UE4 - METROLOGIE 2012-2013

I - Introduction

I.1 - Définition

•C'est la **science de la mesure** :
- les appareils
- méthodes ou techniques qui utilisent des appareils

•Elle est **utilisée au quotidien** pour :
- des évaluations
- des appréciations
- des comptages

et **donne des valeurs** à une "chose", on entre ainsi dans le domaine de la **métrologie**.

•C'est un **langage social universel** utile :
- dans le commerce
- dans l'industrie
- dans l'économie

En fait, on utilise **la métrologie dans tous les domaines**.

•C'est une **science évolutive,** science de règles et de conventions qui vont être adoptées.

I.2 - Elaboration des normes

Elle se fait en fonction des avancées technologiques. ***Exemple*** **:** le **mètre** et **le kilogramme**

1791 - ***définition par rapport au méridien terrestre*** :
1799 - "***mètre des archives***" déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres
1889 - "***mètre étalon***" déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres

1960 - référence atomique : le mètre est la longueur égale à 1650763,73 longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $3p^{10}$ et $4p^{6}$ de l'atome de krypton 86.

1983 - référence adoptée : à cause de la très grande précision de l'unité du temps (10^{-14}), le mètre est défini à partir de la vitesse c_0 de la lumière dans le vide ($c_0 = \lambda.\nu_0$). Par cette définition, le mètre (**m**) est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299792458 s

Définition du kilogramme (**1901**) : le ***kilogramme*** **(kg)** est la masse du prototype déposé au bureau international des poids et des mesures.

I.3 - Instances internationales des poids et mesures

Deux groupes compétents qui se réunissent suivant les besoins :

•**BIPM** : Bureau International des Poids et Mesures

•**CGPM** : Conférences Générales des Poids et Mesures

I.4 - Le système français de normalisation

•Association Française de NORmalisation **AFNOR**

•Bureau National de Métrologie **BNM**

II - Grandeur et mesure

II.1 - Grandeur

Définition : une grandeur est une **caractéristique physique**, **chimique ou biologique** qui est **mesurée ou repérée**. Celle-ci peut être de **nature scalaire ou vectorielle**.

Elle est définie par :

•une ***propriété*** : masse, longueur, ...

•une ***qualité*** : +/- visqueuse, capacité thermique, ...

•une ***intensité d'un phénomène*** : lumineuse, sonore, ...

II.2 - Mesurage et mesure

•**Mesure d'une grandeur** (**G**) ou **résultat du mesurage** : le passage de la notion de ***rapport*** à la notion de ***mesure*** s'effectue par la définition de la ***grandeur unité***. La ***mesure*** d'une ***grandeur (G)*** est le nombre ***g*** qui exprime le rapport de cette grandeur à la grandeur ***(G₀)*** de même espèce pris comme ***unité*** -> **g =** $\frac{(G)}{(G_0)}$

•**Mesurage** : action qui permet d'obtenir la valeur.

•**Etalon de mesure** : ***grandeur de référence*** (G_0) de même espèce prise comme unité, qui ***sert à définir ou à matérialiser*** l'unité de mesure, il doit être ***précis, exact, reproductible et universel***, matérialisées par les étalons fondamentaux.

•**Mesurer** une grandeur : c'est la comparer à une grandeur de **même espèce** prise comme grandeur de référence ($\mathbf{G_0}$)

=> $\mathbf{(G) = g\ (G_0)}$

Remarque **:** *une valeur numérique sans unité n'a aucun sens.*

II.3 - Grandeur repérable et grandeur mesurable

•**Grandeur mesurable :** les observations faites des phénomènes naturels, sont ***utilisables*** si un nombre peut être ***associer à chaque état d'une grandeur***. Si ces opérations sur les nombres sont possibles : **comparaison** et l'**addition** de deux états de la grandeur avec les propriétés de **commutativité** (exemple pour une loi *, a * b = b * a) et d'**associativité** (exemple {a * b} * c = a * {b * c} = a * b * c), alors on peut donner un sens au ***rapport des nombres attachés aux deux états de la grandeur.***

•**Grandeur repérable :** toute grandeur qui n'est pas mesurable est repérable, car l'échelle numérique associée, pour les caractériser, ***dépend arbitrairement du choix d'une origine***. Dans ce cas les grandeurs sont dites **repérables**.

Exemple :

- *Position d'un point dans l'espace*
- *Position d'un évènement dans le temps*
- *Energie totale d'un système (à une constante additive près, par rapport à un état énergétique de référence)*
- *Température qui se repère "macroscopiquement" par un thermomètre (d'un point de vue "microscopique", elle mesure l'agitation thermique)*

Repérer une température, c'est choisir :

1)une **grandeur dite "thermométrique" x** reliant l'évolution d'une propriété (dilatation, résistance, f.e.m., ...) d'une certaine substance (solide, liquide, gaz) à la sensation physiologique de température

Exemple de grandeur thermométrique: *la résistance électrique d'un fil métallique*

2)**des points fixes** en leur attribuant des valeurs numériques arbitraires

Exemples de points fixes : *dans l'échelle Celsius, le point glace* x_0 *(équilibre eau solide-eau liquide sous pression normale) ; le point vapeur* x_{100} *(équilibre eau liquide-vapeur d'eau sous pression normale)*

Fonction Thermométrique θ ***:*** *elle peut être une* ***fonction affine*** *de la grandeur thermométrique* x*, c'est-à-dire* $\theta(x) = \alpha\, x + \beta$*, les coefficients* α *et* β *sont déterminés à partir des valeurs de la grandeur thermométrique en deux points fixes de* θ*.*

Exemple d'une échelle centésimale : ***échelle Celsius***

$$\theta(x)\ °C = 100 \times \frac{x_\theta - x_0}{x_{100} - x_0}$$

•**Equation entre grandeurs, scalaires ou vectorielles** : c'est une **relation d'égalité** où ces grandeurs sont représentées par leurs symboles. L'équation est vérifiée quelles que soient les unités de mesure attribuées à ces grandeurs.

Exemples : - en ***cinématique*** distance = vitesse x temps => **d = v . t**

- en ***mécanique*** travail = force x longueur => $W = \vec{F}.\vec{L}$

- en ***chimie*** (gaz parfait)
pression x volume = nombre de moles x constante des gaz parfaits x températures
=> **P.V = n.R.T**

III - Système de grandeurs

Parmi l'ensemble des grandeurs données, certaines d'entre elles peuvent être considérées comme **indépendantes** et former ainsi un sous-ensemble dit : **grandeurs de base**. Les autres sont nommées : **grandeurs dérivées**.

Symbole d'une grandeur **:** constitué, en général, d'***une seule lettre*** des alphabets latins ou grec. Cette lettre symbole se trouve en ***italique*** dans les textes imprimés.

III.1 - Grandeurs de base

Les ***symboles dimensionnels*** seront notés "**G**".

•**Système international S.I** : **7** grandeurs de base (voir **IV.4**) avec la **longueur**, la **masse**, le **temps**, l'**intensité du courant électrique**, la **température** thermodynamique, la **quantité de matière** et l'**intensité lumineuse**.

•**Système CGS** : **3** grandeurs de base (voir **IV.6**) avec la **longueur**, la **masse** et le **temps**.

•**Système MKSA ou de Giorgi** : **4** grandeurs de base avec la **longueur**, la **masse**, le **temps** et l'**intensité électrique**.

III.2 - Grandeurs dérivées

Les symboles dimensionnels **G** pourront s'exprimer en fonction des grandeurs de base par une relation dite "***équation aux dimensions***" (voir les tableaux).

Exemple de grandeurs dérivées **:**

Grandeurs dérivées	Surface	Volume	Vitesse
Dimension	$L . L = L^2$	$L . L . L = L^3$	$L . T^{-1}$

III.3 - Grandeurs homogènes - dimension

C'est un ensemble de grandeurs pouvant se comparer mutuellement.
Si **A** et **B** sont deux grandeurs **homogènes** alors **A = k B** où **k** est un réel **=> A, B** ont la **même dimension**

Exemple **:** ***hauteur***, ***largeur***, ***distance*** *ont la même dimension, c'est-à-dire* **L**

Dimension **:** les **dimensions de base** permettent de construire les **grandeurs dérivées**.
La mesure **g** d'une grandeur (**G**) a conduit à la ***propriété*** suivante : si **g** et **g '** sont les nombres qui mesurent une même

grandeur (**G**) avec deux unités différentes (**G_0**) et (**G_0 '**), avec **g =** $\frac{(G)}{(G_0)}$ et **g ' =** $\frac{(G)}{(G_0^{'})}$ alors $\frac{\mathbf{g}}{\mathbf{g}^{'}} = \frac{(G_0^{'})}{(G_0)}$ qui est égal par définition à la **dimension de G**, notée **dim G** ou **[G]** ou **G**.

III.4 - Expression des grandeurs dérivées

Plus généralement, dans la ***symbolique dimensionnelle des 7 grandeurs de base***, on appelle **dimension d'une grandeur dérivée (G)** :

$$\mathbf{G = L^{\alpha} . M^{\beta} . T^{\gamma} . \theta^{\varepsilon} . I^{\delta} . N^{\mu} . J^{\nu}}$$

où $\alpha, \beta, \gamma ... \in \mathbb{Q}$ (ensemble des nombres rationnels) et sont les **exposants dimensionnels** de **G**.

Les exposants traduisent la loi physique qui lie les grandeurs de base à la grandeur considérée.

Cas particulier : si α **=** β **=** γ **= ... = 0**, alors **dim G = [G] = 1** et la grandeur est dite **sans dimension**

IV - Systèmes et unités de mesure

IV.1 - Unités de base

Définition : un système d'unités de mesure est défini par un choix conventionnel de **grandeurs de base** auxquelles sont associées des **unités**.

Exemple :

Grandeurs	Longueur	Masse	Temps	Intensité
Nom de l'unité	**mètre**	**kilogramme**	**seconde**	**ampère**
Symbole de l'unité	**m**	**kg**	**s**	**A**

IV.2 - Unités dérivées

Exemple de construction d'unités dérivées à partir des unités de base :

Grandeurs dérivées	Surface	Volume	Vitesse
Dimension	$\mathbf{L . L = L^2}$	$\mathbf{L . L . L = L^3}$	$\mathbf{L . T^{-1}}$
Unités dérivées	$\mathbf{m . m = m^2}$	$\mathbf{m . m . m = m^3}$	$\mathbf{m . s^{-1}}$

IV.3 - Systèmes cohérents d'unités et unités légales

Définition d'un système cohérent d'unités : un système d'unités est dit cohérent s'il est composé d'**unités de base** choisies arbitrairement et d'**unités dérivées** déduites des unités de base à l'aide de formules traduisant les lois physiques, où les coefficients numériques de proportionnalité sont par convention pris égaux à **1**.

Exemples : *pour la relation vitesse **v = L / T**, le **m/s** fait intervenir un facteur de conversion **1**, mais pour le **km/h** le facteur est de **3,6** car **1 m/s = 3,6 km/h***

Définition de l'unité légale : elle est légale lorsque sa définition et son emploi font l'objet d'un décret gouvernemental.

IV.4 - Le S.I

1 - Grandeurs et unités de base

Le **S.I** reconnaît **7 grandeurs et unités de base**.

Grandeurs de base	Longueur	Temps	Masse	Intensité du courant électrique	Température	Quantité de matière	Intensité lumineuse
Dimension	**L**	**T**	**M**	**I**	◡	**N**	**J**
Unités de base	**m**	**s**	**kg**	**A**	**K**	**mol**	**cd**

2 - Multiples et sous multiples

Parfois les unités ne sont pas appropriées pour les mesures à effectuer (petites, grandes) alors on ajoute à l'unité un préfixe qui revient à multiplier l'unité par une puissance de 10.

Exemples utiles :

Multiples			Sous-multiples		
Facteur multiplicatif	**Préfixe**	**Symbole**	**Facteur multiplicatif**	**Préfixe**	**Symbole**
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	déci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	⌠
10^{12}	téra	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	méga	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^{2}	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10	déca	da	10^{-24}	yocto	y

3 - Unités dérivées du S.I ayant un nom particulier

Quelques exemples utiles :

Grandeurs dérivées		Unités dérivées		Dimension
Nom	**Symbole**	**Nom**	**Symbole**	
angle plan	〈	radian	rad	
angle solide	&	stéradian	sr	
fréquence	*f*, ⌇	hertz	Hz	T^{-1}
Force - poids	*F, G*	newton	N	$L\,M\,T^{-2}$
Pression, contrainte	*p*, ⏐, ⌠	pascal	Pa	$L^{-1}\,M\,T^{-2}$
Energie, travail, quantité de chaleur	*W, E, Q*	joule	J	$L^{2}\,M\,T^{-2}$
Différence de potentiel électrique	*E, V, U*	volt	V	$L^{2}\,M\,T^{-3}\,I^{-1}$
Capacité électrique	*C*	farad	F	$L^{-2}\,M^{-1}\,T^{4}\,I^{2}$
Résistance électrique	*R*	ohm	&	$L^{2}\,M\,T^{-3}\,I^{-2}$
Puissance	*P*	watt	W	$L^{2}\,M\,T^{-3}$
Quantité d'électricité, charge électrique	*Q*	coulomb	C	$T\,I$
Induction magnétique	*B*	tesla	T	$M\,T^{-2}\,I^{-1}$
Activité radioactive	*A*	becquerel	Bq	T^{-1}
Dose absorbée	*D*	gray	Gy	$L^{2}\,T^{-2}$
Equivalent de dose	*H*	sievert	Sv	$L^{2}\,T^{-2}$

4 - Unités hors systèmes en usage dans le S.I

Il faudra transformer les unités hors systèmes en une combinaison d'unités de base pour les utiliser dans les formules.

Exemples utiles :

Grandeurs	Nom de l'unité	Symbole	Valeur en unité S.I
Temps	minute heure jour	min h d, j	60 s 3600 s 86400 s
Angle plan	degré minute d'angle seconde d'angle	° ' (1 ° = 60 ') " (1 ' = 60 ")	(□/180) rad (□/10800) rad (□/648000) rad
Volume	litre	l , L	10^{-3} m^{3}
Masse	tonne	t	10^{3} kg
	unité de masse atomique	u	1,66 10^{-27} kg
Energie	électronvolt	eV	1,6 10^{-19} J

IV.5 - Symboles des unités de mesure

•**Nom en entier** : 1ère lettre minuscule

•**Abréviation :** 1ère lettre majuscule *Exemples* **: coulomb** (**C**), **newton** (**N**), **pascal** (**Pa**)

•**Abréviation :** symbole particulier *Exemples* **: ohm** (Ω) , **dioptrie** (δ en optique)

IV.6 - Le système CGS

CGS signifie "**cm.gramme.seconde**". Ce n'est pas le système légal mais il est encore en vigueur.
Dans le système **CGS**, il y a **3** grandeurs de base :

Grandeurs de base	Dimension	Unité
Longueur	L	cm
Masse	M	g
Temps	T	s

Quelques unités dérivées dans le CGS :

Grandeurs	Unité dans le CGS	Unité dans le S.I
Force	dyne	newton
Energie	erg	joule

V - Application de l'équation aux dimensions

Elle permet :
(a)de déterminer la dimension et l'unité d'une grandeur dérivée en fonction des dimensions et unités des grandeurs de base
(b)d'effectuer éventuellement des changements d'unités
(c)de vérifier l'homogénéité des formules littérales
(d)de prévoir par une analyse dimensionnelle une formule traduisant une loi physique
Mais :
(e)L'équation aux dimensions ne nous renseigne pas sur la nature exacte d'une grandeur

(a) Exemples : il y a plusieurs façons de la déterminer l'équation aux dimensions du **travail W**

1°/ Le travail étant de l'énergie, la relation la plus simple qui exprime cette énergie est : $E_C = 1/2\ m\ v^2$

où **m** masse, une grandeur de base
1/2 de dimension **1**, on ne tient pas compte des facteurs constants
v la vitesse **v** est une grandeur dérivée de dimension $L.T^{-1}$
v^2 de dimension $L^2.T^{-2}$

alors l'équation aux dimensions du travail est : $W = M\ .\ (L\ .\ T^{-1})^2 = M\ .\ L^2\ .\ T^{-2}$

Dans le **S.I**, l'unité de **W** est alors le $kg.m^2.s^{-2}$

2°/ Le travail **W** est égal à une force **F** multipliée par une distance **d** : $W = F\ .\ d$
où **d** distance est la grandeur de base longueur

$F = m\ .\ a$ où $a = \dfrac{dv}{dt}$

L'accélération de dimension $L\ .T^{-2}$, ainsi la dimension de la force **F** est $M\ .\ L\ .\ T^{-2}$

alors l'équation aux dimensions est : $W = M\ .\ L\ .\ T^{-2}\ .\ L = M\ .\ L^2\ .\ T^{-2}$

(b) Exemple **: relation entre le newton, unité de force dans le S.I (ici, on utilise le symbole ') et la dyne, unité de force dans le CGS**

La dimension d'une force est $[F] = L\ .\ M\ .\ T^{-2}$ alors

$$\frac{\text{unité S.I de la force}}{\text{unité CGS de la force}} = \frac{(L_0').(M_0').(T_0')^{-2}}{(L_0).(M_0).(T_0)^{-2}} = \frac{m.kg.s^{-2}}{cm.g.s^{-2}} = \frac{10^2\,cm.1000\,g}{cm.g} = 10^5$$

d'où **$1\ N = 10^5$ dynes** car **$1\ m\ .\ kg\ .\ s^{-2} = 10^5 \times 1\ cm\ .\ g\ .\ s^{-2}$**

(c) Exemple : **la période T d'un pendule simple**, est fonction de la longueur l du pendule, de l'accélération **g** de la pesanteur, et pourrait se formuler par :

A. $T = \pi\ .\ l\ .\ g$ **B.** $T = \frac{1}{2\pi}.\frac{l}{g}$ **C.** $T = 2\pi.\sqrt{l.g}$ **D.** $T = \sqrt{\frac{l}{g}}$ E. $T = \frac{1}{\pi}.\sqrt{\frac{g}{l}}$

D est la bonne réponse, car **[période] = T** le temps, une grandeur de base, or **dim** $\left(\sqrt{\frac{l}{g}}\right) = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{L.T^{-2}}} = T$

Remarque : *la relation n'est pas physiquement exacte (celle correcte est* $T = 2\pi.\sqrt{\frac{l}{g}}$ *)*

car la constante n'intervient pas dans l'équation aux dimensions.

(d) Exemple : les expériences ont montré que la vitesse de propagation **v** d'une déformation transversale le long d'une corde ne dépendait que de la masse linéique μ et de la tension **F** de la corde, soit : **$v = k\ .\ \mu^{\alpha}\ .\ F^{\beta}$** (**k** sans dimension).

Or on sait que : **$[v] = L\ .\ T^{-1}$, $[\mu] = M\ .\ L^{-1}$, $[F] = M\ .\ L\ .\ T^{-2}$** alors

$L\ .\ T^{-1} = (M\ .\ L^{-1})^{\alpha}\ .\ (M\ .\ L\ .\ T^{-2})^{\beta} = M^{\alpha+\beta}\ .\ L^{-\alpha+\beta}\ .\ T^{-2\beta}$

par identification : **$\alpha + \beta = 0$; $-\alpha + \beta = 1$; $-2\beta = -1$** alors **$\alpha = -\beta = -1/2$**

Finalement : **$v = k\ .\ \sqrt{\frac{F}{\mu}}$**

(e) Exemple : pour la dimension **$[\text{puissance}] = L^2\ .\ M\ .\ T^{-3}$** exprimée en watts, il existe

1)la **puissance électrique** : **$P_e = U.I$** **$[P_e] = (L^2\ .\ M\ .\ T^{-3}\ .\ I^{-1})\ .\ I = L^2\ .\ M\ .\ T^{-3}$**

2)la **puissance mécanique :** **$P_m = \frac{F.l}{t}$** **$[P_m] = \frac{(L.M.T^{-2}).L}{T} = L^2\ .\ M\ .\ T^{-3}$**

VI - Conventions d'écriture des nombres

1 - Règles

- Les nombres s'écrivent avec des chiffres arabes en caractères romains (droits).

- Pour les ***nombres à partie décimale***, la virgule (et non le point) sépare la partie entière de la partie décimale.

- Si un ***nombre a plus de quatre chiffres***, chaque groupe de trois chiffres, doit être séparé par un espace.

- La ***séparation*** n'existe pas pour les nombres de quatre chiffres désignant une date ou un millésime (l'an 2000).

- Pour un ***nombre avec parties entière et décimales***, la séparation se fait de part et d'autre de la virgule.

2 - Puissance de 10

- Les grands et les petits nombres peuvent s'exprimer à l'aide des puissances de 10.

- En ***notation scientifique*** un chiffre différent de 0 se trouve devant la virgule.

- En ***notation ingénieur***, l'exposant est un multiple de 3.

- Les nombres dont les noms sont terminés par "illions" sont à éviter, par risque de confusion, sauf ***million*** qui vaut 10^6.

3 - Signes d'opération

- ***Addition-Soustraction*** : signes usuels "+" et "-".

- ***Multiplication*** : utiliser le signe "X". Ne pas utiliser la lettre "x", l'astérisque "*", le point "." (sauf devant une puissance de 10).

- ***Division*** : utiliser la barre horizontale (-) ou la barre oblique (/).

4 - Chiffres significatifs

- La ***précision d'une mesure*** d'un phénomène physique ou biologique se traduit dans l'expression du résultat par le nombre de chiffres dits ***"significatifs"***.

- Les ***chiffres significatifs*** sont : les chiffres différents de 0, les 0 placés entre les chiffres, les 0 placés derrière les autres chiffres quand ils sont le résultats de la mesure.

- ***Présentation du résultat d'une mesure*** : on arrondit par défaut si le premier chiffre supprimé est inférieur à 5 et par excès s'il est supérieur ou égal à 5.

- ***Détermination du nombre de chiffres significatifs*** *dans les opérations résultats de mesures* :

Addition-soustraction :

Si les résultats des mesures sont des nombres entiers : opérations habituelles se somme et différence.
Chiffres décimaux : le résultat dépend du ***nombre de chiffres significatifs après la virgule***.

Si **n =** le plus petit nombre de chiffres significatifs après la virgule
* Arrondir tous les autres nombres à **(n+1)** chiffres après la virgule
* Effectuer les opérations d'addition ou de soustraction
* Arrondir le résultat à **n** chiffres après la virgule

Résultat de mesures exprimées à l'aide de puissances positives de 10 : ***ramener tous les résultats de mesures*** en fonction de la ***plus haute puissance de 10*** avant de procéder à la démarche précédente.

Multiplication-division : le résultat de l'opérateur dépend du ***nombre total de chiffres significatifs***.
Considérer le résultat de mesure qui a **n** = le ***plus petit nombre de chiffres significatifs***.

* Arrondir tous les autres nombres à **(n+1)** chiffres
* Effectuer les opérations multiplication ou de division
* Arrondir le résultat pour la multiplication à : **(n)** chiffres si la dernière somme partielle est **< 9**
(n+1) chiffres si la dernière somme partielle est **> 9**

Puissance-racine : la réponse doit contenir autant de chiffres significatifs que la grandeur mesurée, sauf si cette puissance ou cette racine, intervient dans une opération, dans ce cas on augmente de **un** le nombre de chiffres significatifs du résultat.

Coefficients numériques : ***la multiplication ou la division*** par un ***coefficient numérique***, doit conduire à un résultat avec un chiffre significatif comparable à celui du résultat de la mesure qui en possède le moins.

Dans le cas d'opérations avec les nombres transcendants (π) et (e) : leurs expressions dans les calculs dépendront des chiffres significatifs des résultats de mesures.

RAPPEL : la précision d'un résultat, n'est pas corrélée au nombre maximum de chiffres après la virgule, obtenu par une calculatrice électronique.

5 - Convention d'écriture des préfixes

- **Multiples et sous multiples décimaux** des unités de bases et dérivées sont formés par l'utilisation de 20 préfixes associés à des noms et des symboles (voir tableau).

- ***Noms*** : choisis pour présenter les résultats numériques par des nombre de ***trois chiffres maximum***.

- Eviter les préfixes qui ne correspondent pas à des puissances de 10 multiples de 3.

- Ils peuvent s'appliquer à des unités hors S.I comme l'unité monétaire.

- Ils ne sont pas associés aux unités.

- L'association de deux préfixes par unité n'est pas autorisée.

- Si le nom de l'unité commence par une voyelle, le préfixe peut perdre sa dernière voyelle.

- ***Symboles*** : imprimés en caractères romains (droits) et accolés aux symboles des unités. Le symbole d'un préfixe, combiné avec le symbole d'une unité S.I, constitue un nouveau symbole d'une nouvelle unité qui peut être élevée à une puissance.

6 - Convention d'écriture des noms et des symboles

- Les ***noms d'unités*** sont des ***noms commun***s écrits en lettres ***minuscules***.

- Ils prennent un "s" au pluriel sauf les noms déjà terminés par un s, x ou z.
  Exceptions : le nom ***propre*** prend une ***majuscule*** quand il est associé à l'unité degré.

- L'unité, produit de deux unités, est formée :
  * soit en ***séparant*** leurs noms par un ***trait d'union***.
  * soit en **accolant** les noms d'unités.

- L'unité, quotient de deux unités, se forme en séparant le nom de l'unité dividende du nom de l'unité diviseur par la proposition ***"par"***.

- Dans le cas où plus de deux noms d'unités interviennent, nous obtenons pour : le produit (newton (s)-mètre(s)-seconde(s)), le quotient (kilogramme(s) par mètre cube).
  Remarque : *la préposition "par" n'est pas répétée entre chaque terme du diviseur.*

- Ne pas associer un nom d'unité à un symbole.

- Ne pas ajouter un qualificatif au nom d'unité.

- Un multiple ou sous-multiple d'une unité se forme en associant au nom de l'unité le préfixe en toute lettre.

- Les ***symboles d'unités*** sont exprimés en ***caractères romains (droits)*** généralement en ***minuscules sauf si l'unité dérive d'un nom propre***.

- Les ***symboles d'unités sont invariables***, ne prennent pas la marque du pluriel et se placent après la valeur numérique complète et séparés de celle-ci par un espace.

- Pour le ***produit de deux unités***, on utilise le ***point de multiplication*** (à mi-hauteur), à supprimer si aucune confusion n'est possible avec un autre symbole.

- Pour un ***quotient de deux unités***, on peut utiliser la ***barre horizontale***, la ***barre oblique***, ou des ***puissances négatives***.
  Remarque : *ne pas introduire sur une même ligne plusieurs barres.*

- Dans une ***division décimale***, le ***symbole de l'unité*** est placé ***à droite de la valeur numérique complète***.

- Dans une ***division non décimale*** avec sous-multiple, le nom de l'unité ou le symbole s'intercale entre les valeurs numériques de ces sous-multiples, sans virgules.

- Ne pas utiliser un symbole d'unité, après un nombre écrit en lettres ou dans un texte.

- Ne pas combiner les symboles et noms d'unités.