

Les unités d'angles

Plaidoyer pour l'usage du système décimal à la place du système sexagésimal

Jean-Paul YONNET

F1LVT@yahoo.fr

www.F1LVT.com

Les ADRASEC utilisent en même temps plusieurs systèmes de positionnement : les « degrés – minutes – secondes », les « degrés décimaux » et les « UTM ». Ceci conduit régulièrement soit à des erreurs de conversion de position, soit bien pire à des erreurs graves liées à des incompréhensions du système utilisé.

Il existe plusieurs systèmes d'unités pour les angles. Les comités de normalisation travaillent beaucoup sur le sujet de ces unités angulaires dans le cadre du Système International SI, autrefois appelé MKSA.

Après avoir fait quelques rappels sur les unités angulaires, nous allons voir quelles recommandations peuvent être avancées.

Les différents systèmes d'unités angulaires

Nous nous limiterons aux **angles plans**, c'est-à-dire ceux qu'on peut dessiner sur une feuille de papier. Nous ne parlerons pas des angles en 3D, appelés angles solides dont l'unité de base est le stéradian.

Ces angles plans, peuvent être exprimés avec différents systèmes d'unités :

- en degrés sexagésimaux,
- en degrés – minutes – secondes décimales,
- en degrés – minutes décimales,
- en degrés décimaux,
- en grades ou en gons,
- en radians,
- en tours, en révolution,

-- et même en unités plus exotiques comme le millième d'artillerie, l'« angular mil », ou le « military mil » dans le système anglo-saxon ...

Le système sexagésimal

Dans le système sexagésimal, on compte en base 60. Chaque unité est divisée en 60 sous-multiples.

L'origine du système est très ancienne. Les assyriens et les babyloniens ont inventé la base 60. Ce système perdure encore de nos jours dans deux domaines : pour le temps (heure - minutes - secondes) et pour les angles.

Il y a plusieurs millénaires, on comptait sur ses doigts. Sur une main, en montrant avec le pouce les phalanges des autres doigts de la même main (4 autres doigts à 3 phalanges), on peut compter et montrer un nombre jusqu'à 12. Avec les doigts de l'autre main, on peut compter les douzaines jusqu'à 5. Avec les 2 mains, cela fait bien 60.

Un des intérêts du système sexagésimal, c'est que 60 est divisible par de nombreux nombres entiers (2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30) ce qui facilite la division des unités.

Pour les sous-multiples, chaque unité est divisée à son tour en 60. Le premier sous-multiple est « la minute », noté avec une apostrophe « ' ». Le second sous-multiple « la seconde » est notée avec une double apostrophe « '' ». Le troisième sous-multiple « la tierce » est notée « ''' ». Le quatrième sous-multiple est « la quarte », notée « '''' », et ainsi de suite ...

En **degrés sexagésimaux**, un angle (voir exemple en annexe I) est noté :

44° 02' 02'' 08''' 13'''' 55''''' 12''''''

De ce système ancien, nous n'avons conservé de nos jours qu'une partie, avec seulement les degrés - minutes - secondes. Ensuite on utilise les fractions de secondes, c'est à dire les secondes décimales. Nous n'utilisons plus les tierces, les quartes, les quintes et la suite. Pour l'exemple précédent, « 02'' 08''' 13'''' 55''''' 12'''''' » est remplacé par « 02,1372'' ». Ce n'est donc pas le vrai sexagésimal que nous utilisons mais un système bâtard « sexagésimal avec secondes décimales », appelé **degrés – minutes – secondes décimales**.

Il existe aussi le système **degrés – minutes décimales**. Ce n'est pas très courant mais c'est pourtant le format des trames émises par les GPS. La norme NMEA 0183 (National Marine Electronics Association) a été faite par des marins étatsuniens qui s'accrochent à leurs minutes d'angles (définition du mille marin).

Et pourquoi l'angle droit fait 90 degrés et non les 60 degrés de la base sexagésimale ? En fait la référence à l'angle droit est plus récente. Il semble que la figure de référence des inventeurs du système sexagésimal était le triangle équilatéral, figure parfaite à trois angles identiques. Et cet angle parfait a été divisé en 60 degrés. Le cercle est obtenu avec 6 angles à 60°, donnant la valeur classique de 360 degrés pour le tour complet du cercle.

De nos jours, le système sexagésimal n'existe encore que pour la mesure du temps et des angles. Le temps est en « heures – minutes – secondes », et les angles sont alors en « degrés - minutes – secondes ».

Le système décimal

Au moment de la Révolution Française, les systèmes d'unités étaient très variés et sans aucune harmonisation. Les scientifiques ont beaucoup travaillé pour construire un nouveau système cohérent, qui est le seul utilisé de nos jours. Le quart du méridien terrestre a été mesuré, divisé en 10 000 000 pour donner le mètre étalon, toujours conservé au Pavillon de Breteuil, même si la définition du mètre a beaucoup évolué.

L'angle droit a été divisé en 100 **grades**, avec les multiples et sous-multiples classiques du système décimal. Le tour complet du cercle fait donc 400 grades.

Même si c'est passé complètement inaperçu, l'abréviation « gr » pour le grade a disparu aujourd'hui. Elle a été remplacée par le **gon** [1]. L'angle droit est divisé en 100 gon et le cercle en 400 gon. Si vous n'avez pas suivi, ce n'est pas grave car très peu de personnes utilisent encore les grades et le gon. Pourtant 1 gon correspond à 100 m sur le terrain et 0,01 gon à 1 m, ce qui rend très simple le positionnement sur le terrain avec ces unités.

L'usage le plus répandu est celui du degré. A vrai dire diviser l'angle droit en 100 gon ou bien en degrés (90°) ne change pas beaucoup le problème de base. Le degré possède au moins l'avantage de faire des chiffres ronds pour les angles simples comme les angles à 60° d'un triangle équilatéral.

Le principal intérêt du système décimal, c'est la facilité d'écriture et de calcul. C'est le calcul décimal que nous utilisons en permanence avec ses 4 opérations de base : l'addition, la soustraction, la multiplication, et de division.

L'exemple précédent « 44° 02' 02" 08''' 13'''' 55''''' 12'''''' » s'écrit en décimal « 44.033927 ». Les 14 chiffres en sexagésimal n'en font plus que 8 en décimal pour rigoureusement la même précision. C'est nettement plus court.

Ce qui suit la virgule, c'est la fraction de degrés. C'est ce qu'on appelle les **degrés décimaux**. La précision est donnée par le nombre de chiffres après la virgule.

Les degrés décimaux sont quelquefois notés « dd.dddd ». Les degrés sexagésimaux sont représentés par « ddmms.ss »

Les opérations les plus simples sont l'addition et la soustraction. Essayez de soustraire deux angles en sexagésimal avec les retenues en base 60, et faites la même opération avec les mêmes angles en degrés décimaux. Et vous comprendrez très vite l'intérêt pratique du système décimal.

Les radians

L'angle correspondant à la longueur du périmètre d'un cercle égale à son rayon est un **radian**, noté en « rd ». Cela fait environ 57,3°. Le cercle complet fait 2π radians. Quand on fait du calcul mathématique, les angles sont toujours exprimés en radians. Les mathématiciens le savent, mais pour le grand public c'est une unité très difficile à utiliser.

Les autres unités d'angles

Certaines communautés continuent d'utiliser des unités particulières.

Par exemple en astronomie on utilise la **seconde d'arc** comme unité de base, avec ses sous multiples comme la milliseconde d'arc (ou milliarcseconde), voire micro-, ou nanoseconde d'arc (symbole « as », « mas », « μas », « nas »).

Chez les artilleurs, on utilise le **millième**. C'est l'angle sous lequel on voit un mètre à un kilomètre. Cela correspond au millième de radian, ce qui donne 6283,18 millièmes par tour de 360°. Il existe une autre définition du millième avec 6400 millièmes par tour, pour faire un compte rond plus facilement divisible. Les anglo-saxons utilisent les unités « angular mil » et « military mil ».

Et même quand on utilise des tours par minute pour donner la vitesse de rotation d'un moteur, le **tour** est bien une unité angulaire, avec 1 tour = 360°. Les vitesses de rotation en « rpm » correspondent à des « révolutions par minute ».

Et les UTM

Les UTM sont un système de projection sur la surface de la Terre. Les coordonnées UTM correspondent à des longueurs : distance à un méridien et distance à l'équateur, dans le système métrique. Les UTM ne sont pas des mesures d'angles mais de distances.

Pourquoi le système sexagésimal perdure de nos jours

C'est pour plusieurs raisons liées en grande partie aux habitudes.

Pour la mesure du temps, au moment de la Révolution, il a été proposé de diviser la journée en 10 heures et chaque heure en 100 minutes de 100 secondes. Cela n'a jamais été utilisé et tout a disparu très vite.

Dans certains pays comme aux Etats-Unis, les unités en dehors du système métrique continuent d'être très largement utilisées. Cela a même conduit à des problèmes importants pour des engins spatiaux américains. Seuls trois pays dans le monde n'avaient pas encore officiellement adopté le Système International en 2008 : les États-Unis, le Libéria et la Birmanie !

Dans certaines communautés on conserve ses propres unités par habitude et par l'importance de certains marchés.

Dans le domaine de l'aéronautique, l'altitude (distance verticale) est en « pied » noté « ft », et la distance horizontale en milles nautiques notés « NM ». Les aviateurs vont vraiment très loin : ils n'utilisent pas la même unité de longueur dans le sens vertical (le pied), et dans le sens horizontal (le mille). La vitesse horizontale est en « nœuds » notés « kt », c'est-à-dire en mille par heure. Les caps angulaires sont exprimés en « degrés – minutes – secondes ».

Dans le domaine de la marine, les distances sont en milles marins. Le mille marin représente la distance parcourue à la surface de la Terre quand on décrit un angle de 1 minute d'arc sur un grand cercle. La valeur d'un mille marin international a été fixée à 1 852 m par convention.

Mais l'utilisation de ces unités n'est qu'un combat d'arrière-garde. Exactement comme toutes les vieilles unités royales (avant la Révolution Française) ont été remplacées par le système métrique décimal, les usages dans les communautés particulières feront petit à petit place au Système International. Des pays comme la Royaume-Uni viennent petit à petit au système SI. Dans les publications scientifiques, les unités hors Système International (SI) ne sont autorisées que si la correspondance en SI est associée. Le système métrique décimal gagne régulièrement du terrain.

Dans l'enseignement, le système sexagésimal est expliqué car c'est un bon exemple pour montrer qu'on peut compter dans une autre base que la base 10, c'est-à-dire en base 60. Cependant les explications sur les angles en degrés décimaux ne sont pas assez développées, et beaucoup d'élèves ne gardent en tête que le système sexagésimal pour les angles ...

Quel système choisir ?

Les problèmes de conversions sont permanents. Entre les UTM et les angles, il faudra toujours convertir car les UTM ne sont pas des angles mais des distances. Pour les angles, mettons de côté les grades, les gons et les radians, ainsi que les « degrés – minutes décimales » du GPS. Il reste les deux systèmes principaux : les « degrés décimaux » et les « degrés – minutes – secondes décimales » du système sexagésimal.

-- degrés décimaux	44.033927°
-- degrés – minutes – secondes décimales	44° 02' 02,1372"

Tout d'abord, il faut savoir que les 2 systèmes sont admis dans le Système International, mais que **les normes recommandent les degrés décimaux**. Ce qui pose problème, c'est la cohabitation des 2 systèmes.

Le fait de garder les deux systèmes conduit à faire les conversions, ce qui augmente les risques d'erreurs. Et surtout, l'interprétation dans un système d'un angle donné dans l'autre système conduit à des anomalies qui peuvent être très préjudiciables. Le fait d'interpréter « 44.033927° » (en degrés décimaux) comme « 44° 03' 39,27" » (en degrés sexagésimaux) conduit à une grave erreur qui peut avoir des conséquences importantes quand il faut situer un point sur le terrain. Malheureusement ce type de problème se rencontre régulièrement, et des erreurs graves se sont encore produites récemment.

La première chose qui devrait être faite, c'est de **donner systématiquement le système d'unités** quand on donne une valeur d'angle, c'est-à-dire si on parle en « degrés décimaux » ou en « degrés – minutes - secondes ».

Mais il serait beaucoup efficace de **choisir définitivement entre les deux systèmes** et de ne travailler que dans ce système. Il faut utiliser le système le plus facile à utiliser et le mieux adapté aux développements modernes. Pour cela les « **degrés décimaux** » sont nettement préférables aux « degrés – minutes - secondes ».

-- Tout d'abord les degrés décimaux sont recommandés par les normes : « *la norme ISO 31 recommande que le degré soit subdivisé de manière décimale plutôt qu'en utilisant la minute et la seconde* » [2].

-- Les calculs sont beaucoup plus faciles à faire avec les degrés décimaux.

-- Pour une même précision de positionnement, le nombre de chiffres est plus court, et la position est plus facile à interpréter. Un degré de latitude Nord sur la Terre c'est 111 km ; après la virgule le premier chiffre donne un incrément de 11,1 km, le second de 1,11 km, etc. Avec 5 chiffres après la virgule, on a la précision du mètre.

En pratique le système sexagésimal ne perdure qu'à cause des habitudes (qui sont très longues à faire évoluer) et de certaines communautés comme le domaine de la navigation.

Dans beaucoup de domaines scientifiques, on n'utilise plus que les degrés décimaux et les radians. Un exemple chez les radioamateurs, les logiciels qui décodent les ballons sondes comme SondeMonitor donnent la position en degrés décimaux.

Le problème s'est posé lors de la conception décodeurs de trames 406. Nous avons choisi d'afficher la position en **degrés décimaux** (pour respecter les normes) avec 4 chiffres après la virgule. Quant à la balise, la position GPS dans la trame est encodée au pas de 4 secondes d'arc ce qui donne une précision de position de l'ordre de 100 m. Il n'y a donc que 3 chiffres réellement significatifs après la virgule dans la position affichée par le décodeur.

Et pour les ADRASEC

Pour éviter toute confusion et limiter les erreurs, il faudrait définir le système décimal avec ses **degrés décimaux** comme le seul et unique système à utiliser. Il faudrait bannir les degrés - minutes - secondes. Toutes les équipes sur le terrain ne devraient travailler qu'en degrés décimaux.

Au PC, le problème est un peu différent. Son rôle est de piloter les équipes sur le terrain et de faire l'interface avec le RCC et les autorités. Si le RCC transmet des informations au PC, c'est au PC de s'assurer du système d'unités utilisées par le RCC, et de les retransmettre en degrés décimaux pour le terrain. Le personnel du RCC provient de l'Armée de l'Air et il travaille souvent avec les unités utilisées en aéronautique.

Quant au FMCC (COSPAS SARSAT), les positions mesurées par les satellites sont en degrés décimaux.

Le système sexagésimal est un héritage ancien qui ne correspond plus à la culture scientifique moderne. La seule unité d'angle qui existe en physique est le radian ; mais comme celui-ci est difficile à utiliser, l'utilisation du degré comme unité d'angle est nettement plus simple dans la vie courante. Pour les sous-multiples du degré, nous venons de voir qu'il est de très loin préférable d'utiliser **degrés décimaux** et les fractions de degré plutôt que le système sexagésimal.

Référence

[1] L'abréviation du grade est « gon » et non « gr » (Décret n°2003-165 du 27 février 2003)

[2] Le Système International d'unités SI, Bureau International des Poids et Mesures, 8^{ième} édition, 2006

Annexe I

Exemple de conversion entre les systèmes.

La position choisie est celle du Salon des Radioamateurs de Monteux, fournie par les organisateurs en degrés décimaux. Les conversions en sexagésimal sont rigoureuses, celles en grades et en radians sont arrondies avec le même nombre de chiffres significatifs que les degrés décimaux pour avoir la même précision.

Position en degrés décimaux

44.033927° N 04.990909° E

Position en degrés – minutes décimales :

44° 02,03562' N 04° 59,45454' E

Position en degrés – minutes – secondes décimales :

44° 02' 02,1372" N 04° 59' 27,2724" E

Position en degrés sexagésimaux

44° 02' 02" 08"" 13"" 55"" 12"" 04° 59' 27" 16"" 20"" 38"" 24""

Position en grades (arrondie au 6^{ième} chiffre significatif après la virgule) :

48,926586 gon N 5,545454 gon E

Position en radians (arrondie au 6^{ième} chiffre significatif après la virgule) :

0,76853636 rd N 0,08710772 rd E