



UNIVERSITÉ
LAVAL

Titre du projet

Rapport de projet – version 0

présenté à

Robert Bergevin, Luc Lamontagne et Simon Thibault

par

Équipe 99 — Les Gaulois

<i>matricule</i>	<i>nom</i>	<i>signature</i>
111 111 111	Abraracourcix	
222 222 222	Bonemine	
333 333 333	Falbala	
444 444 444	Iélosubmarine	
555 555 555	Ordralphabétix	
666 666 666	Tragicomix	

Université Laval
31 janvier 2019

Historique des versions		
<i>version</i>	<i>date</i>	<i>description</i>
	17 janvier 2006	création du document
1.0	22 janvier 2006	illustration des capacités de \LaTeX : chapitre et sections, note en bas de page, référence dynamique, figure, insertion d'image, tableau, équations, références bibliographiques, liste
1.1	14 janvier 2007	refonte complète: introduction de la classe, page titre, exemples \LaTeX , unités SI et règles d'écriture, recommandations typographiques
1.2	6 décembre 2007	réorganisation des chapitres, ajout de l'historique des versions, ajouts des options <code>ULlof</code> et <code>ULlot</code> , ajout d'exemples de tableaux, corrections mineures
1.3	14 janvier 2011	reformatage de l'exemple, changements à l'organisation des figures
1.3.1	24 novembre 2011	matricules à 9 chiffres, titre du rapport
1.4	11 janvier 2016	mise à jour pour la session d'hiver 2016
1.4.1	4 janvier 2017	mise à jour pour la session d'hiver 2017

Table des matières

Table des figures	iii
Liste des tableaux	iv
1 Introduction	1
2 Rapport technique	2
2.1 Structure	2
2.1.1 Pages liminaires	2
2.1.2 Corps	2
2.1.3 Parties annexes	3
2.2 Recommandations face à la rédaction	3
2.2.1 Usage de la classe ULrapport	3
2.2.2 Utilisation judicieuse des figures	3
2.2.3 Emploi de tableaux pertinents	4
3 Recommandations typographiques	5
4 Exemples L^AT_EX	6
4.1 Outils de références	6
4.2 Exemples d’objets flottants	6
4.2.1 Exemples de figures	6
4.2.1.1 Objet graphique vectoriel de type PDF	6
4.2.1.2 Objets graphiques binaires de type JPEG	7
4.2.2 Exemples de tableaux	7
4.2.2.1 Tableau simple	7
4.2.2.2 Tableau avec cellules multilignes	7
4.2.2.3 Tableau avec cellules contenant un long texte	9
4.2.3 Autres tableaux possibles	9
4.2.3.1 Tableaux plus larges que le corps du texte	9
4.2.3.2 Tableaux plus longs qu’une page	10
4.3 Ouvrages cités et URL	13

5	Unités SI et règles d'écriture	15
5.1	Unités acceptées	15
5.1.1	Unités SI de base	15
5.1.2	Unités SI dérivées	15
5.1.3	Autres unités en usage	16
5.2	Préfixes recommandés	16
5.3	Règles d'écriture	19
5.3.1	Unités et leurs symboles	19
5.3.2	Expressions algébriques de symboles d'unités	19
5.3.3	Usage des préfixes	19
5.3.4	Choix des préfixes	20
5.3.5	Règles d'écriture des valeurs numériques	20
5.3.6	Règles d'écriture des valeurs avec unités	20
5.3.7	Conventions pour la présentation des résultats de mesure	21
5.3.7.1	Notation des résultats avec incertitude	21
5.3.7.2	Nombre de chiffres significatifs	22
5.3.7.3	Précision de l'incertitude	22
5.3.7.4	Règles d'arrondi	23
	Bibliographie	24
A	Liste des sigles et des acronymes	25

Table des figures

4.1	Exemple de figure faite à partir d'un fichier PDF d'ADOBE. Logo de l'Université Laval.	7
4.2	Exemple d'une figure conçue à partir d'un fichier JPEG. Représentation artistique du satellite canadien RADARSAT-2.	8

Liste des tableaux

3.1	Recommandations typographiques propres aux langues française et anglaise. L’astérisque dénote celles qui sont prises en compte automatiquement par le package <code>babel</code>	5
3.2	Recommandations propres aux langues française et anglaise quant à l’emplacement des légendes. Notez que ces règles ne sont pas prises en compte par le package <code>babel</code>	5
4.1	Exemple de tableau. Liste de prix des matériaux de référence au 1 février 2006, telle que fournie par les Laboratoires des mines et des sciences minérales. . .	7
4.2	Exemple de tableau avec cellules multilignes. Illustration de l’usage de la commande <code>\cellulemultiligne</code> . Statistiques de contacts satellite-station terrestre pour une période de 10 jours.	8
4.3	Exemple de tableau avec cellules contenant des paragraphes. Illustration de l’usage de <code>\Z</code>	9
4.4	Les 100 premiers éléments du tableau périodique classés par ordre alphabétique. .	10
5.1	Unités SI de base.	16
5.2	Unités SI dérivées.	17
5.3	Unités en dehors du SI, mais en usage avec le SI.	18
5.4	Préfixes et symboles du Système international d’unités (SI). Les préfixes anglais sont les mêmes que les français, en leur retirant toutefois les accents. . .	18

Chapitre 1

Introduction

Ce document se veut un exemple du format de rapport imposé pour le cours GEL–1001 Design I (méthodologie). Son rôle est double. Il a comme premier objectif de présenter un exemple de rapport typique, tel que produit par \LaTeX en utilisant la classe `ULrapport`. Il constitue de ce fait une brève introduction à \LaTeX et à son usage afin de vous permettre de produire un rapport de qualité professionnelle. Deuxièmement son contenu est truffé d’informations essentielles à la rédaction d’un rapport technique de qualité.

Un court chapitre présente dans ses grandes lignes la structure d’un rapport technique.

Un bref chapitre est subséquemment consacré à la présentation de quelques règles typographiques, en faisant ressortir les détails propres à chaque langue (français et anglais). Les éléments pris en compte automatiquement par le package `babel` y sont identifiés.

Un chapitre complet est ensuite dédié à la présentation de multiples exemples démontrant les capacités de \LaTeX , particulièrement lors de l’inclusion d’objets flottants (figures ou tableaux).

Le chapitre final décrit les notions d’écriture qui doivent être respectées dans un document technique afin d’être conforme au Système international d’unités [1]. Y sont aussi fournies les règles d’écritures des nombres (valeurs et incertitudes).

Chapitre 2

Rapport technique

Un *rapport technique* est un document dont la structure interne joue un rôle de premier plan. En effet, dès les premiers instants de la lecture, le lecteur comprendra rapidement la structure adoptée et élaborera des repères mentaux qui lui faciliteront grandement la tâche lorsqu'il consultera le rapport afin d'y retrouver l'information qu'il recherche. Il est donc tout aussi essentiel d'y fournir l'information technique, que de la regrouper et de la hiérarchiser selon une approche logique, cohérente et consistante tout au long de l'ouvrage.

2.1 Structure

Un rapport technique est globalement constitué de trois parties majeures : les *pages liminaires*, le *corps* et les *parties annexes*.

2.1.1 Pages liminaires

Les pages liminaires (« front matter ») regroupent les pages placées au début de l'ouvrage, en précédant le corps. Elles contiennent les éléments suivants :

- la page de titre (obligatoire) ;
- l'historique des versions (obligatoire) ;
- les remerciements (facultatif) ;
- la table des matières (obligatoire) ;
- la liste des figures (obligatoire si le rapport contient des figures) ;
- la liste des tableaux (obligatoire si le rapport contient des tableaux).

Les pages de cette première partie sont numérotées en chiffres romains.

2.1.2 Corps

Le corps, ou le texte (« main matter »), est l'essence même de l'un ouvrage. La seconde partie constitue donc le cœur du document, il s'agit des différents chapitres requis pour couvrir l'ensemble du sujet présenté. La numérotation des pages y est faite en chiffres arabes,

en repartant de la page 1, et ce jusqu’à la fin du document. Le premier chapitre introduit le travail. Il permet, d’une part, d’en expliquer le contexte et, d’autre part, il définit le contenu du travail.

2.1.3 Parties annexes

Les parties (« back matter ») d’un ouvrage comprennent généralement :

- la bibliographie¹ (obligatoire) ;
- les annexes (facultatives) ;
 - la liste des sigles et acronymes (obligatoire) ;
 - le glossaire (facultatif) ;
 - le lexique (facultatif) ;
 - tout détail (calculs, mesures, etc.) qui alourdirait inutilement le corps de l’ouvrage ;
- l’index (facultatif).

Ces dernières composantes contiennent le matériel dont la présentation est complémentaire à l’ouvrage, mais dont la présence n’est pas requise à l’intérieur de la seconde partie.

2.2 Recommandations face à la rédaction

Cette section regroupe différents conseils permettant d’améliorer la qualité globale du rapport technique.

2.2.1 Usage de la classe `ULrapport`

La classe `ULrapport` génère automatiquement la page de titre, l’historique des versions et la table des matières. Il est à noter que la liste des figures n’est ajoutée que si l’option « `ULlof` » est spécifiée dans la commande déclarant la classe de document (soit la commande « `\documentclass[]{\ULrapport}` »). De même, la liste des tableaux n’apparaît que si l’option « `ULlot` » est spécifiée. Chacune de ces listes est requise dès que les objets flottants correspondants sont utilisés.

L’auteur est responsable d’ajouter le corps de l’ouvrage et les annexes appropriées.

2.2.2 Utilisation judicieuse des figures

Le bouquin de PARKER et THÉRIEN traite en détail la problématique de l’utilisation des éléments visuels, tels que photographies, illustrations, graphiques et diagrammes [2, ch. 4]. Il est important de bien doser la complexité des éléments graphiques du rapport par une hiérarchisation des informations et un choix du niveau de détail. Voici en résumé quelques recommandations afin d’optimiser l’impact des figures dans un rapport technique :

1. Il est à noter que bien que l’usage général permette de différencier la bibliographie, qui contient un ensemble de références reliées à l’ouvrage, de la liste des ouvrages cités, il est habituel, pour un rapport technique, de ne retrouver que la liste des ouvrages cités dans le texte, sous la dénomination « Bibliographie ».

- assurez la lisibilité ;
- évitez la surcharge ;
- préférez les dessins vectoriels aux images binaires ;
- évitez les croquis faits à main levée ;
- assurez que tout texte apparaissant dans une figure soit rédigé en français ;
- lorsqu’une figure est extraite d’un autre document, fournissez la référence appropriée dans la légende ;
- lorsqu’une figure est extraite d’un document rédigé en anglais, traduisez sa légende.

Il est finalement recommandé d’user de figures avec discernement. Autant une figure appropriée sert efficacement à appuyer le propos, autant l’usage d’images inutiles, telles les logos de compagnie et les photographies génériques de composants usuels, n’apporte rien d’utile. Le lecteur peut même y interpréter une volonté d’effectuer du remplissage.

2.2.3 Emploi de tableaux pertinents

Les tableaux permettent de présenter l’information d’une façon ordonnée et concise. Chaque ligne et chaque colonne d’un tableau doivent être clairement identifiées, respectivement, dans la première colonne et dans la première ligne. Lorsque des valeurs chiffrées sont rapportées, il importe d’en indiquer les unités SI.

L’énumération de spécifications techniques à l’intérieur de paragraphes ou même de listes est tout d’abord inefficace du point de vue de l’espace requis. D’autre part, la lecture de telles descriptions est aride, peu intéressante et ne permet pas au lecteur de s’y référer aisément. Les tableaux se prêtent beaucoup mieux à un tel usage. Il est ensuite très simple de s’y référer et d’y retrouver une information précise.

Chapitre 3

Recommandations typographiques

Ce bref chapitre décrit quelques règles typographiques de base applicables aux textes rédigés en français ou en anglais. Elles sont décrites aux tableaux 3.1 et 3.2.

TABLE 3.1 – Recommandations typographiques propres aux langues française et anglaise. L’astérisque dénote celles qui sont prises en compte automatiquement par le package `babel`.

<i>élément</i>	<i>français</i>			<i>anglais</i>		
	<i>nom</i>	<i>signe</i>	<i>code</i>	<i>nom</i>	<i>signe</i>	<i>code</i>
guillemets*	doubles chevrons	« ... »	<code>\og \fg</code>	double quotes	“...”	“ ”
liste à puces*	tiret moyen	–	<code>--</code>	bullet	•	<code>\$\bullet\$</code>
abréviation	c’est-à-dire	c.-à-d.		<i>id est</i>	<i>i.e.</i>	
abréviation	par exemple	p. ex.		<i>exempli gracia</i>	<i>e.g.</i>	
abréviation	pages	p.		pages	pp.	

TABLE 3.2 – Recommandations propres aux langues française et anglaise quant à l’emplacement des légendes. Notez que ces règles ne sont pas prises en compte par le package `babel`.

<i>objet flottant</i>	<i>français</i>	<i>anglais</i>
figure	après l’objet graphique	après l’objet graphique
table	avant la grille	après la grille

Toute figure et tout tableau doit être référencé dans le texte du rapport par son numéro (p. ex. « figure 4.1 » ou « tableau 4.1 »). Dans un rapport rédigé en anglais, contrairement à un rapport en français, la majuscule est toujours utilisée (p. ex. « Figure 4.1 » ou « Table 4.1 »).

Chapitre 4

Exemples L^AT_EX

Le présent chapitre est plus spécifiquement utilisé pour illustrer les capacités de L^AT_EX à l'aide de divers exemples. On y traite, entre autres, de plusieurs détails concernant les objets flottants que sont les figures et les tableaux.

4.1 Outils de références

L'ouvrage de KNUTH [3] renferme une mine de renseignements sur le fonctionnement de T_EX. La première référence introduisant L^AT_EX est évidemment le bouquin de LAMPORT lui-même [4]. Finalement *The LaTeX Companion* [5] constitue un excellent ouvrage général décrivant exhaustivement une sélection des « packages » disponibles les plus utiles, de même qu'une foule de détails permettant de modeler L^AT_EX à sa guise.

4.2 Exemples d'objets flottants

Deux types d'objets flottants existent à l'intérieur de L^AT_EX : les figures et les tableaux. Dans chaque cas, il est essentiel de discerner l'objet fixe représentant l'image ou la grille de l'objet flottant, la figure ou le tableau, respectivement. Chaque objet flottant comporte nominalement un objet fixe, ainsi qu'une légende.

4.2.1 Exemples de figures

4.2.1.1 Objet graphique vectoriel de type PDF

La figure 4.1 fournit un exemple de figure utilisant un fichier vectoriel de type PDF d'ADOBE. L'environnement `figure` y est employé.

Les commandes `\centering`, `\includegraphics`, `\caption` et `\label` sont aussi démontrées dans cette figure.

Il est important de noter que la légende, introduite par la commande `\caption`, doit être placée après l'élément graphique (voir aussi le tableau 3.2 à la page 5).



FIGURE 4.1 – Exemple de figure faite à partir d’un fichier PDF d’ADOBE.
Logo de l’Université Laval.

4.2.1.2 Objets graphiques binaires de type JPEG

La figure 4.2 (montrée à la page 8) fournit un exemple de figure utilisant un fichier binaire de type JPEG. Le même environnement et les mêmes commandes qu’à la section précédente sont employées.

4.2.2 Exemples de tableaux

4.2.2.1 Tableau simple

Le tableau 4.1 illustre l’utilisation de l’environnement `table`. Une grille réalisée à l’aide de l’environnement `tabular` constitue le cœur de ce tableau.

TABLE 4.1 – Exemple de tableau. Liste de prix des matériaux de référence au 1 février 2006, telle que fournie par les Laboratoires des mines et des sciences minérales.

<i>description</i>	<i>unité</i>	<i>prix</i>
Minerai d’uranium	100 g	95,00 \$
Minerai d’or	200 g	180,00 \$
Alliages de zinc-aluminium	7 disques	1500,00 \$

Les commandes `\hline` et `\multicolumn` sont aussi démontrées dans ce tableau.

Il est important de noter que la légende, introduite par la commande `\caption`, doit être placée avant la grille (voir aussi le tableau 3.2 à la page 5).

4.2.2.2 Tableau avec cellules multilignes

Le tableau 4.2 est un exemple où certains éléments de la première rangée occupent plus d’une ligne de texte et doivent être centrés verticalement.

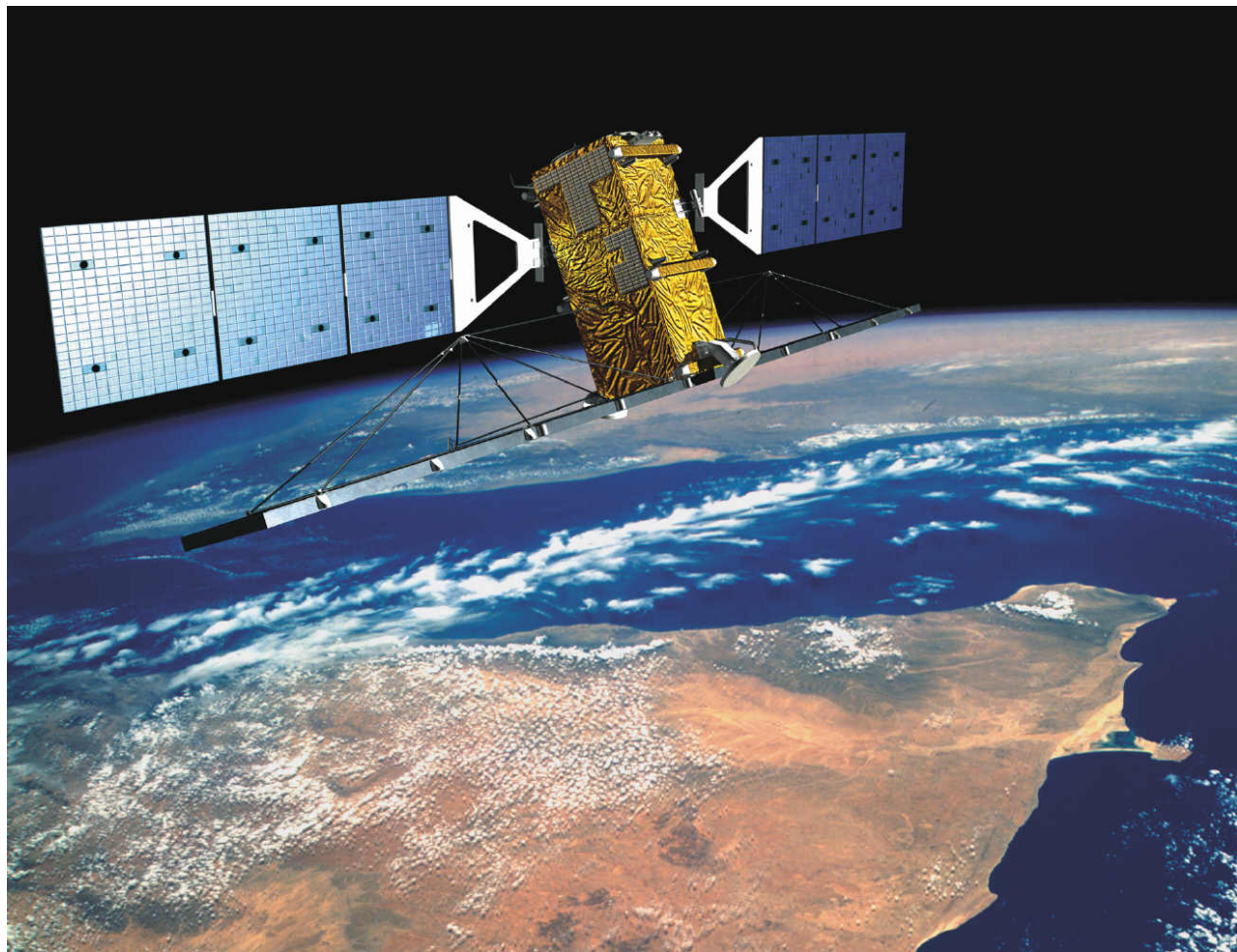


FIGURE 4.2 – Exemple d’une figure conçue à partir d’un fichier JPEG. Représentation artistique du satellite canadien RADARSAT-2.

TABLE 4.2 – Exemple de tableau avec cellules multilignes. Illustration de l’usage de la commande `\cellulemultiligne`. Statistiques de contacts satellite-station terrestre pour une période de 10 jours.

<i>station terrestre</i>	<i>nombre total de contacts</i>	<i>durée totale des contacts</i>	<i>nombre moyen de contacts par jour</i>	<i>durée moyenne des contacts</i>	<i>durée moyenne de contact par jour</i>
A	18	64 min	1,8	3,56 min	6,4 min
B	17	56,2 min	1,7	3,31 min	5,6 min
C	34	119 min	3,4	3,49 min	11,9 min
D	16	51,1 min	1,6	3,19 min	5,1 min

Un autre environnement `tabular` y est utilisé pour chacune des cellules multilignes. La nouvelle commande `\cellulemultiligne`, définie dans le préambule, y est d'ailleurs employée explicitement afin de simplifier la rédaction.

4.2.2.3 Tableau avec cellules contenant un long texte

Le tableau 4.3 démontre l'utilisation d'environnements de type paragraphe à l'intérieur de cellules.

TABLE 4.3 – Exemple de tableau avec cellules contenant des paragraphes. Illustration de l'usage de `\Z`.

Exemple de texte un peu long, mais typographié sans problème avec positionnement vertical référé en bas !	Exemple de texte un peu long, mais typographié sans problème avec positionnement vertical centré !	Exemple de texte un peu long, mais typographié sans problème avec positionnement vertical référé en haut !
---	--	--

La nouvelle définition de colonne `\Z`, introduite dans le préambule, y est d'ailleurs employée explicitement afin de simplifier la rédaction. Elle permet de présenter un long texte en définissant sa présentation horizontale (gauche, centre ou droite), sa position verticale de référence (haut, centre, bas) et sa largeur.

4.2.3 Autres tableaux possibles

4.2.3.1 Tableaux plus larges que le corps du texte

Si vous désirez faire un tableau plus large, il y a moyen de le faire en utilisant la page en paysage (« landscape »), utilisez alors l'environnement `sidewaystable` (fourni avec le package `rotating`). L'exemple qui suit montre comment s'y prendre.

```
\begin{sidewaystable}
  \centering
  \caption{Légende du tableau.}
  \label{t:etiquette_de_tableau}
  \begin{tabular}{...}
    ...
```

```
\end{tabular}
\end{sidewaysstable}"
```

L'environnement `sidewaysfigure` existe aussi pour les figures plus larges.

4.2.3.2 Tableaux plus longs qu'une page

Le package `longtable` fournit l'environnement `longtable` qui permet de typographier des tableaux qui parcourent plus d'une page. L'exemple qui suit montre comment s'y prendre.

```
\begin{longtable}{cc}
  \caption{Légende du tableau.}
  \label{t:etiquette_de_tableau}      \\ \hline
  \emph{colonne 1} & \emph{colonne 2} \\ \hline
\endfirsthead
  \caption[]{(suite)}                  \\ \hline
  \emph{colonne 1} & \emph{colonne 2} \\ \hline
\endhead
  \hline \multicolumn{2}{r}{\emph{Suite à la page suivante}}
\endfoot
  \hline
\endlastfoot
  ... & ... \\
  ... & ... \\
\end{longtable}
```

Il est à noter que, contrairement aux tableaux standard requérant `table` et `tabular`, un tableau complet (objet flottant et grille, voir §4.2.2) est réalisé avec l'environnement `longtable`. Par défaut ce tableau est centré horizontalement, ce qui peut être aisément changé par le biais d'un argument optionnel (`[l]` ou `[r]`). Un exemple de l'utilisation de ce type de tableau est fourni au tableau 4.4.

TABLE 4.4 – Les 100 premiers éléments du tableau périodique classés par ordre alphabétique.

<i>nom de l'élément chimique</i>	<i>symbole</i>	<i>nombre atomique</i>
actinium	Ac	89
aluminium	Al	13
américium	Am	95
antimoine	Sb	51
argent	Ag	47
argon	Ar	18

Suite à la page suivante

TABLE 4.4 – (suite)

<i>nom de l'élément chimique</i>	<i>symbole</i>	<i>nombre atomique</i>
arsenic	As	33
astate	At	85
azote	N	7
baryum	Ba	56
berkélium	Bk	97
béryllium	Be	4
bismuth	Bi	83
bore	B	5
brome	Br	35
cadmium	Cd	48
calcium	Ca	20
californium	Cf	98
carbone	C	6
cérium	Ce	58
césium	Cs	55
chlore	Cl	17
chrome	Cr	24
cobalt	Co	27
cuivre	Cu	29
curium	Cm	96
dysprosium	Dy	66
einsteinium	Es	99
erbium	Er	68
étain	Sn	50
europium	Eu	63
fer	Fe	26
fermium	Fm	100
fluor	F	9
francium	Fr	87
gadolinium	Gd	64
gallium	Ga	31
germanium	Ge	32
hafnium	Hf	72
hélium	He	2
holmium	Ho	67
hydrogène	H	1
indium	In	49

Suite à la page suivante

TABLE 4.4 – (suite)

<i>nom de l'élément chimique</i>	<i>symbole</i>	<i>nombre atomique</i>
iode	I	53
iridium	Ir	77
krypton	Kr	36
lanthane	La	57
lawrencium	Lr	103
lithium	Li	3
lutécium	Lu	71
magnésium	Mg	12
manganèse	Mn	25
mercure	Hg	80
molybdène	Mo	42
néodyme	Nd	60
néon	Ne	10
neptunium	Np	93
nickel	Ni	28
niobium	Nb	41
osmium	Os	76
or	Au	79
oxygène	O	8
palladium	Pd	46
phosphore	P	15
platine	Pt	78
plomb	Pb	82
plutonium	Pu	94
polonium	Po	84
potassium	K	19
praséodyme	Pr	59
prométhium	Pm	61
protactinium	Pa	91
radium	Ra	88
radon	Rn	86
rhénium	Re	75
rhodium	Rh	45
rubidium	Rb	37
ruthénium	Ru	44
samarium	Sm	62
scandium	Sc	21

Suite à la page suivante

TABLE 4.4 – (suite)

<i>nom de l'élément chimique</i>	<i>symbole</i>	<i>nombre atomique</i>
sélénium	Se	34
silicium	Si	14
sodium	Na	11
soufre	S	16
strontium	Sr	38
tantale	Ta	73
technétium	Tc	43
tellure	Te	52
terbium	Tb	65
thallium	Tl	81
thorium	Th	90
thulium	Tm	69
titane	Ti	22
tungstène	W	74
uranium	U	92
vanadium	V	23
xénon	Xe	54
ytterbium	Yb	70
yttrium	Y	39
zinc	Zn	30
zirconium	Zr	40

Les différentes sections permettent de spécifier le haut du tableau à la première page (avant `\endfirsthead`), puis le haut du tableau aux pages subséquentes (avant `\endhead`). De même il faut aussi indiquer le bas du tableau à sa dernière page (avant `\endlastfoot`), ainsi qu'aux pages précédentes (avant `\endfoot`).

Il est tout à fait proscrit d'utiliser `longtable` pour des tableaux qui peuvent être présentés sur une seule page. En effet, il serait inopportun de scinder un tel tableau en deux parties.

4.3 Ouvrages cités et URL

Puisque Internet fournit maintenant de nombreux documents de référence, il importe de pouvoir citer les sites web correctement afin de permettre au lecteur d'y référer. Des règles d'écriture de telles références bibliographiques sont décrites sur le site de la bibliothèque [6]. En particulier, ce dernier site suggère d'utiliser le format suivant pour référer correctement à un site web :

Auteur (Organisme ou auteur personnel dans le cas d'une page personnelle).

Titre de la page d'accueil, [Type de support]. Adresse URL: fournir
l'adresse URL de la ressource (date de la consultation par l'utilisateur: jour,
mois, année)

La référence [6] du présent document en est un excellent exemple.

Chapitre 5

Unités SI et règles d’écriture

La spécification de chaque quantité physique implique l’usage de valeurs numériques et d’unités. Ce chapitre en présente les règles d’écriture qui ont fait l’objet d’accords internationaux. Les unités acceptées et les préfixes pouvant leur être juxtaposés, ainsi que les règles régissant leur écriture, sont présentées en premier. Suivent ensuite les règles d’écriture des valeurs numériques, de même que les conventions permettant la spécification d’incertitudes de mesure.

Il est important de préciser que le strict respect des règles d’écriture du SI est nécessairement de mise pour un rapport technique.

5.1 Unités acceptées

Cette section présente les différentes unités du Système international d’unités (SI). Ces dernières ont fait l’objet d’accords internationaux standardisant leur nom et leur symbole. Il s’ensuit que ces recommandations doivent être suivies à la lettre afin d’éviter toute interprétation fautive. Le SI se compose d’unités de base (§5.1.1), d’unités dérivées (§5.1.2) et enfin d’un certain nombre d’autres unités supplémentaires dont l’usage est reconnu (§5.1.3).

5.1.1 Unités SI de base

Les 7 unités SI de base sont présentées au tableau 5.1 [1]. Les noms adoptés en français et en anglais sont fournis, les symboles sont toutefois les mêmes dans ces deux langues.

5.1.2 Unités SI dérivées

Afin de représenter les différentes grandeurs physiques rencontrées dans notre environnement, différentes unités ont été dérivées à partir des unités SI de base. Le tableau 5.2 donne les unités SI dérivées et les grandeurs physiques correspondantes [1, 7]. Le tableau fournit aussi les symboles standard adoptés par accords internationaux, ainsi que leurs équivalents en unités SI de base.

TABLE 5.1 – Unités SI de base.

<i>grandeur de base</i>	<i>nom / name</i>	<i>symbole</i>	<i>définition</i>
longueur	mètre / meter	m	17 ^e CGPM, 1983
masse	kilogramme / kilogram	kg	3 ^e CGPM, 1901
temps	seconde / second	s	13 ^e CGPM, 1967
courant électrique	ampère / ampere	A	9 ^e CGPM, 1948
température	kelvin / kelvin	K	13 ^e CGPM, 1967
thermodynamique			
quantité de matière	mole / mole	mol	14 ^e CGPM, 1971
intensité lumineuse	candela / candela	cd	16 ^e CGPM, 1979

Les noms anglais des unités SI dérivées sont les mêmes qu'en français, à l'exception de « degree Celsius » et de « steradian ».

5.1.3 Autres unités en usage

Des unités supplémentaires, bien que ne faisant pas partie formellement du Système international d'unités sont couramment en usage. Le tableau 5.3 en présente la liste [1].

Malheureusement une certaine confusion persiste autour des unités employées en technologie de l'information, il en résulte qu'aucun accord global ne soit intervenu. Un certain accord semble en voie de se réaliser concernant le bit (symbolisé par « bit »), surtout dû au fait que le même mot et le même symbole puissent être utilisés en français et en anglais¹. Quant à l'octet (8 bits), bien qu'un accord semble moins évident à ce moment, l'usage du symbole « o » se répand en français et ne crée aucune confusion avec d'autres unités. La situation diffère en anglais, car le symbole « B » est actuellement le plus répandu pour signifier « byte », malgré la possible confusion avec le bel (voir tableau 5.3).

5.2 Préfixes recommandés

Le tableau 5.4 présente l'ensemble des préfixes recommandés actuellement en vigueur dans le Système international d'unités, de même que les symboles correspondants [1]. Les préfixes choisis représentent des puissances de 10. Bien qu'il existe des préfixes pour toutes les puissances de 10 incluses entre 10^{-3} et 10^3 , inclusivement, les autres préfixes ne correspondent qu'aux puissances de 10 qui sont multiples de 3 et qui sont comprises entre 10^{-24} et 10^{24} .

1. Notez qu'afin d'éviter la confusion entre « bit » et « byte », l'usage du symbole « b » n'est pas recommandé.

TABLE 5.2 – Unités SI dérivées.

<i>grandeur dérivée</i>	<i>nom</i>	<i>symbole</i>	<i>expression</i>
activité	becquerel	Bq	s^{-1}
quantité d'électricité, charge électrique	coulomb	C	$s \cdot A$
température Celsius	degré Celsius	°C	K
capacité électrique	farad	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
dose absorbée, énergie massique, kerma	gray	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$
inductance	henry	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
fréquence	hertz	Hz	s^{-1}
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
activité catalytique	katal	kat	$s^{-1} \cdot mol$
flux lumineux	lumen	lm	cd
éclairage lumineux	lux	lx	$m^{-2} \cdot cd$
force	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
résistance électrique	ohm	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
pression, contrainte	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
angle plan	radian	rad	1
conductance électrique	siemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
équivalent de dose	sievert	Sv	$m^2 \cdot s^{-2}$
angle solide	stéradian	sr	1
induction magnétique	tesla	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
différence de potentiel électrique, force électromotrice	volt	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
puissance, flux énergétique	watt	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
flux d'induction magnétique	weber	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$

TABLE 5.3 – Unités en dehors du SI, mais en usage avec le SI.

<i>grandeur</i>	<i>nom / name</i>	<i>symbole</i>	<i>valeur</i>
temps	minute	min	1 min = 60 s
temps	heure / hour	h	1 h = 3600 s
temps	jour / day	d	1 d = 86400 s
angle plan	degré / degree	°	1° = ($\pi/180$) rad
angle plan	minute	'	1' = ($\pi/10800$) rad
angle plan	seconde / second	"	1" = ($\pi/648000$) rad
volume	litre	l, L	1 l = 10 ⁻³ m ³
masse	tonne / metric ton	t	1 t = 10 ³ kg
grandeur logarithmique	neper	Np	1 Np = 1
grandeur logarithmique	bel	B	1 B = (1/2) ln 10 Np

TABLE 5.4 – Préfixes et symboles du Système international d'unités (SI). Les préfixes anglais sont les mêmes que les français, en leur retirant toutefois les accents.

<i>facteur</i>	<i>préfixe</i>	<i>symbole</i>	<i>adoption internationale</i>
10 ²⁴	yotta	Y	19 ^e CGPM, 1991
10 ²¹	zetta	Z	19 ^e CGPM, 1991
10 ¹⁸	exa	E	15 ^e CGPM, 1975
10 ¹⁵	peta	P	15 ^e CGPM, 1975
10 ¹²	téra	T	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁹	giga	G	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁶	méga	M	11 ^e CGPM, 1960
10 ³	kilo	k	11 ^e CGPM, 1960
10 ²	hecto	h	11 ^e CGPM, 1960
10 ¹	déca	da	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻¹	déci	d	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻²	centi	c	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻³	milli	m	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻⁶	micro	μ	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻⁹	nano	n	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻¹²	pico	p	11 ^e CGPM, 1960
10 ⁻¹⁵	femto	f	12 ^e CGPM, 1964
10 ⁻¹⁸	atto	a	12 ^e CGPM, 1964
10 ⁻²¹	zepto	z	19 ^e CGPM, 1991
10 ⁻²⁴	yocto	y	19 ^e CGPM, 1991

5.3 Règles d'écriture

Les règles décrites dans les sections 5.3.1 à 5.3.3 sont extraites des recommandations du *Bureau international des poids et mesures* [1, chap. 5] et du *National Institute of Standards and Technology* [8].

5.3.1 Unités et leurs symboles

Lorsqu'écrites au long, les unités sont toujours en caractères minuscules². Les symboles doivent toujours être écrits en caractères romains (droits) ; l'usage de l'italique est donc à proscrire. Ils sont écrits en minuscule, sauf dans le cas où le symbole est dérivé d'un nom propre. Par exemple, les unités seconde, radian, ampère et hertz sont symbolisées respectivement par s, rad, A et Hz.

Bien que le nom complet de l'unité doive prendre le pluriel lorsque l'usage l'oblige, le symbole demeure en tout temps invariable. Les symboles ne sont pas suivis d'un point, sauf à la fin d'une phrase où les règles appropriées de ponctuation s'appliquent.

5.3.2 Expressions algébriques de symboles d'unités

Lors de la composition d'expressions algébriques regroupant des symboles d'unités, il importe de respecter certaines règles de base assurant la clarté de la représentation et évitant toute ambiguïté. Les exemples qui suivent en font foi.

produit : il est recommandé d'écrire l'unité d'un moment par $N \cdot m$ ou $N\ m$, et non $N \times m$, ni Nm ;

quotient : il est recommandé d'écrire l'unité d'une vitesse par m/s , $m \cdot s^{-1}$ ou $\frac{m}{s}$, et non $m \div s$, ni ms^{-1} ;

produit et quotient : il est recommandé d'écrire l'unité d'une conductivité thermique par $W/(m \cdot K)$ ou $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, et non $W/m/K$, ni $W/m \cdot K$.

Lors de l'écriture d'une unité composée, il est interdit de mélanger des symboles et des noms complets d'unités. Par exemple, l'unité de vitesse est le mètre par seconde ou le m/s , mais pas le mètre/seconde, ni le m par s, ni le m par seconde, ni le m/seconde.

5.3.3 Usage des préfixes

Les préfixes en usage dans le Système international d'unités sont présentés au tableau 5.4. Les préfixes s'ajoutent aux unités sans trait d'union, ni espace, le nouveau mot ainsi formé représente aussi une unité. Le symbole de cette unité est formé en accolant (sans espace) le symbole du préfixe et le symbole de l'unité. L'ensemble ainsi formé constitue alors un nouveau symbole d'unité, dont les caractères sont inséparables. Par exemple, des nouvelles unités ainsi introduites sont nanoseconde (ns), microfarad (μF), millilitre (ml ou mL), kilopascal (kPa),

2. Sauf évidemment s'ils débudent une phrase.

mégaohm ($M\Omega$) et gigawatt (GW). Conséquemment un préfixe ne peut jamais être employé seul.

D'autre part, par exemple, l'unité de volume peut s'écrire de différentes façons : $\text{cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$. De même, le champ électrique peut se mesurer avec différentes unités, telles qu'en $\text{V}/\text{cm}^{-1} = \text{V}/(10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ V}/\text{m}^{-1}$.

Tout comme les symboles des unités (voir §5.3.1), les symboles des préfixes doivent toujours être écrits en caractères romains (droits). Le caractère minuscule ou majuscule de chaque préfixe doit être respecté. De plus, la juxtaposition de plusieurs préfixes est évidemment interdite. Par exemple, l'unité de longueur peut-être des nm, mais non des mµm !

L'utilisation de plusieurs unités avec préfixes dans une expression algébrique d'unités est permise, quoique cet usage puisse introduire une certaine confusion. Il peut alors être préférable de n'utiliser qu'un seul préfixe appliqué à la première unité. Par exemple, kW/m^2 peut être préférable à $\text{mW}/\mu\text{m}^2$ ou encore $\mu\text{V} \cdot \text{s}$, à $\text{mV} \cdot \text{ms}$. Notez que l'unité de masse, le kilogramme, fait exception puisque c'est une unité de base (§5.1.1).

5.3.4 Choix des préfixes

Plusieurs facteurs guident le choix du préfixe le plus approprié pour représenter une quantité physique. Parmi ceux-ci se retrouvent le besoin d'indiquer quels chiffres d'une valeur numérique sont significatifs (voir aussi §5.3.7.2), le besoin d'utiliser des valeurs numériques significantes, ou encore l'usage usuel dans un champ d'activités technologique ou scientifique donné [8, §7.9].

Par exemple, la mesure d'une distance peut être exprimée comme 1200 m si les 2 derniers chiffres sont significatifs. Sinon elle s'écrit plutôt 1,2 km.

Règle générale les préfixes sont choisis de façon à ce que la valeur numérique soit comprise entre 0,1 et 1000. Les puissances de 10 multiples de 3 sont utilisées en priorité.

5.3.5 Règles d'écriture des valeurs numériques

L'écriture des nombres varie selon la langue utilisée. En français on utilise la virgule comme séparateur décimal et un espace insécable sépare les groupes de 3 chiffres. Par contre, en anglais, le séparateur décimal est le point, et une virgule sépare les groupes de 3 chiffres. Par exemple, on écrit « La valeur de π est 3,141592653... » et « Value of π is 3.141592653... ».

5.3.6 Règles d'écriture des valeurs avec unités

Suivant les recommandations du *Bureau international des poids et mesures* [1], les valeurs avec unités peuvent s'écrire de deux façons selon que le nom de l'unité en question soit écrit au long ou que le symbole soit utilisé. La section 5.3.1 résume les règles d'écriture des unités et de leurs symboles.

La valeur numérique est toujours placée avant les unités. Un espace insécable³ sépare

3. Un espace insécable est réalisé avec le symbole « ~ ».

toujours le nombre de l'unité⁴. Par conséquent, il est *incorrect* d'écrire 27kΩ, 110V ou encore 25,4mm. Même le symbole exprimant un pourcentage doit être précédé d'un espace insécable. Par exemple, on écrit 0,928 ou encore 92,8 %, et non 92,8%.

Les exemples qui suivent démontrent diverses situations rencontrées lorsque l'unité est utilisée telle quelle, sans préfixe.

nom d'unité seul : 14 watts, 0,078 newton, 5,1 secondes, 32 degrés Celsius ;

symbole d'unité seul : 14 W, 0,078 N, 5,1 s, 32 °C ;

Les prochains exemples illustrent différentes situations où l'unité est utilisée avec un préfixe.

préfixe + nom d'unité : 58,3 kilogrammes, 47 picofarads, 95,3 mégahertz, 105,2 hectolitres ;

préfixe + symbole d'unité : 58,3 kg, 47 pF, 95,3 MHz, 105,2 hl ou 105,2 hL.

L'usage des noms au long peut parfois être approprié pour le texte, bien que cette façon de faire l'alourdisse rapidement. Dans un document technique, il est recommandé de toujours utiliser les symboles SI accompagnés des préfixes opportuns.

Aucune information ne doit être ajoutée aux unités pour qualifier le type de valeur. Par exemple, il est possible de parler d'une tension maximale de 125 V, soit $V_{\max} = 125 \text{ V}$, mais non d'une tension de 125 V_{\max} . De même, on ne parle pas de volts efficaces, mais d'une valeur efficace de tension exprimée en volts.

Par souci de clarté, la valeur de chaque quantité physique est constituée d'une valeur numérique et de l'unité appropriée. Par exemple, les dimensions d'un solide peuvent s'écrire 3 cm × 2 cm × 1 cm, et non 3 × 2 × 1 cm. De plus, une plage de tensions possibles est de 110 V à 125 V, ou encore (110 à 125) V et non de 110 à 125 V.

5.3.7 Conventions pour la présentation des résultats de mesure

Cette section présente les conventions usuelles qui permettent de présenter les résultats de mesure en y spécifiant justement et correctement la valeur mesurée et son incertitude [9, App. A].

5.3.7.1 Notation des résultats avec incertitude

Si \tilde{X} représente le résultat d'une mesure et que Δ_b et Δ_h sont respectivement les estimations des limites basse et haute de l'erreur, alors le résultat de la mesure avec incertitude s'écrit :

$$X = \tilde{X}_{\Delta_b}^{\Delta_h}. \quad (5.1)$$

Par exemple, un condensateur de type céramique dont la valeur est

$$C = 0,10_{-0,02}^{+0,08} \mu\text{F}. \quad (5.2)$$

4. Une seule exception à cette règle existe. Il s'agit de l'usage du symbole représentant les degrés de mesure d'un angle plan, tel que dans 45 degrés ou 45° (le package `babel` recommande d'ailleurs l'usage de la commande « `\degres` » afin d'obtenir le symbole adéquat).

Les limites basse et haute de l'erreur sont fréquemment de même amplitude, $|\Delta_b| = |\Delta_h| = \Delta$, alors le résultat de la mesure avec incertitude s'écrit :

$$X = \tilde{X} \pm \Delta. \quad (5.3)$$

Par exemple, une résistance de précision, dont la tolérance est de $\pm 1\%$, à film de métal, dont la valeur est

$$R = 4,32 \text{ k}\Omega \pm 0,04 \text{ k}\Omega = (4,32 \pm 0,04) \text{ k}\Omega. \quad (5.4)$$

5.3.7.2 Nombre de chiffres significatifs

Le nombre de chiffres significatifs utilisé dans le nombre qui représente le résultat d'une mesure doit correspondre à l'incertitude sur la mesure. La valeur numérique du résultat d'une mesure doit donc être représentée de façon à ce que son dernier chiffre significatif ait le même poids que le dernier chiffre de l'incertitude. Si ce dernier chiffre significatif est un 0, il est tout de même retenu. Lors du dernier exemple de la section précédente, la valeur mesurée de la résistance était fournie avec une incertitude de l'ordre de la dizaine d'ohm, il était donc nécessaire de spécifier la valeur mesurée arrondie à la dizaine d'ohm, sans plus de décimales, ni moins. Les règles d'arrondi seront énumérées à la section 5.3.7.4, alors que les règles dictant la précision nécessaire pour exprimer l'incertitude seront établies à la section 5.3.7.3.

5.3.7.3 Précision de l'incertitude

L'incertitude représente l'imprécision d'une mesure, elle n'a donc pas à être connue avec précision. Pour cette raison, il est d'usage de n'utiliser qu'un ou deux chiffres significatifs pour exprimer l'incertitude. A priori un seul chiffre est donc requis. Les mesures de plus grande précision requièrent quant à elles toujours deux chiffres. Si le chiffre le plus significatif de l'incertitude est plus petit ou égal à 3, alors l'usage d'un seul chiffre est tout aussi approprié que celui de deux chiffres. Par exemple, un courant peut être mesuré au laboratoire comme

$$I = (15,01 \pm 0,06) \text{ mA}, \quad (5.5)$$

ou encore

$$I = (2,29 \pm 0,02) \text{ mA} \quad \text{ou} \quad (2,290 \pm 0,017) \text{ mA}. \quad (5.6)$$

Dans le dernier cas, l'incertitude de 0,017 pouvait être arrondie à 0,02 au prix d'une estimation légèrement moins précise. En comparaison, la valeur officiellement recommandée pour la charge électronique est actuellement connue (depuis 2002 [10]) comme

$$e = (1,60217653 \pm 0,00000014) \times 10^{-19} \text{ C}, \quad (5.7)$$

où deux chiffres significatifs seront nécessairement conservés pour qualifier ce résultat de grande précision.

5.3.7.4 Règles d'arrondi

Il est régulièrement nécessaire d'arrondir le résultat d'une mesure, c'est-à-dire d'ajuster le dernier chiffre significatif conservé à droite de cette valeur. Les règles suivantes doivent être suivies lorsqu'un résultat est arrondi. Généralement l'arrondi d'un résultat implique que les chiffres entiers retirés sont remplacés par des 0, alors que les décimales sont simplement enlevées.

1. Le dernier chiffre retenu n'est pas changé si le chiffre adjacent retiré est inférieur à 5. Par exemple, la valeur numérique 1512 serait arrondie à 1510 si l'incertitude était de ± 40 . Par exemple, la valeur numérique de 35,7523 serait arrondie à 35,75 si l'incertitude était de $\pm 0,07$.
2. Le dernier chiffre retenu est augmenté de 1 si le chiffre adjacent retiré est supérieur à 5, ou s'il est égal à 5 et que les chiffres suivants sont différents de 0. Par exemple, la valeur numérique 1828 serait arrondie à 1830 si l'incertitude était de ± 40 . Par exemple, la valeur numérique de 35,7523 serait arrondie à 35,8 si l'incertitude était de $\pm 0,7$.
3. Si le chiffre retiré est égal à 5 et que les chiffres à sa droite sont 0 ou inconnus, alors le dernier chiffre retenu est conservé s'il est pair et il est augmenté de 1 s'il est impair. Le dernier chiffre retenu est donc toujours pair. Par exemple, la valeur numérique 725 serait arrondie à 720 si l'incertitude était de ± 10 . Par exemple, la valeur numérique de 4,335 serait arrondie à 4,34 si l'incertitude était de $\pm 0,05$.

Par contre, lors de calculs intermédiaires il est bien entendu nécessaire de conserver au moins 2 chiffres significatifs de plus, à la fois pour les résultats et pour leurs incertitudes, afin de minimiser l'ajout d'erreurs. Seul le résultat final et son incertitude sont arrondis.

Bibliographie

- [1] Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre, *Le Système international d'unités (SI)*, 7^e édition, Bureau international des poids et mesures, 1998. ISBN 92-822-2154-7. Référence accessible sur le site du BIPM : <http://www.bipm.org/fr/si/>.
- [2] Roger C. PARKER et Lise THÉRIEN, *Mise en page — Un guide de conception graphique sur micro-ordinateur*, Les Éditions Reynald Goulet Inc., 1991. ISBN 2-8937-7045-2.
- [3] Donald E. KNUTH, *The T_EXbook*, Addison Wesley Professional, 1984. ISBN 0-201-13448-9.
- [4] Leslie LAMPORT, *L^AT_EX : A document Preparation System*, 2^e édition, Addison Wesley Professional, 1994. ISBN 0-201-52983-1.
- [5] Frank MITTELBAACH, Michel GOOSSENS, Johannes BRAAMS, David CARLISLE et Chris ROWLEY, *The L^AT_EX Companion*, 2^e édition, Addison Wesley, 2004. ISBN 0-201-36299-6.
- [6] Bibliothèque de l'Université Laval. *Comment citer un document électronique ?*, [En ligne]. <http://www.bibl.ulaval.ca/doelec/doelec29.html> (Page consultée le 14 janvier 2007)
- [7] Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre, *Le Système international d'unités (SI) — Supplément 2000 : additions et corrections à la 7^e édition (1998)*, Bureau international des poids et mesures, 2000. Référence accessible sur le site du BIPM : <http://www.bipm.org/fr/si/>.
- [8] Barry N. TAYLOR, *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*, NIST Special Publication 811, 1995. Référence accessible sur le site du NIST : <http://physics.nist.gov/Pubs/pdf.html>.
- [9] Klaas B. KLAASSEN, *Electronic Measurement and Instrumentation*, Cambridge University Press, 1996. ISBN 0-521-47729-8.
- [10] Peter J. MOHR et Barry N. TAYLOR, « CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants : 2002 », *Review of Modern Physics*, **77**, p. 1-107 (2005).

Annexe A

Liste des sigles et des acronymes

BIPM	Bureau international des poids et mesures
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
ISBN	International Standard Book Number
JPEG	Joint Photographic Experts Group
NIST	National Institute of Standards and Technology
PDF	Portable Document Format
RADARSAT	RADAR SATellite
SI	Système international d'unités
URL	Uniform Resource Locator