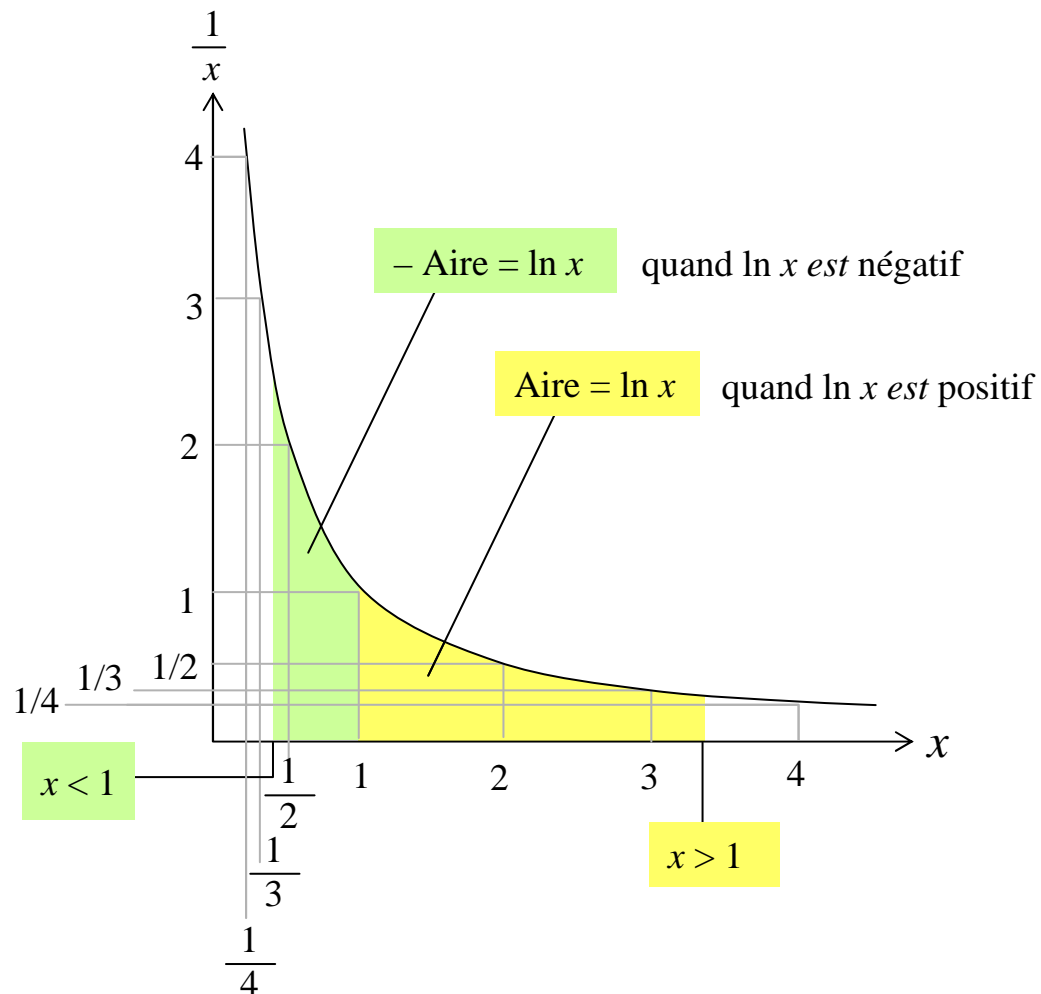
Les logarithmes

Propriétés

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln(ax) = \ln a + \ln x$$

$$\ln(x/a) = \ln x - \ln a$$



Classes d'étoiles

Les logarithmes

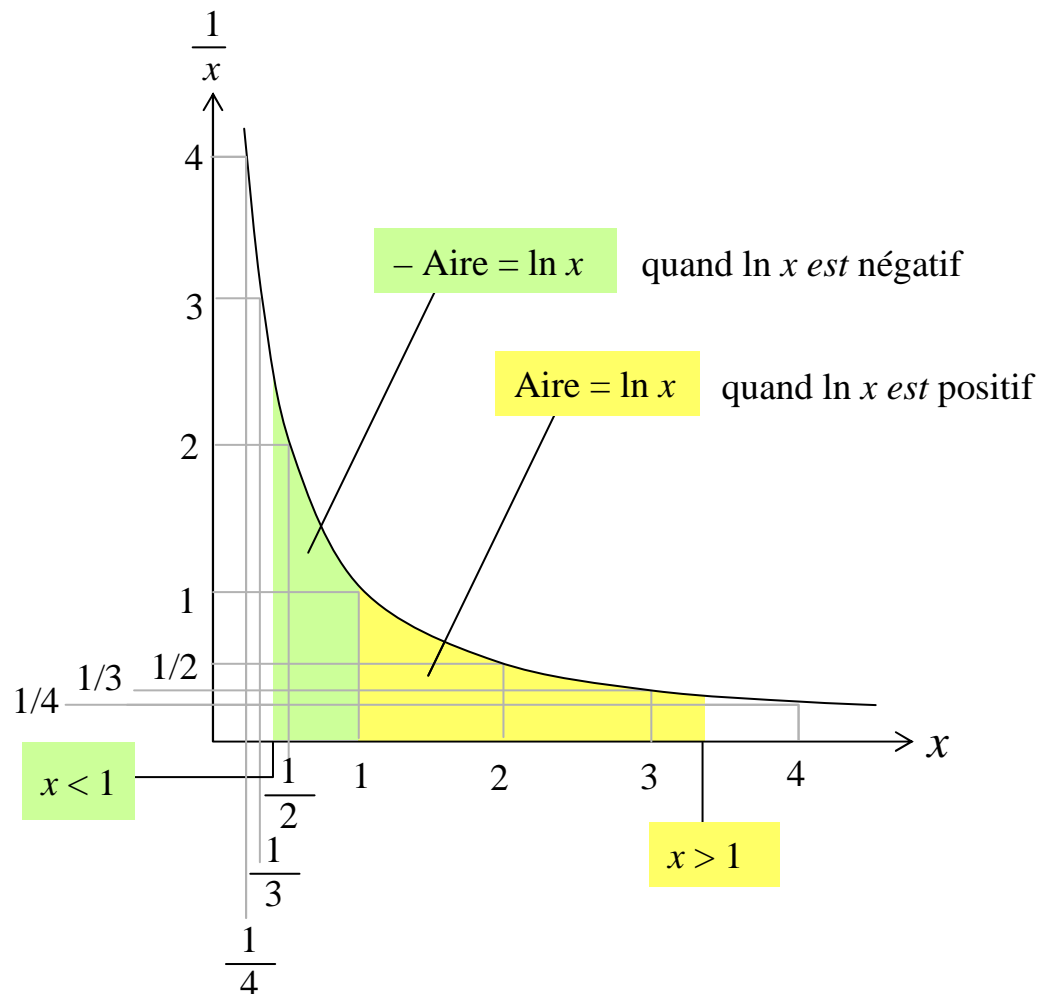
Propriétés

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln(ax) = \ln a + \ln x$$

$$\ln(x/a) = \ln x - \ln a$$

Définition mathématique $\lg x = \frac{\ln x}{\ln 10}$



Classes d'étoiles

Les logarithmes

Propriétés

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln(ax) = \ln a + \ln x$$

$$\ln(x/a) = \ln x - \ln a$$

Définition mathématique $\lg x = \frac{\ln x}{\ln 10}$

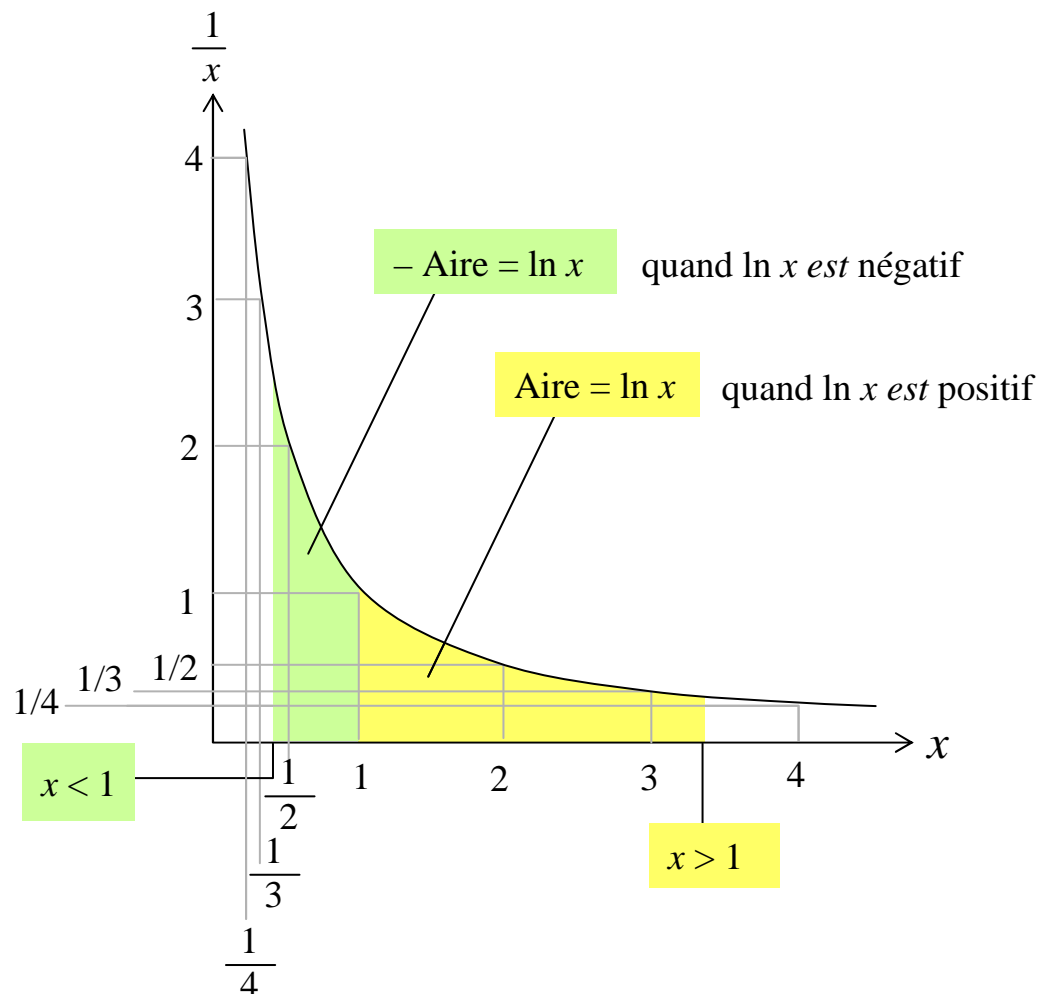
Propriétés

$$\lg 10 = 1$$

$$\lg(ax) = \lg a + \lg x$$

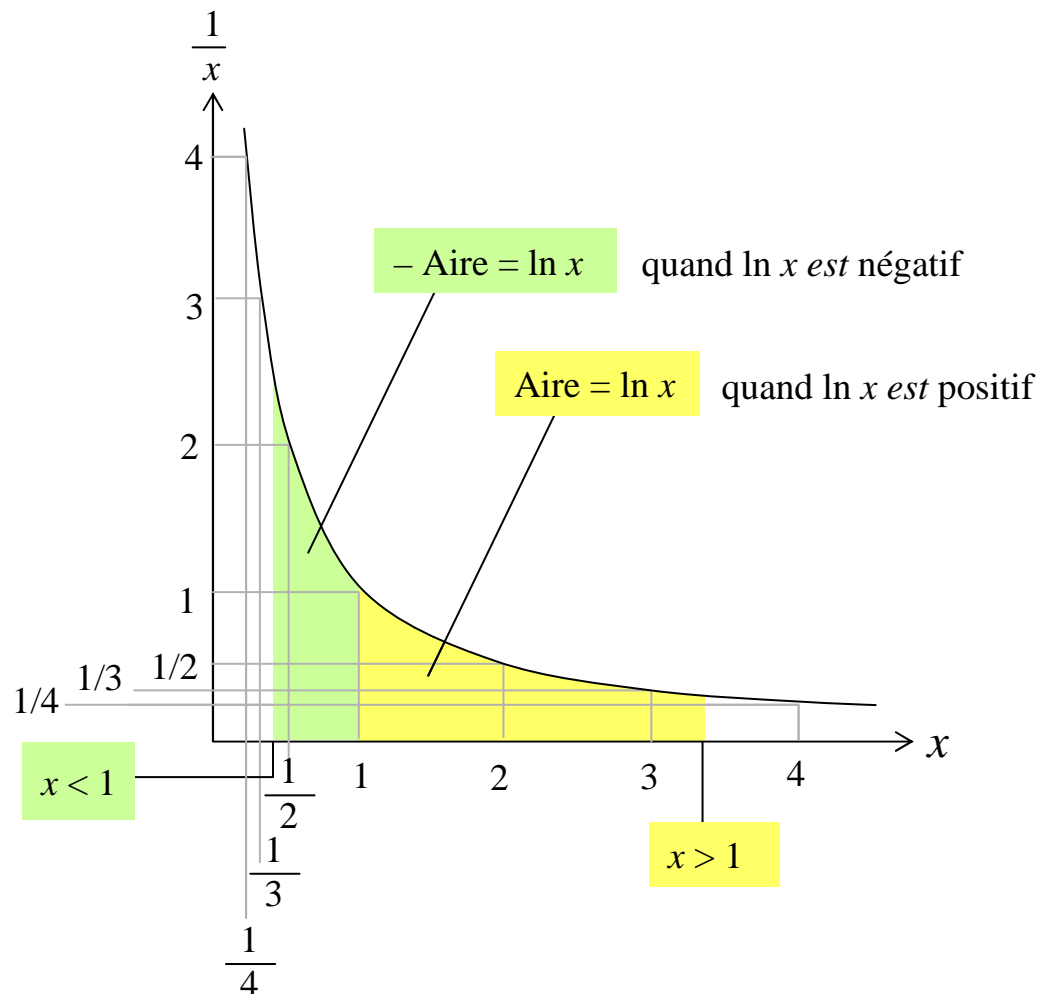
$$\lg(x/a) = \lg x - \lg a$$

$$x = 10^{\lg x}$$



Classes d'étoiles

Les logarithmes



Propriétés

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln (a x) = \ln a + \ln x$$

$$\ln (x / a) = \ln x - \ln a$$

Définition mathématique $\lg x = \frac{\ln x}{\ln 10}$

Propriétés

$$\lg 10 = 1$$

$$\lg (a x) = \lg a + \lg x$$

$$\lg (x / a) = \lg x - \lg a$$

$$x = 10^{\lg x}$$

En optique

$$m = 2,5 (\lg L - \lg L_{\max})$$

$$m = 2,5 \lg \frac{L}{L_{\max}}$$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

Propriétés

$$\lg 10 = 1$$

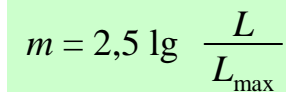
$$\lg (a x) = \lg a + \lg x$$

$$\lg (x / a) = \lg x - \lg a$$

$$x = 10^{\lg x}$$

Résolution de l'équation

$$\frac{m}{2,5} = \lg \frac{L}{L_{\max}}$$


$$m = 2,5 \lg \frac{L}{L_{\max}}$$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

Propriétés

$$\lg 10 = 1$$

$$\lg (a x) = \lg a + \lg x$$

$$\lg (x / a) = \lg x - \lg a$$

$$x = 10^{\lg x}$$

$$10^{m/2,5} = L / L_{\max}$$

Résolution de l'équation

$$\frac{m}{2,5} = \lg \frac{L}{L_{\max}}$$

$$m = 2,5 \lg \frac{L}{L_{\max}}$$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

(image 94)

$$\text{Flux} = \text{luminance} \times \text{aire} \times \text{angle solide.}$$

(en W) (en W/sr) (en m²) (en sr)

$$\phi = L S \Omega$$

$$10^{m/2.5} = L / L_{\max}$$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

(image XX)

$$\text{Flux} = \text{luminance} \times \text{aire} \times \text{angle solide.}$$

(en W) (en W/sr) (en m²) (en sr)

$$\phi = L S \Omega$$

$$\frac{\phi}{\phi_{\max}} = \frac{L}{L_{\max}}$$

$$10^{m/2.5} = L / L_{\max}$$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

(image XX)

$$\text{Flux} = \text{luminance} \times \text{aire} \times \text{angle solide.}$$

(en W) (en W/sr) (en m²) (en sr)

$$\phi = L S \Omega$$

$$\frac{\phi}{\phi_{\max}} = \frac{L}{L_{\max}}$$

$10^{m/2,5} = \phi / \phi_{\max}$ $10^{m/2,5} = L / L_{\max}$

Classes d'étoiles

Les logarithmes

(image XX)

Flux = **luminance** × **aire** × **angle solide**.

(en W) (en W/sr) (en m²) (en sr)

$$\phi = L S \Omega$$

$$\frac{\phi}{\phi_{\max}} = \frac{L}{L_{\max}}$$

$$10^{m/2,5} = \phi / \phi_{\max}$$

$$10^{m/2,5} = L / L_{\max}$$

Puissance	Distance
ϕ	d'^2
ϕ'	d^2
Proportion	

En rouge : ce qui est donné,
en bleu : ce qui est mesuré.

(image 105)

Classes d'étoiles

Les logarithmes

(image XX)

Flux = **luminance** × **aire** × **angle solide**.
 (en W) (en W/sr) (en m²) (en sr)

$$\phi = L S \Omega$$

$$\frac{\phi}{\phi_{\max}} = \frac{L}{L_{\max}}$$

$$10^{m/2,5} = \phi / \phi_{\max}$$

$$10^{m/2,5} = d'^2 / d^2$$

$$10^{m/2,5} d^2 = d'^2$$

$$\sqrt{10^{m/2,5} d^2} = d'$$

$$\sqrt{10^{m/2,5}} d = d'$$

$$10^{m/2,5} = L / L_{\max}$$

Puissance	Distance
ϕ	d'^2
ϕ'	d^2
Proportion	

En rouge : ce qui est donné,
 en bleu : ce qui est mesuré.

(image 105)

Céphéides

Une **céphéide** est une étoile variable, géante ou supergéante jaune, de 4 à 15 fois plus massive que le Soleil et de 100 à 30 000 fois plus lumineuse, dont l'éclat varie de 0,1 à 2 magnitudes selon une période bien définie, comprise entre 1 et 135 jours.

L'étoile **δ Cephei** dans la constellation de Céphée fut découverte variable par John Goodricke en 1784.

[Arthur Eddington](#) (1926) proposa une première explication des variations de luminosité.

Animation

https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ides#/media/Fichier:Cepheid_animation_1.gif

Céphéides

Ces étoiles sont en

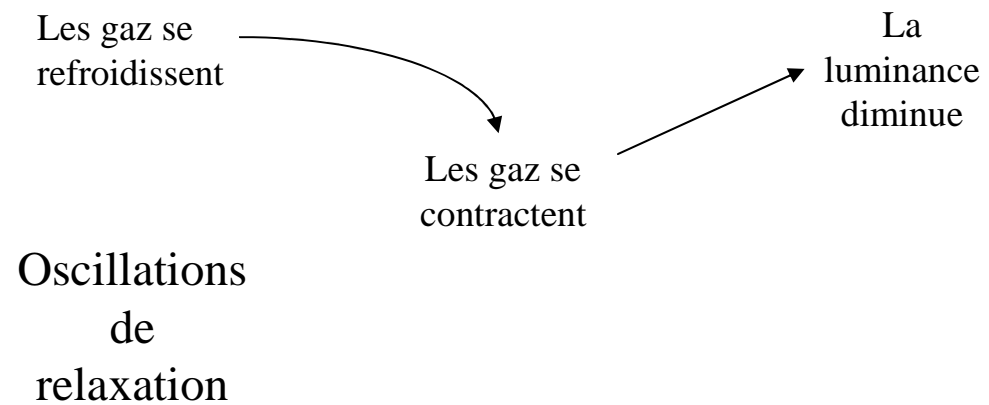
Oscillations
de
relaxation

Céphéides

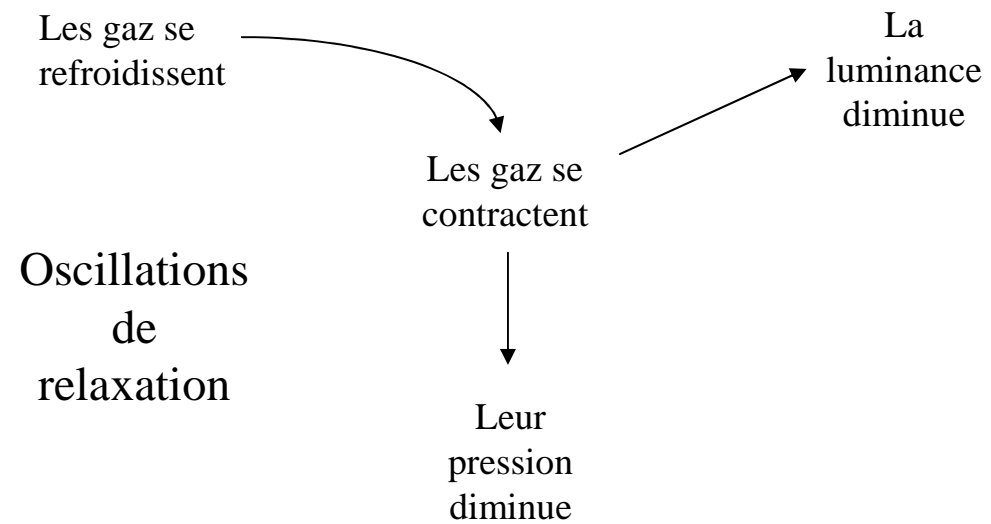
Les gaz se
refroidissent

Oscillations
de
relaxation

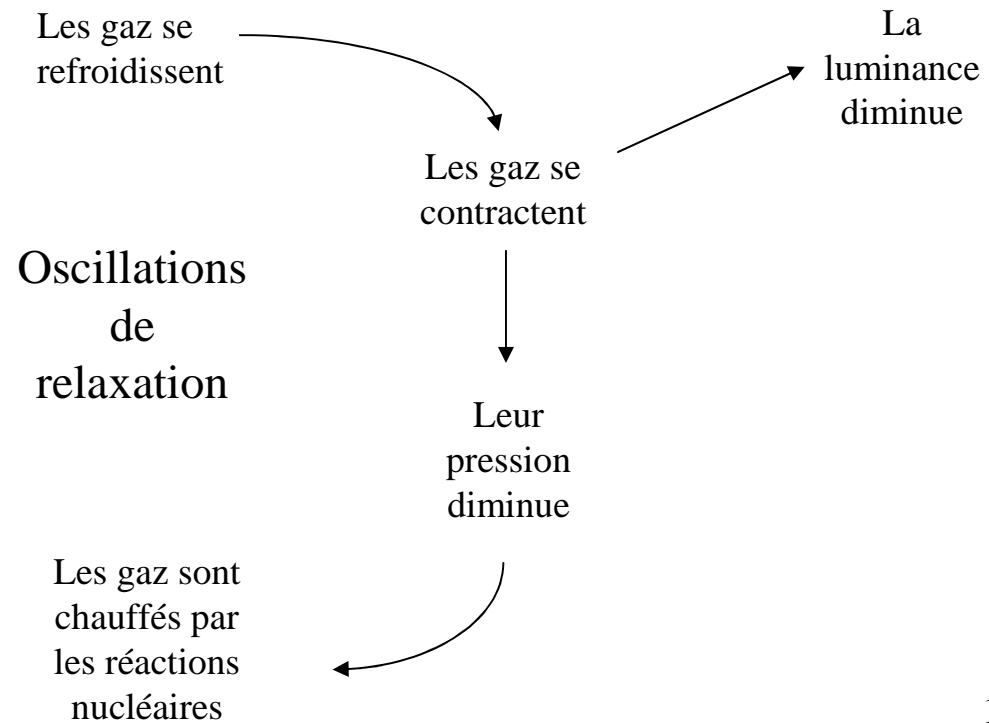
Céphéïdes



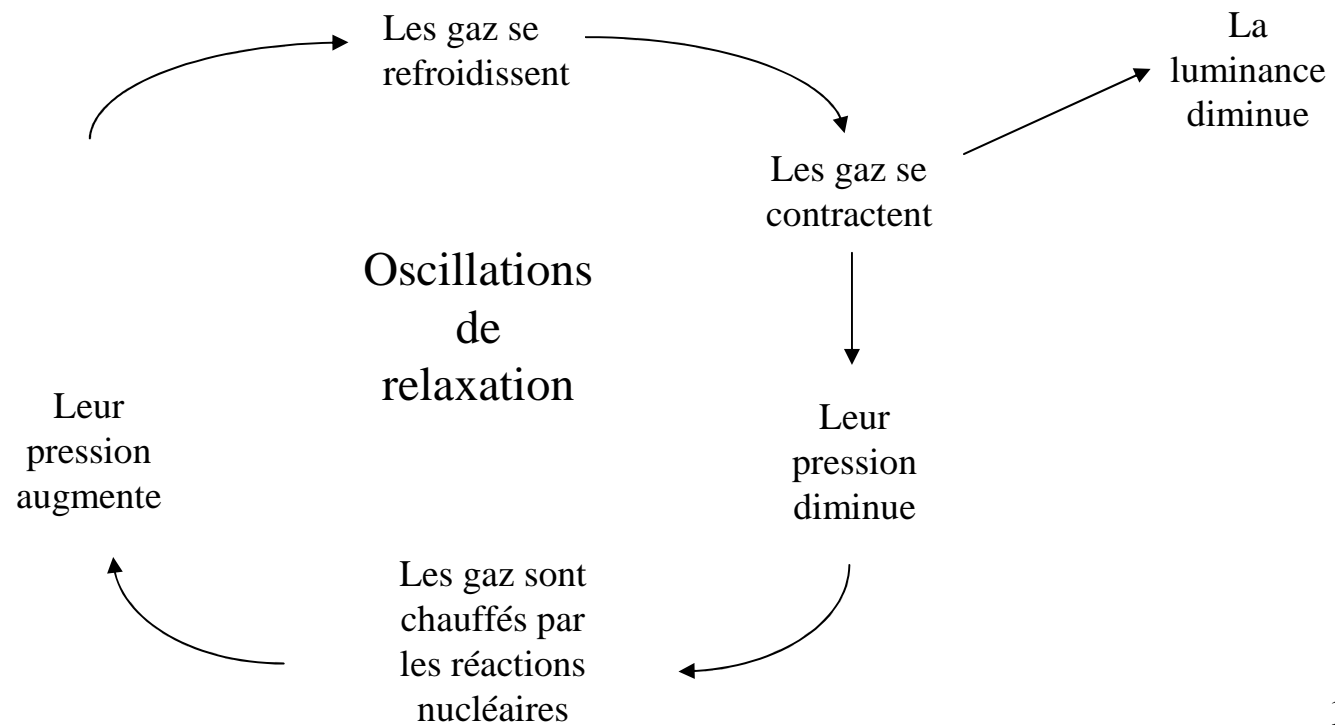
Céphéïdes



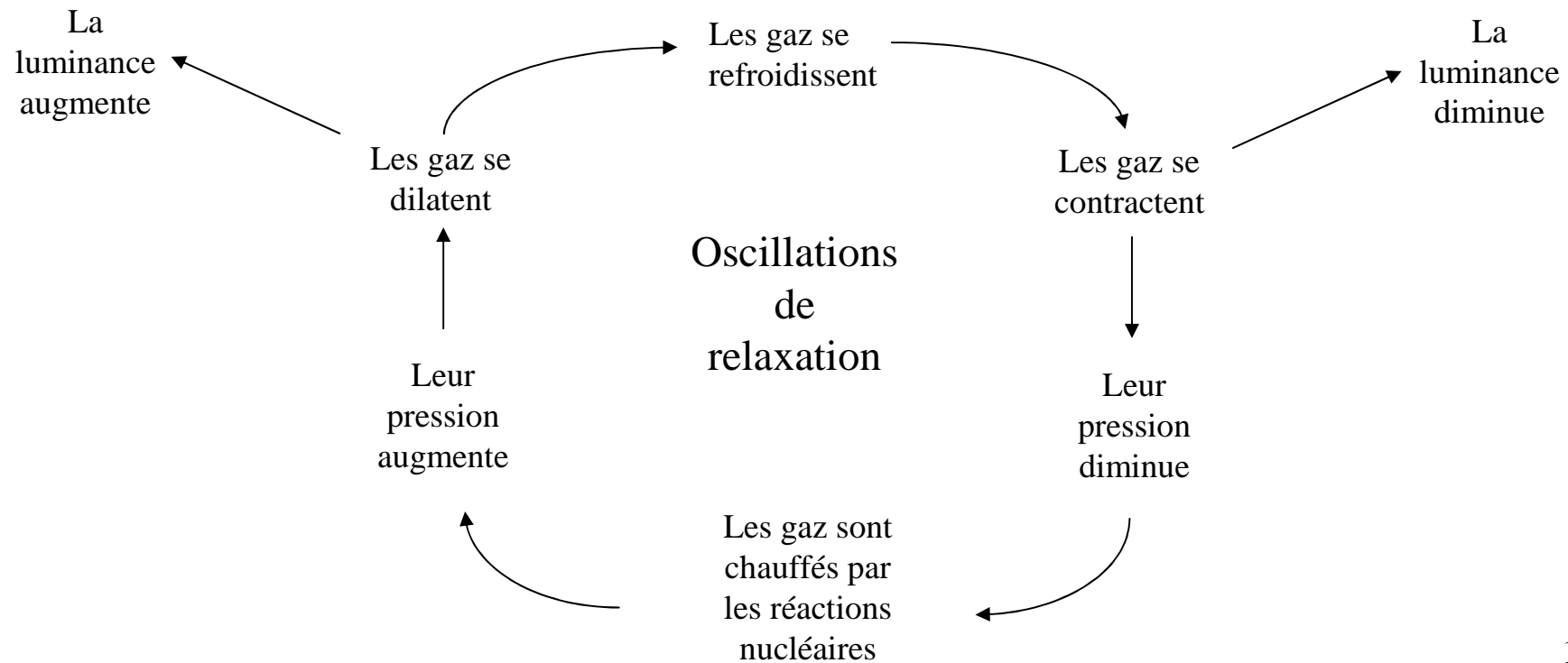
Céphéïdes



Céphéïdes



Céphéïdes



Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ides>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ides>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

----- Constantes

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Distance ————

————— Constantes

Elle en déduit la distance (celle des étoiles entre elles à l'intérieur du nuage est négligeable par rapport à leur distance à la Terre).

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Distance ————

Magnitude apparente en visible ————

Constantes

Elle en déduit la distance (celle des étoiles entre elles à l'intérieur du nuage est négligeable par rapport à leur distance à la Terre).

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Distance ————

Magnitude apparente en visible ————

Magnitude apparente en infra rouge proche (bande I) ————

Constantes

Elle en déduit la distance (celle des étoiles entre elles à l'intérieur du nuage est négligeable par rapport à leur distance à la Terre).

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

Céphéides

[Henrietta Leavitt](#), dans les années 1910-1920, à l'université Harvard, classe les céphéides des nuages de Magellan.

Elle s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes.

Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Distance

Magnitude apparente en visible

Période

Magnitude apparente en infra rouge proche (bande I)

Constantes

Elle en déduit la distance (celle des étoiles entre elles à l'intérieur du nuage est négligeable par rapport à leur distance à la Terre).

<https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Constantes

Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Résolution : $\lg d = [m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5$

Constantes Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Résolution : $\lg d = [m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5$

$$d = 10^{[m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5} \quad (\text{image 125})$$

Constantes Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Résolution : $\lg d = [m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5$

$$d = 10^{[m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5}$$

Constantes Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Avec les télescopes sur terre, la méthode est efficace pour six galaxies qui entourent la nôtre dans ce que l'on nomme "l'amas local", soit **six millions d'années lumière**.

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Résolution : $\lg d = [m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5$

$$d = 10^{[m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5}$$

Constantes Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Avec les télescopes sur terre, la méthode est efficace pour six galaxies qui entourent la nôtre dans ce que l'on nomme "l'amas local", soit **six millions d'années lumière**.

Très brillantes, donc visibles de loin, les céphéïdes sont détectées à présent dans d'autres galaxies que la nôtre, jusqu'à des distances de **80 millions d'années-lumière** environ grâce au télescope spatial Hubble.

Céphéïdes

Objectif des
calculs

$$5 \times \lg d = m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c$$

Résolution : $\lg d = [m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5$

$$d = 10^{[m_V + a \lg T - b (m_V - m_{IR}) + c] / 5}$$

Constantes Selon les publications

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,45 \\ 7,52 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,34 \\ 2,58 \\ 7,50 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 3,37 \\ 2,55 \\ 7,48 \end{pmatrix}$$

Avec les télescopes sur terre, la méthode est efficace pour six galaxies qui entourent la nôtre dans ce que l'on nomme " l'amas local ", soit **six millions d'années lumière** .

Très brillantes, donc visibles de loin, les céphéïdes sont détectées à présent dans d'autres galaxies que la nôtre, jusqu'à des distances de **80 millions d'années-lumière** environ grâce au télescope spatial Hubble.

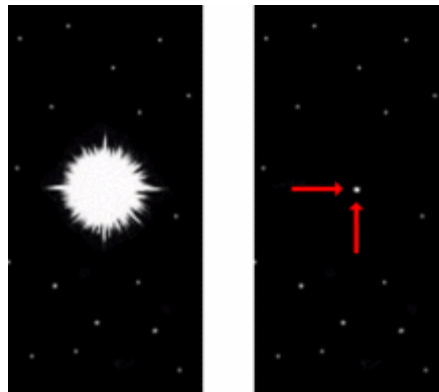
Ces déterminations de distances sont essentielles au calcul de la valeur de la **constante de Hubble**, qui mesure le rythme d'expansion de l'Univers.

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.



Pendant la
nova

Après la
nova

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Nova#/media/Fichier:Nova-ennen-ja-j%C3%A4lkeen.gif>

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.



La supernova [SN 1994D](#) (point blanc brillant en bas à gauche de l'image), dans la partie externe du disque de la [galaxie spirale NGC 4526](#) (photo datant de 1994)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Supernova>

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.

Celles de **type I** résultent aussi d'un transfert de masse entre les deux composantes d'un système binaire.

La composante réceptrice, au-delà d'un seuil de masse, s'effondre.

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.

Celles de **type I** résultent aussi d'un transfert de masse entre les deux composantes d'un système binaire.

La composante réceptrice, au-delà d'un seuil de masse, s'effondre.

Dans le **sous-type Ia**, **le spectre démontre qu'il n'y a ni hydrogène ni d'hélium**. La composante réceptrice est une naine blanche de masse plus petite que 1,4 masses solaires et composée de carbone et d'oxygène.

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.

Celles de **type I** résultent aussi d'un transfert de masse entre les deux composantes d'un système binaire.

La composante réceptrice, au-delà d'un seuil de masse, s'effondre.

Dans le **sous-type Ia**, **le spectre démontre qu'il n'y a ni hydrogène ni d'hélium**. La composante réceptrice est une naine blanche de masse plus petite que 1,4 masses solaires et composée de carbone et d'oxygène.

Leur magnitude absolue est remarquablement constante au maximum d'éclat, évaluée dans le visible à $-19,48 \pm 0.20$.

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.

Celles de **type I** résultent aussi d'un transfert de masse entre les deux composantes d'un système binaire.

La composante réceptrice, au-delà d'un seuil de masse, s'effondre.

Dans le **sous-type Ia**, le spectre démontre qu'il n'y a ni hydrogène ni d'hélium. La composante réceptrice est une naine blanche de masse plus petite que 1,4 masses solaires et composée de carbone et d'oxygène.

Leur magnitude absolue est *remarquablement constante* au maximum d'éclat, évaluée dans le visible à $-19,48 \pm 0.20$.

Pour évaluer les distances, on a recours au procédé de l'image XX, la portée atteignant au moins 10 milliards d'années lumière.

Les novae

Les **novae** (pluriel de nova = nouvelle [étoile]) sont des objets très lumineux, suite au transfert de masse entre deux composantes d'un système binaire.

L'éclat d'une nova peut augmenter d'une dizaine de magnitudes en quelques heures.

Mais une nova n'est ni strictement périodique, ni remarquable par la constance de quelque grandeur photométrique.

Les **supernova** résulte de l'explosion globale d'une étoile. Il en existe deux espèces.

Celles de **type I** résultent aussi d'un transfert de masse entre les deux composantes d'un système binaire.

La composante réceptrice, au-delà d'un seuil de masse, s'effondre.

Dans le **sous-type Ia**, le spectre démontre qu'il n'y a ni hydrogène ni d'hélium. La composante réceptrice est une naine blanche de masse plus petite que 1,4 masses solaires et composée de carbone et d'oxygène.

Leur magnitude absolue est *remarquablement constante* au maximum d'éclat, évaluée dans le visible à $-19,48 \pm 0,20$.

Pour évaluer les distances, on a recours au procédé de l'image XX, la portée atteignant au moins 10 milliards d'années lumière.

Celles de **type II** correspondent à la fin de vie normale d'une étoile de masse supérieure à 9 masses solaires, dont le coeur s'effondre sur lui-même.

Voir : https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_etalonnage-primaire/supernovae-apprendre.html

Les novae

Fond vert : utiles pour évaluer les distances

Critères à observer				Interprétation physique		Notes ou classement
H	He	Si	Coube de lumière	Thermonucléaire	Effondrement de cœur	
Non		Oui		Oui	Non	Type IA
	Oui	Non		Non	Oui	Type IB
	Non			Non	Oui	Type IC
Oui	Plus			Non	Oui	Type IIB
	Moins		Décroît linéairement	Non	Oui	Type II "normal" L
				Reste sur un plateau	Non	Oui

H : présence d'hydrogène, He : présence d'hélium, Si : présence de silicium.

Courbe de lumière : c'est la représentation de la luminosité en fonction du temps.