

## Tableaux, alignement de formules, formules mathématiques (suite)

### 4.1 Syntaxe pour les tableaux avec LaTeX

On peut faire à peu près n'importe quel tableau avec LaTeX, même si la syntaxe peut certaine fois être relativement lourde. Lorsqu'on fait des tableaux, toujours charger le package `array` (dans le préambule et, comme toujours, avant `hyperref`), qui corrige certains petits problèmes concernant les raccords entre traits horizontaux et verticaux et étend les possibilités pour les tableaux.

```
\usepackage{array}
```

Pour taper un tableau, on utilise l'environnement `tabular`. Cet environnement prend un argument obligatoire qui est la spécification des colonnes. Les types de colonnes de base<sup>1</sup> sont `c` (centré), `l` (aligné à gauche), `r` (aligné à droite) et `p{5cm}` (paragraphe de 5cm de large). Par exemple, pour obtenir un tableau avec trois colonnes, la première étant centrée, la deuxième un paragraphe de 7 cm et la dernière alignée à droite, on fait :

```
\begin{tabular}{cp{7cm}r}  
\end{tabular}
```

Le texte des différentes colonnes est séparé par un `&` et on passe à la ligne suivante en utilisant `\\`. Par exemple :

```
\begin{tabular}{cp{7cm}r}  
Mais où & est donc & Ornicar \\  
Dès Noël où un zéphyr & haï me vêt de glaçons würmiens, je dîne  
d'exquis rôtis de bœuf au kir à l'ay & d'âge mûr & cætera ! \\  
\end{tabular}
```

Mais où est donc Ornicar  
donne : Dès Noël où un zéphyr haï me vêt de glaçons würmiens, je dîne d'ex- d'âge mûr & cætera !  
quis rôtis de bœuf au kir à l'ay

(Noter que le tableau est la suite du texte ; pour éviter ceci, le mettre dans un environnement `center` ou `flushleft` par exemple. On peut aussi faire flotter les tableaux et LaTeX s'occupera de le placer là où il y a de la place ; voir l'environnement `table` dont on parle plus bas.)

---

1. Le package `array` permet de définir d'autres type de colonnes ce que font aussi certains packages. On y reviendra au cours d'une séance ultérieure.

La commande `\\` doit uniquement être utilisée pour passer à la ligne dans les tableaux. Elle ne doit pas être utilisée pour aller à la ligne lorsqu'on tape du texte (il faut laisser une ligne blanche dans le fichier source). L'utilisation abusive de `\\` dans un document que vous me rendez sera sévèrement sanctionnée.

Pour rajouter un trait vertical entre deux colonnes, il suffit de mettre un `|` dans la spécification des colonnes. Par exemple, en utilisant

```
\begin{tabular}{c|p{7cm}r}
```

dans le tableau précédent, on obtient, en centrant le tableau avec l'environnement `center` :

Mais où	est donc	Ornicar
Dès Noël où un zéphyr	haï me vêt de glaçons würmiens, je dîne d'ex-	d'âge mûr & cætera !
	quis rôtis de bœuf au kir à l'ây	

Pour tracer un trait horizontal, il y a la commande `\hline`. Cette commande doit être soit au tout début du tableau soit après un `\\`. Voici un exemple :

```
\begin{tabular}{c|p{7cm}|r|}
\hline
Mais où & est donc & Ornicar \\
\hline
Dès Noël où un zéphyr & haï me vêt de glaçons würmiens, je dîne
d'exquis rôtis de bœuf au kir à l'ây & d'âge mûr & cætera ! \\
\hline
\end{tabular}
```

qui donne :

Mais où	est donc	Ornicar
Dès Noël où un zéphyr	haï me vêt de glaçons würmiens, je dîne d'ex-	d'âge mûr & cætera !
	quis rôtis de bœuf au kir à l'ây	

**Exercice 1.** — Reproduire le tableau suivant.

$f(x)$	$\int f(x) dx$
$\sin x$	$-\cos x + C$
$e^x$	$e^x + C$
$\frac{1}{1+x^2}$	$\arctan x + C$
$\sqrt{ax+b}$	$\frac{1}{a} \frac{2}{3} (ax+b)^{3/2} + C$
$\frac{1}{ax+b}$	$\frac{1}{a} \ln ax+b  + C$

## 4.2 Alignement de formules

Pour aligner plusieurs formules, on dispose des environnements `align`, `gather` et `multline`.

L'environnement `align` (ou sa variante non numérotée `align*`) permet d'aligner plusieurs signes  $=$  à l'intérieur d'une même formule. Par exemple, pour obtenir

$$\begin{aligned} A &= B \\ &= C \\ &= D \end{aligned}$$

on tape

```
\begin{align*}
A &= B \\
&= C \\
&= D
\end{align*}
```

On peut au besoin mettre plusieurs équations en colonne :

$$\begin{array}{lll}
 A = B & E = F & I = J \\
 = C & = G & = K \\
 = D & = H & = L
 \end{array}$$

via

```
\begin{align*}
A &= B & E &= F & I &= J \\
&= C & &= G & &= K \\
&= D & &= H & &= L
\end{align*}
```

Ne jamais mettre de `\\` sur la dernière ligne d'un `align`.

L'environnement `gather` (et sa variante non numérotée `gather*`) est fait pour écrire plusieurs équations les unes en-dessous des autres :

$$\begin{array}{l}
 A = B \\
 C = D \\
 E = F
 \end{array}$$

obtenu par

```
\begin{gather*}
A = B \\
C = D \\
E = F
\end{gather*}
```

Ne jamais mettre de `\\` sur la dernière ligne d'un `gather`.

Il y a aussi `multline` (et sa variante non numérotée `multline*`) qui permet de découper une formule trop grande en plusieurs morceaux avec un contrôle précis de l'alignement. Par exemple pour obtenir

$$\begin{array}{l}
 A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L + M + N + O \\
 + P + Q + R + S + T + U + V + W + X + Y + Z + \Gamma + \Delta + \Lambda + \Xi + \Omega
 \end{array}$$

on utilisera

```
\begin{multline*}
A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+L+M+N+O \\
+P+Q+R+S+T+U+V+W+X+Y+Z+\Gamma+\Delta+\Lambda+\Xi+\Omega
\end{multline*}
```

Si on veut contrôler l'alignement, on dispose des commandes `\shoveleft` (qui alignera la ligne à gauche) et `\shoveright` (qui alignera la ligne à droite). Par exemple, pour obtenir

$$\begin{array}{l}
 A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L \\
 + M + N + O + P + Q + R + S + T + U + V + W + X + Y + Z \\
 + a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o \\
 + p + q + r + s + t + u + v + w + x + y + z
 \end{array}$$

on utilisera

```

\begin{multline*}
A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+L \ \backslash\backslash
\shoveright{+M+N+O+P+Q+R+S+T+U+V+W+X+Y+Z} \ \backslash\backslash
\shoveright{+a+b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l+m+n+o}\backslash\backslash
+p+q+r+s+t+u+v+w+x+y+z
\end{multline*}

```

Ne jamais mettre de  $\backslash\backslash$  sur la dernière ligne d'un `multline`.

Finalement, on peut vouloir numéroter uniquement certaines lignes d'une équation. Il y a alors la commande `\notag` qui permet de désactiver la numérotation sur une ligne. Par exemple,

```

\begin{align}
A &= B \ \backslash\backslash
&= C \notag \ \backslash\backslash
&= D \notag
\end{align}

```

donnera

$$\begin{aligned}
 A &= B \\
 &= C \\
 &= D
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

**Exercice 2.** — Taper la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} &= \frac{\pi^2}{8} \\
 \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n^2} &= \frac{\pi^2}{12}
 \end{aligned}$$

**Exercice 3.** — Taper la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \int_a^b \frac{1}{1+\cos x} dx + \int_b^c \frac{1}{1+\cos x} dx + \int_c^d \frac{1}{1+\cos x} dx \\
 + \int_d^e \frac{1}{1+\cos x} dx + \int_e^f \frac{1}{1+\cos x} dx + \int_f^g \frac{1}{1+\cos x} dx + \int_g^h \frac{1}{1+\cos x} dx
 \end{aligned}$$

**Exercice 4.** — Taper la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \left| \int_a^b (f+g) \right| &= \left| \int_a^b f + \int_a^b g \right| \\
 &\leq \left| \int_a^b f \right| + \left| \int_a^b g \right| \\
 &\leq \int_a^b |f| + \int_a^b |g|
 \end{aligned}$$

## 4.3 Taper des formules avec LaTeX (suite)

### 4.3.1 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>\dotted</code>	$\dotted{a}$	<code>\grave</code>	$\grave{a}$
<code>\check</code>	$\check{a}$	<code>\dotteddot</code>	$\dotteddot{a}$	<code>\bar</code>	$\bar{a}$
<code>\mathring</code>	$\mathring{a}$				

Il existe aussi des accents extensibles :

COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT	COMMANDE	RÉSULTAT
<code>\widetilde</code>	$\widetilde{abc}$	<code>\widehat</code>	$\widehat{abc}$	<code>\overbrace</code>	$\overbrace{abc}$
<code>\overrightarrow</code>	$\overrightarrow{abc}$	<code>\overline</code>	$\overline{abc}$	<code>\underrightarrow</code>	$\underrightarrow{abc}$
<code>\overleftarrow</code>	$\overleftarrow{abc}$	<code>\underline</code>	$\underline{abc}$	<code>\overleftrightharrow</code>	$\overleftrightharrow{abc}$
<code>\underleftarrow</code>	$\underleftarrow{abc}$	<code>\underbrace</code>	$\underbrace{abc}$	<code>\underleftrightharrow</code>	$\underleftrightharrow{abc}$

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

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

et

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

**Exercice 5.** — Écrire la formule suivante :

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

### 4.3.2 Distinction de cas

Pour définir une fonction par morceaux, comme

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ 1 & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$$

on utilise l'environnement `cases` de la façon suivante :

```
\[H(x) = \begin{cases}
0 & \text{\text{si } $x < 0$} \\
1 & \text{\text{si } $x \geq 0$}
\end{cases}\]
```

### 4.3.3 Fractions, coefficients binomiaux

Il peut être utile, dans certaines situations, de forcer le style d'une équation (afficher une équation dans le texte comme si elle était mise en évidence et vice-versa) avec les bascules `\displaystyle` et `\textstyle`. Voici des exemples

CODE	RÉSULTAT
<code>\[x_n = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^n k\]</code>	$x_n = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k$
<code>\[\textstyle x_n = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^n k\]</code>	$x_n = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k$
<code>\$x_n = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^n k\$</code>	$x_n = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k$
<code>\$\$\displaystyle x_n = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^n k\$</code>	$x_n = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k$

Au lieu de taper `\displaystyle\frac{1}{2}`, on peut plus simplement utiliser `\dfrac{1}{2}`. De même pour `\textstyle` et `\tfrac`. Finalement, il y a `\binom` (et les variantes `\dbinom` et `\tbinom` en `displaystyle` et `textstyle` respectivement) :

`$$\binom{n}{k}$$` donne  $\binom{n}{k}$  et `\[\binom{n}{k}\]` donne  $\binom{n}{k}$

**Exercice 6.** — Taper les formules suivantes :

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{n!^2} \binom{2n}{n} x^{2n+1}$$

$$\int_a^b \max_{u \geq x} f(u) dx = \sum_{n=1}^{+\infty} g\left(\frac{1}{\varphi(n)}\right)$$

### 4.3.4 Matrices

On tape les matrices comme des tableaux, sauf qu'on utilise plus l'environnement `tabular`, mais des environnements `matrix`, `pmatrix`, etc.

CODE	RÉSULTAT
<code>\begin{matrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{matrix}</code>	$\begin{matrix} a & b \\ c & d \end{matrix}$
<code>\begin{pmatrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{pmatrix}</code>	$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$
<code>\begin{bmatrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{bmatrix}</code>	$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$
<code>\begin{Bmatrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{Bmatrix}</code>	$\begin{Bmatrix} a & b \\ c & d \end{Bmatrix}$
<code>\begin{vmatrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{vmatrix}</code>	$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}$
<code>\begin{Vmatrix} a &amp; b \\ c &amp; d \end{Vmatrix}</code>	$\begin{Vmatrix} a & b \\ c & d \end{Vmatrix}$

Les matrices peuvent avoir jusqu'à 10 colonnes ; si jamais il y a besoin d'avoir plus (disons, 50 colonnes), rajouter dans le préambule, après avoir chargé tous les packages,

```
\setcounter{MaxMatrixCols}{50}
```

Pour les matrices, il est utile de se rappeler les différents points de suspension disponibles :

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

Pour des points de suspension sur plusieurs colonnes, il y a la commande `\hdotsfor` :

CODE	RÉSULTAT
<code>\begin{pmatrix} a &amp; b &amp; c \\ \hdotsfor{3} \end{pmatrix}</code>	$\begin{pmatrix} a & b & c \\ \dots\dots\dots \end{pmatrix}$
<code>\begin{pmatrix} a &amp; b &amp; d \\ d &amp; \hdotsfor{2} \end{pmatrix}</code>	$\begin{pmatrix} a & b & d \\ d & \dots \end{pmatrix}$

**Exercice 7.** — Reproduire les formules suivantes :

$$\begin{pmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \dots & m_{n,n} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,n} \\ \dots\dots\dots \\ m_{n,1} & \dots & m_{n,n} \end{pmatrix}$$

### 4.3.5 Flèches extensibles

Le package `amsmath` dispose de deux flèches extensibles, `\xleftarrow` et `\xrightarrow`. Pour mettre une formule dessus, on utilise l'argument obligatoire

`$a \xleftarrow{(S)} b$` donne  $a \xleftarrow{(S)} b$  et `$a \xleftarrow{L_1+L_2} b$` donne  $a \xleftarrow{L_1+L_2} b$

tandis que pour mettre une formule dessous, on utilise l'argument optionnel :

`$u_n \xrightarrow[n \to +\infty]{} 0$` donne  $u_n \xrightarrow[n \rightarrow +\infty]{} 0$

Il est bien sûr possible de faire les deux en même temps :

`$u_n \xrightarrow[n \to +\infty]{\text{d'après (*)}} 0$` donne  $u_n \xrightarrow[n \rightarrow +\infty]{\text{d'après (*)}} 0$

Après avoir chargé le package `mathtools`, on dispose de plusieurs autres flèches extensibles. Toutes ont la même syntaxe ; voici une liste complète :

CODE	RÉSULTAT	CODE	RÉSULTAT
<code>\xleftarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xleftarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xhookleftarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xhookleftarrow[dessous]{dessus}$
<code>\xrightarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xrightarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xhookrightarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xhookrightarrow[dessous]{dessus}$
<code>\xmapsto[dessous]{dessus}</code>	$\xmapsto[dessous]{dessus}$	<code>\xrightarrowpoondown[dessous]{dessus}</code>	$\xrightarrowpoondown[dessous]{dessus}$
<code>\xleftrightarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xleftrightarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xrightarrowpoonup[dessous]{dessus}</code>	$\xrightarrowpoonup[dessous]{dessus}$
<code>\xRrightarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xRrightarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xleftarrowpoondown[dessous]{dessus}</code>	$\xleftarrowpoondown[dessous]{dessus}$
<code>\xLeftarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xLeftarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xleftarrowpoonup[dessous]{dessus}</code>	$\xleftarrowpoonup[dessous]{dessus}$
<code>\xLeftrightarrow[dessous]{dessus}</code>	$\xLeftrightarrow[dessous]{dessus}$	<code>\xrightarrowlefttharpoons[dessous]{dessus}</code>	$\xrightarrowlefttharpoons[dessous]{dessus}$
		<code>\xleftarrowrighttharpoons[dessous]{dessus}</code>	$\xleftarrowrighttharpoons[dessous]{dessus}$

**Exercice 8.** — Taper la formule suivante :

$$a \otimes b \xrightarrow{f \otimes g} f(a) \otimes g(b) \xrightarrow{\beta} \beta(f(a), g(b)).$$

### 4.3.6 Définir de nouvelles fonctions

On peut aussi définir de nouveaux opérateurs avec

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

qui permettra d'utiliser `\cotan` pour obtenir `cotan`. Par exemple,

```
\[y = \cotan x\] donnera  $y = \cotan x$ 
```

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`. Par exemple,

```
\[M = \supess_{x \in X} f(x)\] donnera  $M = \sup_{x \in X} \text{ess } f(x)$ 
```

**Exercice 9.** — Taper la formule suivante :

$$E = \ker u \oplus \text{Im } u.$$

### 4.3.7 Modules de congruences

Selon l'apparence voulue, il y a trois façon d'écrire les modules de congruence :

$$\begin{aligned} \$a \equiv b \pmod m\$ & a \equiv b \pmod m \\ \$a \equiv b \pmod m\$ & a \equiv b \pmod m \\ \$a \equiv b \pmod m\$ & a \equiv b \pmod m \end{aligned}$$



Il y a aussi la commande `\bmod` qu'on peut utiliser dans le contexte suivant :

$$\text{\$}\gcd(n,m\bmod n)\text{\$} \quad \gcd(n, m \bmod n)$$

**Exercice 10.** — Taper la formule suivante :

$$\sum_{n \equiv a \pmod p} \frac{1}{n} < +\infty.$$

### 4.3.8 Placer au-dessus ou en-dessous

Les commandes `\underset` et `\overset` permettent de placer du matériel arbitraire au-dessous ou au-dessus de n'importe quel symbole. Par exemple, pour écrire  $\stackrel{\text{def}}{=}$ , on écrit

$$\text{\$}\overset{\text{\texttt{def}}}{=}\text{\$}$$

et pour écrire  $\frac{1}{n} \underset{n \rightarrow +\infty}{\in} o\left(\frac{1}{n^2}\right)$ , on utilise

$$\text{\$}\frac{1}{n} \underset{n \to +\infty}{\in} o\left(\frac{1}{n^2}\right)\text{\$}$$

Une remarque importante : si jamais on a besoin d'aligner deux signes égaux dont l'un utilise `\underset`, on peut utiliser un phantôme horizontal. Par exemple, si on veut obtenir pour cela :

$$f(n) = \frac{1}{1 + \frac{1}{n}} - 1 \quad \text{au lieu de} \quad f(n) = \frac{1}{1 + \frac{1}{n}} - 1$$

$$\underset{n \rightarrow +\infty}{\sim} \frac{1}{n} \quad \underset{n \rightarrow +\infty}{\sim} \frac{1}{n}$$

on utilise

```
\begin{align*}
f(n) & \& \underset{\hphantom{n \to +\infty}}{=} \frac{1}{1+\frac{1}{n}}-1 \ \& \\
& \& \underset{n \to +\infty}{\sim} \frac{1}{n} \ \& \\
\end{align*}
```

La commande `\hphantom` met un blanc horizontal de la taille de son argument. La commande `\vphantom` fait de même mais le blanc est vertical. La commande `\phantom`, elle, crée un blanc vertical et horizontal de la taille de son argument.