

Premiers pas en LaTeX (suite)

LaTeX est aujourd'hui le standard utilisé dans l'édition mathématique (que ce soit articles de recherche, livres de maths, photocopiés de cours, feuilles de TD, etc.). Le but de cette séance est d'apprendre à taper des formules avec LaTeX. Au début, cela fait beaucoup de commandes à mémoriser, mais avec la pratique, on finit par connaître la plupart des commandes et cela permet de taper les formules relativement rapidement. Ne pas hésiter à utiliser les menus de symboles de TeXmaker dans le panneau de gauche.

2.1 Le mode mathématique

Pour taper des formules mathématiques avec LaTeX, il y a besoin d'entrer en mode mathématiques. Pour mettre une formule dans le texte, comme $y = f(x)$, il suffit de mettre la formule entre deux dollars : $y=f(x)$. Pour mettre une formule en évidence, comme

$$y = f(x)$$

il faut utiliser

```
\[y=f(x)\]
```

L'utilisation d'une autre commande que `\[. . . \]` (comme par exemple `$$. . . $$` que vous trouverez dans certains livres) pour mettre une formule en évidence sera considéré comme une faute grave et sévèrement sanctionné.

Pour une équation numérotée, comme

$$y = f(x) \tag{2.1}$$

il faut utiliser

```
\begin{equation}
y=f(x)
\end{equation}
```

Pour faire référence à une équation numérotée, il faut placer un `\label` avec une étiquette, par exemple :

```
\begin{equation}\label{eq:fonction.f}
y=f(x)
\end{equation}
```

puis utiliser `\eqref{eq:fonction.f}` pour imprimer (2.1), `\pageref{eq:fonction.f}` pour imprimer le numéro de page 1 de l'équation (on peut aussi utiliser `\ref{eq:fonction.f}` pour imprimer 2.1, c'est-à-dire le numéro de l'équation sans les parenthèses). Comme la table des matières, ces commandes requièrent deux compilation successives pour fonctionner correctement. Noter que les commandes `\label`, `\ref` et `\pageref` ne sont pas limitées aux équations, mais fonctionnent aussi pour des sections ou des théorèmes.

Exercice 1. — Retranscrire le texte suivant :

Soit f une fonction vérifiant

$$f(x) = 2x + 1. \quad (1)$$

On a $f(x) - 1 = 2x$ d'après la formule (1).

2.2 Indices et exposants

Deux opérations fondamentales en mode mathématique sont la mise en exposant et la mise en indice.

Pour obtenir un indice, il faut utiliser la touche `_` (Ctrl+Alt+8). Par exemple, taper `x_1` donnera x_1 . Attention, taper `x_{12}` ne donne pas x_{12} mais x_12 : seul le premier caractère tapé après `_` est mis en indice ; pour obtenir x_{12} , il faut taper `x_{12}`.

Pour obtenir un exposant, il faut utiliser `^` (accent circonflexe). Par exemple, `x^2` donne x^2 . De même que pour les indices, `x^{23}` donne x^{23} tandis que `$x^{2}3$` donne x^23 .

On peut bien sûr combiner les deux, dans l'ordre que l'on veut : `x_{1^2}` ou `x^{2}_1` donne x_1^2 .

Exercice 2. — Taper les formules suivantes :

$$(x^2)^2 = x^{2^2}$$

$$F_n = 2^{2^n} + 1$$

2.3 Symboles d'usage courant, flèches

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\infty</code>	∞	<code>\to</code>	\rightarrow	<code>\in</code>	\in
<code>\forall</code>	\forall	<code>\mapsto</code>	\mapsto	<code>\subset</code>	\subset
<code>\exists</code>	\exists	<code>\implies</code>	\implies	<code>\cup</code>	\cup
<code>\varnothing</code>	\emptyset	<code>\iff</code>	\iff	<code>\cap</code>	\cap
<code>\partial</code>	∂	<code>\hookrightarrow</code>	\hookrightarrow	<code>\setminus</code>	\setminus
<code>\ell</code>	ℓ	<code>\twoheadrightarrow</code>	\twoheadrightarrow	<code>\leq</code>	\leq
<code>\times</code>	\times	<code>\nearrow</code>	\nearrow	<code>\geq</code>	\geq
<code>\cdot</code>	\cdot	<code>\searrow</code>	\searrow	<code>\approx</code>	\approx
<code>\pm</code>	\pm			<code>\simeq</code>	\simeq
<code>\neq</code>	\neq			<code>\equiv</code>	\equiv

Pour la négation d'un symbole, on peut utiliser `\not`. Par exemple, `$F \not\subset E$` fournit $F \not\subset E$.

Mentionnons pour finir comment faire des points de suspension :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\dots</code>	\dots	<code>\ddots</code>	\ddots	<code>\vdots</code>	\vdots
<code>\cdots</code>	\cdots				

(La différence entre `\cdots` (\cdots) et `\dots` (\dots) est qu'ils ne sont pas sur la même ligne horizontale.)

Exercice 3. — Taper les formules suivantes :

$$y = x^2 \iff x = y^{1/2}$$

$$x > 0 \implies x^2 \neq 0$$

$$x \in X \setminus Y \implies x \notin Y$$

2.4 Racine carrée, racine n -ième

La racine carrée s'obtient par `\sqrt` et la racine n -ième par `\sqrt[n]`. Par exemple,

$$\backslash[\backslash\sqrt{1+x} + \backslash\sqrt[3]{1+x}\backslash] \quad \text{donne} \quad \sqrt{1+x} + \sqrt[3]{1+x}$$

Exercice 4. — Taper les formules suivantes :

$$u_{n+1} = \sqrt[n]{1+u_n}$$

$$x_5 = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1}}}}}$$

2.5 Fractions

Pour les fractions, on utilise la commande `\frac` qui prend deux arguments, le numérateur et le dénominateur. Par exemple, `\frac{1}{2}` donnera $\frac{1}{2}$ tandis que `\[\frac{1}{2}\]` donnera

$$\frac{1}{2}$$

Exercice 5. — Taper les formules suivantes :

$$x^{1/3} = x^{\frac{1}{3}} = \sqrt[3]{x}$$

$$\sqrt{2} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{\ddots}}}}$$

2.6 Texte dans les maths

La commande `\text` permet d'insérer du texte dans une formule tandis que la commande `\quad` insère de l'espace autour du texte. Par exemple, pour obtenir

$$y = x^2 \quad \text{et donc} \quad x = \sqrt{y}$$

on tape

$$\backslash[y = x^2 \quad \backslash\text{et donc} \quad \backslash\quad x = \backslash\sqrt{y}\backslash]$$

Exercice 6. — Taper la formule suivante :

$$(\sqrt{x})^2 = x \quad \text{mais} \quad \sqrt{x^2} \neq x \quad \text{en général.}$$

2.7 Lettres grecques

Pour taper les lettres grecques, il suffit de précéder le nom de la lettre par un anti-slash ; par exemple `\alpha` donne α . Voici une liste complète des lettres grecques disponibles sous LaTeX :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\alpha</code>	α	<code>\nu</code>	ν	<code>\Gamma</code>	Γ
<code>\beta</code>	β	<code>\xi</code>	ξ	<code>\Delta</code>	Δ
<code>\gamma</code>	γ	<code>\pi</code>	π	<code>\Theta</code>	Θ
<code>\delta</code>	δ	<code>\rho</code>	ρ	<code>\Lambda</code>	Λ
<code>\epsilon</code>	ϵ	<code>\sigma</code>	σ	<code>\Xi</code>	Ξ
<code>\zeta</code>	ζ	<code>\tau</code>	τ	<code>\Pi</code>	Π
<code>\eta</code>	η	<code>\upsilon</code>	υ	<code>\Sigma</code>	Σ
<code>\theta</code>	θ	<code>\phi</code>	ϕ	<code>\Upsilon</code>	Υ
<code>\iota</code>	ι	<code>\chi</code>	χ	<code>\Phi</code>	Φ
<code>\kappa</code>	κ	<code>\psi</code>	ψ	<code>\Psi</code>	Ψ
<code>\lambda</code>	λ	<code>\omega</code>	ω	<code>\Omega</code>	Ω
<code>\mu</code>	μ				

Noter aussi que certains de ces caractères grecs ont des variantes :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\varepsilon</code>	ε	<code>\varpi</code>	ϖ	<code>\varphi</code>	φ
<code>\vartheta</code>	ϑ	<code>\varrho</code>	ϱ		

Ne pas utiliser ces variantes directement. Il vaut mieux redéfinir les caractères grecs normaux. Par exemple pour utiliser ε au lieu de ϵ , il suffira de mettre, dans le préambule :

```
\renewcommand{\epsilon}{\varepsilon}
```

On pourra alors taper `\epsilon` pour obtenir ε .

Exercice 7. — Taper la formule suivante :

$$\frac{\pi^2}{6} + \gamma = \Gamma(n) + \sqrt[n]{1 + \alpha}$$

2.8 Grands opérateurs : intégrales, sommes, produits, etc.

Noter que les grands opérateurs changent de taille selon que la formule est mise en évidence ou pas :

COMMANDE	<code>...</code>	<code>\[...\]</code>	COMMANDE	<code>...</code>	<code>\[...\]</code>
<code>\int</code>	\int	\int	<code>\bigoplus</code>	\oplus	\oplus
<code>\sum</code>	\sum	\sum	<code>\bigotimes</code>	\otimes	\otimes
<code>\prod</code>	\prod	\prod	<code>\coprod</code>	\amalg	\amalg
<code>\bigcup</code>	\cup	\cup	<code>\iint</code>	\iint	\iint
<code>\bigcap</code>	\cap	\cap	<code>\iiint</code>	\iiint	\iiint
<code>\bigsqcup</code>	\sqcup	\sqcup			

(Pour une liste complète, voir [symbols, p. 25].)

Pour mettre des bornes à ces objets, il suffit d'utiliser les commandes d'indice et/ou d'exposant. Le placement des indices et exposants dépend de si la formule est mise en évidence ou pas. Voici quelques exemples :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\[\int_a^b f\]</code>	$\int_a^b f$	<code>\[\sum_{n=0}^{18} u_n\]</code>	$\sum_{n=0}^{18} u_n$
<code>\int_a^b f\$</code>	$\int_a^b f$	<code>\sum_{n=0}^{18} u_n\$</code>	$\sum_{n=0}^{18} u_n$

Pour mettre plusieurs lignes dans les indices, il faut utiliser `\substack` ; à l'intérieur de l'argument de `\substack`, on passe à la ligne avec `\\`. Par exemple

$$\[(x+y)^n = \sum_{\substack{1 \leq k, l \leq n \\ k+l=n}} C_n^k x^k y^l\]$$

donne

$$(x+y)^n = \sum_{\substack{1 \leq k, l \leq n \\ k+l=n}} C_n^k x^k y^l$$

Exercice 8. — Taper les formules suivantes :

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^1 -\frac{\ln(1-t)}{t} dt \approx 1,644934$$

2.9 Fonctions mathématiques

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\ln</code>	ln	<code>\inf</code>	inf	<code>\arccos</code>	arccos
<code>\exp</code>	exp	<code>\deg</code>	deg	<code>\arcsin</code>	arcsin
<code>\lim</code>	lim	<code>\det</code>	det	<code>\arctan</code>	arctan
<code>\max</code>	max	<code>\dim</code>	dim	<code>\gcd</code>	gcd
<code>\sup</code>	sup	<code>\ker</code>	ker	<code>\hom</code>	hom
<code>\min</code>	min	<code>\arg</code>	arg	<code>\lg</code>	lg
<code>\cos</code>	cos	<code>\sinh</code>	sinh	<code>\log</code>	log
<code>\sin</code>	sin	<code>\cosh</code>	cosh	<code>\liminf</code>	lim inf
<code>\tan</code>	tan	<code>\tanh</code>	tanh	<code>\limsup</code>	lim sup
<code>\cot</code>	cot	<code>\coth</code>	coth		

Certaines de ces commandes prennent, tout comme \sum ou \int , des bornes. Le principe est le même, on utilise des indices ou des exposants pour les taper. Par exemple,

$$\[\lim_{x \to 0} f(x)\] \text{ donne } \lim_{x \rightarrow 0} f(x)$$

On peut bien sûr utiliser `\substack` en indice si besoin est. On peut aussi définir de nouveaux opérateurs avec

```
\DeclareMathOperator{\cotan}{cotan}
```

qui permettra d'utiliser `\cotan` pour obtenir `cotan`. Il y a aussi une variante étoilée pour les objets du type `\lim` ou `\max` qui prennent des bornes. Par exemple

```
\DeclareMathOperator*\supess{\sup\,ess}
```

définira une commande `\supess` imprimant `sup ess` et se comportant comme `\lim`.

Exercice 9. — Taper les formules suivantes :

$$\cos^2 + \sin^2 = 1$$

$$2^{\ln x} = x^{\ln 2}$$

$$\max_{\substack{x,y \in E \\ x \cdot y = 0}} \phi(x)$$

2.10 Délimiteurs

NOM	COMMANDE	RÉSULTAT	NOM	COMMANDE	RÉSULTAT
parenthèse ouvrante	((partie entière ouvrante	<code>\lfloor</code>	[
parenthèse fermante))	partie entière fermante	<code>\rfloor</code>]
crochet ouvrant	[[troncature ouvrante	<code>\lceil</code>	⌈
crochet fermant]]	troncature fermante	<code>\rceil</code>	⌋
accolade ouvrante	<code>\{</code>	{	crochet angulaire ouvrant	<code>\langle</code>	<
accolade fermante	<code>\}</code>	}	crochet angulaire fermant	<code>\rangle</code>	>
barre verticale ouvrante	<code>\lvert</code>		slash médian	/	/
barre verticale fermante	<code>\rvert</code>		anti-slash médian	<code>\backslash</code>	\
double barre verticale ouvr.	<code>\lVert</code>		délimiteur vide	.	.
double barre verticale ferm.	<code>\rVert</code>				

Il est important de comprendre que, même si `\lvert` et `\rvert` se ressemblent, ils ne peuvent pas être interchangés : `\lvert` doit toujours être utilisé pour ouvrir et `\rvert` pour refermer. Par exemple, `|x|` se tape `$\lvert x \rvert $`. Les seuls délimiteurs à n'être ni ouvrant ni fermant mais médian sont le slash / et l'anti-slash \. Pour un exemple d'utilisation d'un délimiteur vide, voir l'exercice 12.

Exercice 10. — Taper les formules suivantes.

$$\|x\| = 1 \iff \langle x, x \rangle = 1$$

$$|\{1, 2, \dots, n\}| = n$$

$$\lfloor x^2 + \epsilon \rfloor = \lceil \sqrt{y} + \delta \rceil$$

Pour avoir des délimiteurs qui sont de la même taille que ce qu'ils entourent, il faut précéder le délimiteur ouvrant par `\left` et le délimiteur fermant par `\right`. Par exemple

$$\backslash\left(1+\frac{1}{n}\right)^n \quad \text{donne} \quad \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

Exercice 11. — Taper les formules suivantes :

$$\left[\sum_{n=1}^N u_n \right]^2 = N^2 + N + 1$$

$$\left[1 + \left(\int_0^{\sqrt{2}} f \right)^2 \right] = \gamma$$

On peut aussi utiliser `\middle` pour mettre un délimiteur médian au milieu d'un couple `\left` et `\right`. Par exemple :

$$\backslash[\backslashleft\{x\middle|x^2<\frac{1}{2}\backslashright\}\backslash] \text{ donne } \left\{x \middle| x^2 < \frac{1}{2}\right\}$$

En fait, ici, la barre verticale est trop proche de ce qu'il y a autour d'elle et il faut rajouter à la main deux petits espaces avec la commande `\,`. Ainsi, on tapera

$$\backslash[\backslashleft\{x\,,\middle|\,,x^2<\frac{1}{2}\backslashright\}\backslash] \text{ ce qui donne } \left\{x \middle| x^2 < \frac{1}{2}\right\}$$

Ne pas utiliser la commande `\,` sauf si c'est indispensable (le seul autre cas qu'on verra lors de cette séance est pour l'élément différentiel des intégrales¹).

Exercice 12. — Taper la formule suivante :

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

2.11 Alphabets mathématiques

Voici un résumé des alphabets mathématiques disponibles :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\$\$\mathbb{R}\$\$</code>	\mathbb{R}	<code>\$\$\mathbf{x}\$\$</code>	\mathbf{x}
<code>\$\$\mathcal{C}\$\$</code>	\mathcal{C}	<code>\$\$\boldsymbol{x}\$\$</code>	\boldsymbol{x}
<code>\$\$\mathfrak{S}\$\$</code>	\mathfrak{S}	<code>\$\$\mathit{PGL}\$\$</code>	PGL
<code>\$\$\mathrm{x}\$\$</code>	x		

Noter la différence (subtile, mais visible) entre `PGL` et `$$\mathit{PGL}$$` : PGL et PGL . Ne pas confondre `\mathrm` et `\text` : le premier est pour mettre des maths en romain tandis que le second est pour insérer du texte dans une formule.

Exercice 13. — Taper la formule suivante :

$$\mathcal{L}f = \int_a^b f dt$$

2.12 Accents mathématiques

Voici les accents pouvant se mettre sur une lettre seule :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\tilde</code>	\tilde{a}	<code>\dot</code>	\dot{a}	<code>\acute</code>	\acute{a}
<code>\vec</code>	\vec{a}	<code>\ddot</code>	\ddot{a}	<code>\breve</code>	\breve{a}
<code>\hat</code>	\hat{a}	<code>\ddd</code>	\dddot{a}	<code>\grave</code>	\grave{a}
<code>\check</code>	\check{a}	<code>\dddd</code>	\ddddot{a}	<code>\bar</code>	\bar{a}
<code>\mathring</code>	\mathring{a}				

Il existe aussi des accents extensibles :

1. Toute utilisation abusive de `\,` dans un document que vous me rendrez sera sanctionnée.

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\widetile</code>	\widetilde{abc}	<code>\overline</code>	\overline{abc}	<code>\overbrace</code>	\overbrace{abc}
<code>\overrightarrow</code>	\overrightarrow{abc}	<code>\underline</code>	\underline{abc}	<code>\underbrace</code>	\underbrace{abc}
<code>\widehat</code>	\widehat{abc}	<code>\overleftarrow</code>	\overleftarrow{abc}		

Pour `\overbrace` et `\underbrace`, il est possible de placer du matériel au-dessus ou en-dessous en utilisant `_` et `^`. Par exemple :

$$\backslash[\overbrace{x^3 + x^2 + x + 1}^{\rightarrow 0}\backslash] \text{ donne } x^3 + x^2 + x + 1$$

et

$$\backslash[\underbrace{x^3 + x^2 + x + 1}_{\rightarrow 0}\backslash] \text{ donne } x^3 + x^2 + x + 1$$

Exercice 14. — Écrire la formule suivante :

$$\overrightarrow{OM} = \underbrace{O + \vec{u}}_{\text{point+vecteur}}$$

2.13 Exercices de synthèse

Pour tous les symboles disponibles en LaTeX, voir le document [symbols] mentionné sur la page web. Faire attention au(x) package(s) nécessaire(s) à un symbole, tous les packages ne sont pas forcément compatibles avec notre préambule ni forcément disponible.

Exercice 15. — Taper les formules suivantes :

$$\sqrt{\sum_{n=0}^{+\infty} u_n} = \left(\int_a^b f \, dt \right)^2 + \gamma \times \frac{\pi^2}{6}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \sin \left| \frac{1 - \sqrt[3]{3}}{2} \right| \quad \text{mais} \quad f(0) = \ln^2 3$$

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ x > 0}} \frac{(\sin x)^{\cos x} - (\cos x)^{\sin x}}{x^3}$$

$$\forall x \in \mathbb{R}, \quad f(x) = 0 \iff x^{1/3} + \ln \tan x = \omega$$

2.14 Récapitulatif sur les caractères ambigus

Il y a un certain nombre de caractères ambigus avec LaTeX. Par exemple, dans les deux formules « $d | n$ » et « $|x|$ », la barre verticale a trois significations distinctes donc doit être tapée différemment à chaque fois pour obtenir un espacement correct. Voici les différents visages de ce symbole.

SIGNIFICATION	EXEMPLE	CODE
valeur absolue	$ -x $	<code>\lvert -x \rvert</code>
divise	$d n$	<code>d \mid n</code>
tel que	$\{x \sin x = 0\}$	<code>\{x \mid \sin x = 0\}</code>
restreint à	$f _F$	<code>f _F</code>

Un autre caractère qui peut poser problème est \parallel :

SIGNIFICATION	EXEMPLE	CODE
norme	$\ -x\ $	<code>\lVert -x \rVert</code>
divise exactement	$p^2 \parallel n$	<code>p^2 \parallel n</code>
parallèle à	$(AB) \parallel (CD)$	<code>(AB) \parallel (CD)</code>

Il y a aussi le symbole pour les deux points :

SIGNIFICATION	EXEMPLE	CODE
deux points	$f: X \rightarrow Y$	<code>f \colon X \to Y</code>
	$C: x^2 + y^2 = 1$	<code>\mathcal{C} \colon x^2+y^2=1</code>
indice ... dans	$[G: H]$	<code>[G:H]</code>
tel que	$\{x: \sin x = 0\}$	<code>\{x : \sin x = 0\}</code>
égal par définition	$A := 3$	<code>A \coloneqq 3</code>
point projectif	$[x_1: \dots: x_n]$	<code>[x_1 : \dots : x_n]</code>

(La commande `\coloneqq` nécessite le package `mathtools`.)

2.15 Commandes personnelles en mode mathématique

Exercice 16. — En utilisant des commandes personnelles judicieusement choisies, taper les formules suivantes :

$$\left| \left\{ x \in \mathbb{Z} \mid x^2 < 2 \right\} \right| = \bigcup_{n \in \mathbb{N}^*} \left| \left\{ x \in \mathbb{Z} \mid x^2 < 2 - \frac{1}{n} \right\} \right|$$

$$\mathbb{S}^1 = \left\{ x \in \mathbb{R}^2 \mid \|x\| = 1 \right\}$$

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^2 C_{2n}^n} = \frac{\zeta(2)}{3} = \frac{\pi^2}{18}$$

$$S(x) = \int_0^x \frac{\sin x}{x} dx \quad \text{avec} \quad \lim_{x \rightarrow +\infty} S(x) = \frac{\pi}{2}$$