

# Mathématiques

## ◆ Section 3 - Trigonométrie ◆

Clément CAMPANA

Juillet 2022

### Table des matières

I	PREMIER PAS EN TRIGONOMÉTRIE	1
I.1	Construction d'un triangle	1
I.2	Fonctions trigonométriques	2
i	<i>Relation entre les longueurs des côtés d'un triangle rectangle</i>	2
ii	<i>Définition des fonctions trigonométriques élémentaires</i>	2
iii	<i>Lien entre ces trois fonctions</i>	3
II	CERCLE TRIGONOMÉTRIQUE	4
II.1	Unité d'angle reine en Trigonométrie : le radian	4
II.2	Cercle trigonométrique	4
II.3	Lien avec les fonctions trigonométriques	5
II.4	Arithmétique modulaire	6
II.5	Mesure principale	6
III	PROPRIÉTÉ DES FONCTIONS SIN / COS / TAN	6
III.1	Valeurs remarquables	6
III.2	Propriétés de ces fonctions	6
III.3	Représentation graphique	6
III.4	Étude de fonction (Variation, ...)	6
IV	FONCTIONS INVERSES ARCSIN / ARCCOS / ARCTAN	6
IV.1	Propriétés de ces fonctions	6
IV.2	Représentation graphique	6
V	FORMULES TRIGONOMÉTRIQUES	6
VI	LECTURE DE LA TABLE	6
VII	ANNEXE	6

# I Premier pas en Trigonométrie

La Trigonométrie est, comme son nom l'indique, une discipline mathématique qui a comme objectif de "mesurer" les triangles.

Plus clairement, son but est de pouvoir déduire l'ensemble des informations disponibles dans un triangle à partir du minimum d'information sur ce triangle. Comme vu dans la Section 2, un triangle est un polygone à 3 côtés, et la somme des 3 angles d'un triangle vaut  $180^\circ$ ,  $\pi$  rad ou  $200$  gr.

En général, en Trigonométrie, on se focalise principalement sur les *triangles rectangles*, puis on généralise les théorèmes que nous avons démontré à tous les triangles.

## I.1 Construction d'un triangle

Les triangles ont une particularité les différenciant des autres polygones :

**En connaissant la longueur de 3 côtés d'un triangle, il est possible de parfaitement construire ce triangle.**

Dans les autres polygones, cette condition n'est pas suffisante pour le construire<sup>1</sup>.

Pour tracer un triangle à l'aide de *trois longueurs*, il faut tracer un segment mesurant une des trois longueurs choisies, puis tracer deux cercle ayant comme centre les extrémités du segment et comme rayons les deux autres longueurs voulues pour le triangle. Les cercles se croisent en deux points, avec lesquelles on peut construire deux triangles symétriques.

Mais l'on peut aussi remplacer un des cercles ou les deux cercles par une ou des demi-droites, ayant un angle interne d'une valeur choisie. Cette demi-droite et le cercle ou ces deux demi-droites vont se croiser en un point, le troisième sommet du triangle.

Voici un tableau récapitulatif des différentes possibilités de construction d'un triangle, en fonction du nombre d'informations connues sur celui-ci :

	Aucune longueur	1 longueur	2 longueurs	3 longueurs
Aucun angle	Inconstructible	Inconstructible	Inconstructible	Constructible
1 angle	Inconstructible	Inconstructible	Constructible	Constructible
2 ou 3 angles <sup>2</sup>	Triangles semblables <sup>3</sup>	Constructible	Constructible	Constructible

Nous pouvons en conclure qu'un triangle en particulier, est traçable à l'aide d'une longueur et de deux autres mesures (des angles ou des longueurs).



Triangle construit avec 3 longueurs



Triangle construit avec 1 longueur et 2 angles

Cette propriété unique aux triangles, nous sera très utile par la suite.

1. Par exemple, si l'on prend un quadrilatère donné, où l'on a fixé la longueur de 4 côtés, il est possible de "l'écraser" afin d'obtenir un autre quadrilatère ayant les mêmes longueurs de côtés. En revanche, les angles formés par les côtés de ce quadrilatère ne seront pas les mêmes que ceux du quadrilatère de départ.

Ainsi, à partir d'un losange, il est possible de créer un carré, en fonction des angles choisis entre les côtés.

Pour la même raison, les polygones ayant plus de côtés ne sont pas constructibles en connaissant uniquement les longueurs de leurs côtés.

2. En connaissant deux angles d'un triangle, il est possible de déduire le troisième, car la somme des trois angles d'un triangle correspond à un angle plat.

3. Avec deux ou trois angles, il n'est pas possible de construire un triangle en particulier, mais seulement une collection de triangles semblables entre-eux.

## I.2 Fonctions trigonométriques

### i Relation entre les longueurs des côtés d'un triangle rectangle

Prenons un triangle rectangle, dont (par définition) nous connaissons un des angles, son angle droit (qui vaut  $90^\circ$ ,  $\frac{\pi}{2}$  rad ou  $100$  gr).

Prenons un autre de ces angles, que nous appellerons  $\alpha$ .

Nous connaissons ainsi deux angle, l'angle droit et l'angle  $\alpha$ . Comme nous savons que la somme des trois angles du triangle vaut un angle plat, nous pouvons déduire la mesure du dernier angle. Notre troisième angle (que nous nommerons  $\beta$ ) vaut en degré :  $\beta = 180^\circ - (90^\circ + \alpha) = 90^\circ - \alpha$

Maintenant, nous avons obtenues les mesures des trois angles du triangle. Comme vu plus précédemment dans le tableau, avec uniquement 3 angles, il est possible de construire une collection de **triangles tous semblables entre-eux**.

Afin d'être plus clair, nommons les côtés de notre triangle  $a$ ,  $b$  et  $c$ , en fonction de leur taille. Le côté  $a$  sera le plus court, le côté intermédiaire sera le  $b$  et le plus long sera le  $c$ .

Prenons deux de triangles de cette collection, le triangle 1 et le triangle 2. Leurs côtés mesures  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  et  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ . Comme ces triangles sont semblables, leurs côtés sont proportionnels entre-eux, ce qui signifie que  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2}$ .

Cette propriété implique que, les rapports entre les côtés dans un triangle vont être égaux à ceux des mêmes côtés dans un autre triangle semblable au premier.

Mathématiquement, cela signifie que, pour les côtés  $a$  et  $b$  de deux triangles semblables, on a  $\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2}$ .

Démontrons cette propriété :  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} \iff a_1 \times b_2 = a_2 \times b_1 \iff \frac{a_1 \times b_2}{b_1} = a_2 \iff \frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2}$

Les démonstrations des relations entre les autres côtés sont analogues.

Cela signifie que les **rapports entre les longueurs** des côtés dans triangle, ne dépend que des mesures des angles.

De plus, comme nous sommes dans un triangle rectangle, tous les angles du triangle sont soit fixé à l'avance (l'angle droit), ou ne dépendent que de la mesure de l'angle  $\alpha$ .

Et enfin, nous pouvons en conclure que les rapports entre tous les côtés d'un triangle rectangle, ne dépendent que de la mesure de l'angle  $\alpha$ .

### ii Définition des fonctions trigonométriques élémentaires

Comme montré plus tôt, les rapports en chaque côté d'un triangle rectangle, ne dépendent que de l'angle  $\alpha$  (défini comme étant un autre angle que l'angle droit).

En revanche, ce rapport entre longueurs n'est pas simplement constant, il varie de manière complexe en fonction de l'angle  $\alpha$ .

Pour prendre en compte ces variations, et donc pouvoir obtenir une relation chiffrée, les mathématiciens ont construits un grand arsenal de fonctions trigonométriques<sup>2</sup>.

Les fonctions trigonométriques les plus utiles sont :

- La fonction sinus, notée  $\sin$ .
- La fonction cosinus, notée  $\cos$ .
- La fonction tangente, notée  $\tan$ .

Dans ces relations, on utilise :

- L'angle  $\alpha$ , définit précédemment.
- La cathète opposée à l'angle  $\alpha$  (noté  $O$  et généralement appelée "côté opposé").
- La cathète adjacente à l'angle  $\alpha$  (noté  $A$  et généralement appelée "côté adjacent").
- L'hypoténuse du triangle (noté  $H$ ).

---

2. Une grande partie des fonctions trigonométriques créées sont rarement utiles, pour en savoir plus sur ces fonctions délaissées, rendez-vous en Annexe, à la page 6.

Voici les relations en questions, qui sont les définitions respectives de la fonction sinus, cosinus et tangente :

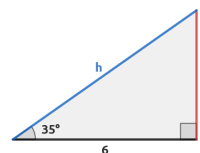
Fonction	Définition	Résumé
<b>Sinus</b>	$\sin(\alpha) = \frac{\text{Cathète Opposée}}{\text{Hypoténuse}}$	$\sin(\alpha) = \frac{O}{H} \Rightarrow S = O / H$ <i>SOH</i>
<b>Cosinus</b>	$\cos(\alpha) = \frac{\text{Cathète Adjacente}}{\text{Hypoténuse}}$	$\cos(\alpha) = \frac{A}{H} \Rightarrow C = A / H$ <i>CAH</i>
<b>Tangente</b>	$\tan(\alpha) = \frac{\text{Cathète Opposée}}{\text{Cathète Adjacente}}$	$\tan(\alpha) = \frac{O}{A} \Rightarrow T = O / A$ <i>TOA</i>

Un bon moyen mnémotechnique pour retenir ces définitions, est l'expression "*Casse-toi !*". On peut l'obtenir en utilisant les résumés des définitions à droite, réarrangeant les définitions, en mettant celle du cosinus en premier. Ainsi, on obtient "*CAH, SOH, TOA*".

A l'aide de ces relations, il est possible de connaître toutes les longueurs de tous les côtés d'un triangle rectangle à l'aide uniquement de la mesure d'un de ses angles et d'une longueur d'un des côtés.

Exemple :

$$\begin{array}{l|l|l|l}
 CAH & C = A / H & \cos(35^\circ) = \frac{6}{h} & h = \frac{6}{\cos(35^\circ)} \approx 7,32 \\
 TOA & T = O / A & \tan(35^\circ) = \frac{x}{6} & x = 6 \times \tan(35^\circ) \approx 4,20
 \end{array}$$



### iii Lien entre ces trois fonctions

De plus, il est possible d'établir un lien entre ces trois fonctions :

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

Pour démontrer cette relation, on peut utiliser la définition de la tangente, puis remplacer les longueurs des côtés à l'aide des définitions des fonctions sinus et cosinus :

$$\begin{aligned}
 \text{Cathète Opposée} &= \sin(\alpha) \times \text{Hypoténuse} \\
 \text{Cathète Adjacente} &= \cos(\alpha) \times \text{Hypoténuse}
 \end{aligned}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Cathète Opposée}}{\text{Cathète Adjacente}} = \frac{\sin(\alpha) \times \text{Hypoténuse}}{\cos(\alpha) \times \text{Hypoténuse}} = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

## II Cercle trigonométrique

### II.1 Unité d'angle reine en Trigonométrie : le radian

Comme présenté dans la Section 2, il existe plusieurs unités d'angle différentes.

L'unité la plus utilisée est le degré, mais cette dernière n'est pas la plus adaptée en mathématique, en particulier en Trigonométrie, où l'on préfère utiliser le radian.

Pour en savoir plus sur les définitions des unités d'angle, rendez-vous dans la Section 2, dans la partie consacrée aux Angles.

#### Rappel de la définition du radian

Pour un angle donné, la mesure en radians de cet angle est égale à la longueur de l'arc de cercle intercepté par cet angle, sur un cercle de rayon 1.

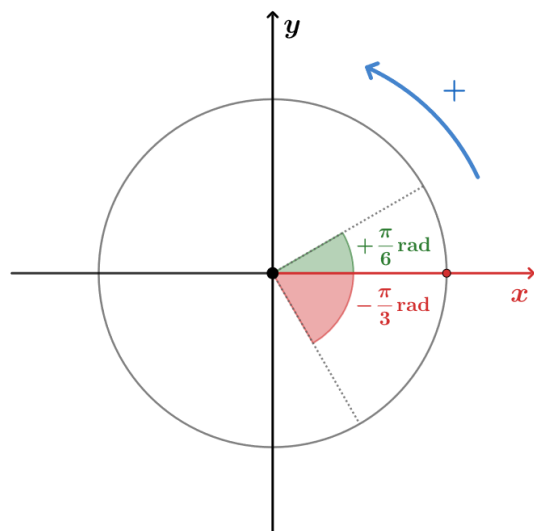
Ainsi, le radian est l'unité étant la plus cohérente mathématiquement, car elle est basée sur la longueur de l'arc de cercle formé. Cette cohérence a donné à cette unité un statut privilégié<sup>3</sup> en mathématique, en particulier en Trigonométrie.

Cependant, le périmètre d'un cercle étant égal à  $2\pi$ , on retrouve la constante  $\pi$  un peu partout dans les mesures d'angles usuels. Cette constante rend l'utilisation de cette constante peu intuitive, ce qui explique certainement pourquoi cette unité, mathématiquement meilleure que le degré, ne s'est pas imposée au plus grand nombre comme remplaçante de cette vieille unité.

Et c'est pour cette raison que, par défaut, c'est cette unité qui sera utilisée à partir de maintenant.

### II.2 Cercle trigonométrique

Pour représenter des angles et bien comprendre leur lien avec les fonctions trigonométriques, on utilise généralement le cercle trigonométrique. Ce cercle est centré autour de l'origine du repère et à un rayon égal à 1 :



Les angles représentés sur ce cercle sont orientés, c'est-à-dire qu'ils démarrent à partir d'une ligne et qu'il se terminent sur une autre ligne.

Leur orientation est indiquée par la flèche en haut à droite du cercle, ce sens, inverse au sens dans lequel tournent les aiguilles d'une montre, est appelé sens trigonométrique<sup>4</sup> (ou sens antihoraire). Comme ces angles sont orientés, ils peuvent être **positifs** ou **négatifs**. Ainsi l'angle vert est positif et le rouge est négatif.

Tous les angles représentables sur le cercle partent de l'axe des abscisses positives, représenté en rouge. Ainsi, les angles sont mesurés en partant de cette ligne de départ et en finissant sur un rayon du cercle.

Et donc, en tournant autour du cercle, on retrouve ainsi n'importe quelle angle possible.

3. Au premier abord, le statut privilégié du radian ne semble pas solidement justifié. C'est à dire que, mis à part la *beauté mathématique* de la définition du radian par rapport au degré, pourquoi cette unité est-elle préférée à une autre? Cette préférence provient de certaines propriétés mathématiques qui ne sont vraies que si l'unité d'angle est le radian. En particulier, lorsque l'on dérive ou intègre une fonction trigonométrique ou encore lorsque l'on utilise un développement limité de cette fonction trigonométrique.

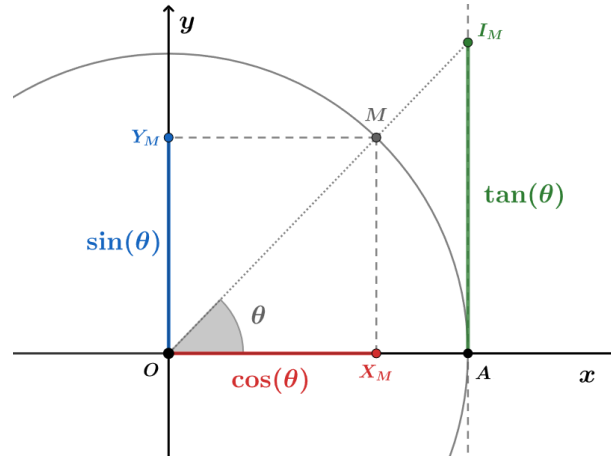
Dans ces cas, l'angle peut se retrouver en facteur, position où seule la mesure en radians d'un angle a un sens.

4. Le sens trigonométrique est une convention, qui a été choisie car elle correspond au sens de rotation de la Terre autour de son axe de rotation, si l'on observe la Terre en se centrant sur le pôle Nord.

Ce choix a été fait car ce sens de rotation était étudié, en particulier en Europe, dans l'hémisphère Nord.

## II.3 Lien avec les fonctions trigonométriques

Sur le cercle trigonométrique, il est possible de retrouver simplement le sinus et le cosinus d'un angle représenté sur le cercle. Appelons cet angle  $\theta$ ,  $O$  le centre du cercle, et  $M$  le point d'intersection du rayon terminant l'angle avec le cercle. Il est possible de construire un triangle rectangle  $OMX_M$  ayant pour hypoténuse le rayon du cercle.



Ainsi, à l'aide des définitions des fonctions sinus et cosinus, il est facile de calculer les longueurs des côtés de ce triangle :

$$\text{Cathète Adjacente} = \cos(\theta) \times \text{Hypoténuse} \implies \text{Longueur de } [OX_M] = \cos(\theta) \times 1$$

$$\text{Cathète Opposée} = \sin(\theta) \times \text{Hypoténuse} \implies \text{Longueur de } [MX_M] = \sin(\theta) \times 1$$

De plus, il est possible de tracer un second triangle rectangle  $OMY_M$  ayant pour hypoténuse le rayon du cercle. Les longueurs des côtés de ce nouveau triangle sont les mêmes que celles du triangle  $OMX_M$ .

Ainsi on peut en conclure que, les coordonnées du point  $M$  sont  $(\cos(\theta), \sin(\theta))$ . Réciproquement, pour chaque point du cercle, il est possible d'obtenir le sinus et le cosinus de l'angle correspondant, en projetant ce point sur l'axe des abscisses et sur celui des ordonnées.<sup>5</sup>

De plus, on peut aussi retrouver graphiquement la tangente :

- Prenez la droite tangente (géométriquement) au cercle, étant perpendiculaire à l'axe des abscisses positives (elle passe ainsi par  $A$ ).
- Prolongez le rayon terminant l'angle  $\theta$ . Cette demi-droite coupe la tangente géométrique en un point  $I_M$ .
- À l'aide du théorème de THALÈS, on peut aisément prouver que la longueur de  $[AI_M] = \tan(\theta)$ .

### Démonstration

Nous savons que  $OA = 1$ , que  $OX_M = \cos(\theta)$  et que  $X_MM = \sin(\theta)$ . De plus, nous pouvons remarquer que les triangles  $OMX_M$  et  $OI_MA$  sont semblables, car ils sont équiangles.

Grâce à cette propriété, nous pouvons utiliser le théorème de THALÈS, nous indiquant que  $\frac{OX_M}{OA} = \frac{X_MM}{AI_M}$ . En réarrangeant cette équation, on obtient :

$$AI_M = \frac{X_MM \times OA}{OX_M} = \frac{\sin(\theta) \times 1}{\cos(\theta)} = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)}$$

Et comme présenté précédemment (à la page n°3), il existe un lien entre les trois fonctions trigonométriques élémentaires, à l'aide de ce lien, on démontre enfin que :

$$AI_M = \tan(\theta)$$

5. J'ai trouvé un moyen mnémotechnique pour retenir quel axe est celui où l'on retrouve le sinus de l'angle.

L'abréviation de sinus c'est sin, ce qui correspond au début du mot "singe", les singes montent dans les arbres, alors l'axe des sinus est l'axe verticale de notre repère.

## II.4 Arithmétique modulaire

L'arithmétique modulaire est une branche de l'arithmétique étudiant le reste dans la division euclidienne d'un nombre, en fonction d'un autre, qu'on appellera module.

L'étude se fait uniquement sur les restes de cette division euclidienne, ainsi les valeurs étudiées pouvant

## II.5 Mesure principale

## III Propriété des fonctions $\sin$ / $\cos$ / $\tan$

### III.1 Valeurs remarquables

Annexe autres valeurs remarquables

### III.2 Propriétés de ces fonctions

### III.3 Représentation graphique

### III.4 Étude de fonction (Variation, ...)

## IV Fonctions inverses $\arcsin$ / $\arccos$ / $\arctan$

### IV.1 Propriétés de ces fonctions

### IV.2 Représentation graphique

## V Formules trigonométriques

[normalesup.org/dconduche/prepas/PT/cours/ChapitreFicheTrigo.pdf](https://normalesup.org/dconduche/prepas/PT/cours/ChapitreFicheTrigo.pdf)

## VI Lecture de la table

## VII Annexe

### Fonctions trigonométriques chelous

Fonctions trigonométriques chelous selon Github copilot :

- La fonction sinus, notée  $\sin$ .
- La fonction cosinus, notée  $\cos$ .
- La fonction tangente, notée  $\tan$ .
- La fonction cotangente, notée  $\cot$ .
- La fonction sécante, notée  $\sec$ .
- La fonction cosécante, notée  $\csc$ .
- La fonction exsecante, notée  $\operatorname{exsec}$ .
- La fonction excosécante, notée  $\operatorname{excsc}$ .
- La fonction versine, notée  $\operatorname{vers}$ .
- La fonction coversine, notée  $\operatorname{covers}$ .
- La fonction haversine, notée  $\operatorname{havers}$ .
- La fonction hacoversine, notée  $\operatorname{hacovers}$ .
- La fonction exverse, notée  $\operatorname{exvers}$ .
- La fonction excovers, notée  $\operatorname{excovers}$ .
- La fonction vercosine, notée  $\operatorname{vercos}$ .
- La fonction coverscosine, notée  $\operatorname{coverscos}$ .
- La fonction havercosine, notée  $\operatorname{havercos}$ .
- La fonction hacoverscosine, notée  $\operatorname{hacoverscos}$ .
- La fonction exvercosine, notée  $\operatorname{exvercos}$ .

- La fonction excovercosine, notée excovercos.
- La fonction exsecant, notée exsec.
- La fonction excosecant, notée excsc.
- La fonction exsecant, notée exsec.