

Cours 5 – Les mathématiques



5.1 Généralités	2
Où l'on feuillette les règles générales de la composition des mathématiques et où l'on s'initie à quelques subtilités...	
5.2 Les <i>packages</i> amsmath et mathtools	6
Où l'on pénètre, grâce à moult exemples, dans le vaste paysage des commandes mathématiques fournies par deux modules épatants...	
5.3 Les <i>packages</i> d'environnements de type théorèmes	19
Où l'on apprend à instruire le lecteur de la nature des énoncés mathématiques que l'on formule...	
5.4 Quelques <i>packages</i> en vrac	21
Où l'on découvre de nouvelles possibilités dans la présentation de nos rêveries mathématiques...	
URLs des liens cités dans le texte	24

5.1 Généralités

Généralités sur les mathématiques en L^AT_EX

- T_EX est l'un des premiers traitements de texte à intégrer un “mode mathématique” pour composer les formules de mathématique.
En T_EX pur, ce mode est activé par des signes \$ simples ou doubles.
Avec L^AT_EX, des environnements plus divers sont proposés.
- Deux modes sont possibles : formules dans le texte ou formules isolées au milieu de la ligne (avec ou sans numérotations).
Dans le premier cas, T_EX s'efforce de composer la formule pour qu'elle prenne le moins de place possible : comparer $\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ avec

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n$$

La première formule est composée en *textstyle* alors que la seconde est composée en *displaystyle*.

- En mode mathématique, la typographie du texte change car L^AT_EX utilise une police de “texte” spécifique : avec la police LATIN MODERN, on obtient de l'italique et des espacements fixes (famille 1mm dans l'encodage OML).
→ ça permet de distinguer *a* (\$a\$) de “a”, mais ça produit (avec LATIN MODERN) l'affreux *Diff* plutôt que le plus acceptable *Diff* (utiliser `\text{Di ff}` → Diff).

Généralités sur les mathématiques en L^AT_EX (suite)

- T_EX définit les contextes mathématiques \$...\$ (texte) et \$\$...\$\$ (hors texte).
L^AT_EX définit `\( ... \)` (texte), les environnements `displaymath` (hors texte, non numéroté, synonyme : `\[ ... \]`) et `equation` (hors texte, numéroté).
- Les accents sont interdits en mode mathématique (cf. problèmes avec `\mathrm{-}`).
Des commandes spécifiques sont fournies : `\acute{-}` (*á*), `\bar{-}` (*ā*), `\breve{-}` (*ă*), `\check{-}` (*č*), `\ddot{-}` (*ä*), `\dot{-}` (*á*), `\grave{-}` (*à*), `\hat{-}` (*â*), `\tilde{-}` (*ã*), `\widetilde{-}` (*ā*), `\widehat{-}` (*â*), `\vec{-}` (*ā*).
- Quelques commandes et environnements du mode mathématique :
 - exposants et indices : `a^2` → *a*², `a_2` → *a*₂, `a^2_n` → *a*²_n;
 - lettres grecques : `\alpha` `\Gamma` `\pi` → *αΓπ*;
 - macros d'opérateurs : `\oplus` `\cdot` `\otimes` → *⊕ · ⊗*,
`\cos(x)` `+ i` `\sin(x)` = `\exp(ix)` → *cos(x) + i sin(x) = exp(ix)*;
 - symboles variés : `\infty` `\vdots` `\hbar` `\ldots` `\nabla` `\ddots` `\imath` →
∞ ∴ ħ ... ∇ ∴ ι;
 - éléments de formules : `\sqrt[3]{8}` = `\frac{4}{2}` → *³√8 = ⁴/₂*;
 - `\int_a^b f(x) dx` = `\sum_{n \in \mathbb{Z}} c_n` → *$\int_a^b f(x)dx = \sum_{n \in \mathbb{Z}} c_n$* ;
 - environnements divers : `array` pour tableaux mathématiques et les matrices...

Le chapitre 3 de **Comprehensive L^AT_EX symbol list**¹ donne une liste très complète de tous les symboles mathématiques utilisables avec L^AT_EX.

Les différents types de symboles en mathématique

Les symboles mathématiques sont des glyphes à part entière contenus dans des fontes spécifiques (avec un encodage *très* particulier).

D'un point de vue typographique, ces symboles sont classés en 8 classes :

1. Les symboles ordinaires, de type `\mathord` : $\alpha \infty \Re \hbar \exists \forall \flat \aleph \dots$
2. Les grands opérateurs, de type `\mathop` : $\sum \prod \int \oplus \cup \cap \vee \amalg \dots$
3. Les opérations binaires, de type `\mathbin` : $+ \times \oplus \div \pm \wedge \dots$
4. Les relations, de type `\mathrel` : $= \neq < \geq \not\subset \subsetneq \uparrow \rightarrow \models \dots$
5. Les symboles ouvrants, de type `\mathopen` : $([\langle \{ \| \dots$
6. Les symboles fermants, de type `\mathclose` : $)] \rangle \} \| \dots$
7. Les symboles de ponctuation, de type `\mathpunct` : $., ; \dots$
8. Les lettres, de type `\mathalpha` : $a A 1 \dots$

L'intérêt est que l'espacement avant et après un symbole est différent selon sa classe.

Seules les symboles `\mathalpha` sont affectés par des changements de style de texte.

Les symboles de type `\mathop` admettent des tailles et des positions d'indices et d'exposant différentes selon le mode mathématique :

$$\begin{array}{l} \text{\texttt{\$}\opplus_{\{a\}^{\{b\}} \bigoplus_{\{a\}^{\{b\}}\}} \\ (displaystyle) \oplus_a^b \bigoplus_a^b \quad \text{ou} \quad (textstyle) \oplus_a^b \oplus_a^b \end{array}$$

Changer la classe d'un symbole

Il peut être utile de changer la classe d'un symbole pour lui donner une signification mathématique différente.

Les commandes `\mathord{-}`... changent la classe d'un symbole, et donc les espacements :

<code>\\$a \mathord{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathalpha{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathopen{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathclose{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathpunct{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathop{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a + b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathbin{+} b\\$</code>	$a+b$
<code>\\$a \mathrel{+} b\\$</code>	$a+b$

On peut ainsi préférer $g \cdot v$ (`\$g \mathord{\cdot} v\$`) à $g \cdot v$ (`\$g \cdot v\$`) pour exprimer un produit ou l'action d'un élément g d'un groupe sur un élément v d'un espace vectoriel.

De même, on peut noter un produit vectoriel " $\vec{v} \times \vec{w}$ " de cette façon : `\$ \vec{v} \mathord{\times} \vec{w} \$` (`\$ \vec{v} \mathord{\times} \vec{w} \$`).

Symboles extensibles verticalement

Les symboles suivants sont extensibles à volonté verticalement :

((	))	/ /	\uparrow ↑
[, \lbrack [	], \rbrack]	\backslash \	\downarrow ↓
\{, \lbrace {	\}, \rbrace }	, \vert	\Uparrow ↑↑
\langle	\rangle	\Vert	\Downarrow ↓↓
\lfloor	\rfloor		\updownarrow ↑↓
\lceil	\rceil		\Updownarrow ↑↓
\lvert†	\rvert†		
\lVert†	\rVert†		

(† définis par le package **amsmath**)

L'agrandissement peut être géré manuellement ou automatiquement :

`] → ] \big ] → ] \Big ] → ] \bigg ] → ] \Bigg ] → ]`

`\left\langle \sum_n \middle\updownarrow \prod_p \right\rangle`
 $\langle \sum_n \updownarrow \prod_p \rangle$

Des packages peuvent définir d'autres symboles extensibles verticalement.

Symboles extensibles horizontalement

Les symboles suivants sont extensibles (presque) à volonté horizontalement :

\widetilde{-}	$\widetilde{abcde}$	\widehat{-}	$\widehat{abcde}$
\overline{-}	$\overline{abcde}$	\underline{-}	$\underline{abcde}$
\overbrace{-}	$\overbrace{abcde}$	\underbrace{-}	$\underbrace{abcde}$
\overbracket[-]{-}†	$\overbracket[-]{abcde}$	\underbracket[-]{-}†	$\underbracket[-]{abcde}$
\overleftarrow{-}	$\overleftarrow{abcde}$	\underleftarrow{-}†	$\underleftarrow{abcde}$
\overrightarrow{-}	$\overrightarrow{abcde}$	\underrightarrow{-}†	$\underrightarrow{abcde}$
\overleftrightharrow{-}†	$\overleftrightharrow{abcde}$	\underleftrightharrow{-}†	$\underleftrightharrow{abcde}$

(† définis par **amsmath** et ‡ définis par **mathtools**)

\overbrace{-}, \underbrace{-}, \overbracket[-]{-} et \underbracket[-]{-} acceptent des exposants et indices.

L'option de \overbracket[-]{-} et \underbracket[-]{-} fixe l'épaisseur du trait :

`\underbrace{a+b}_{\text{somme}}`
`=\overbracket{a+b}^{\text{somme}}`
`=\underbracket[5pt]{c-d}_{\text{diff.}}`

$\underbrace{a+b}_{\text{somme}} = \overbrace{a+b}^{\text{somme}} = \underbracket[5pt]{c-d}_{\text{diff.}}$

.....

Commandes diverses

- Le mode mathématique définit un certain nombre d'espaces :

<code>\thinspace, \,</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$	<code>\negthinspace, \!</code>	$\Rightarrow \times =$
<code>\medspace, \:</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$	<code>\negmedspace</code>	$\Rightarrow \times =$
<code>\thickspace, \;</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$	<code>\negthickspace</code>	$\Rightarrow \times =$
<code>\enskip</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$		
<code>\quad</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$		
<code>\qquad</code>	$\Rightarrow \Leftarrow$		

- La commande `\not` place une négation sur les symboles de type `\mathrel` :
`\not< \not\equiv \not\le \not\subseteq` $\Rightarrow \not< \not\equiv \not\le \not\subseteq$
- Les commandes `\limits` et `\nolimits` changent le comportement des limites des sommes et intégrales :

$$\text{\texttt{\$}\displaystyle\int_a^b, \text{\texttt{\$}\displaystyle\sum_a^b} \Rightarrow \int_a^b, \sum_a^b$$

$$\text{\texttt{\$}\displaystyle\int\limits_a^b, \text{\texttt{\$}\displaystyle\sum\limits_a^b} \Rightarrow \int_a^b, \sum_a^b$$

5.2 Les packages amsmath et mathtools

Les packages amsmath et mathtools en résumé

Le package **amsmath** propose de nombreux ajouts pour composer des mathématiques.

Le package **mathtools** corrige des *bugs* dans **amsmath** et le complète.

- Environnements pour gérer la disposition des formules en *displaystyle* : `equation`, `equation*`, `gather`, `gather*`, `multline`, `multline*`, `align`, `align*`, `alignat`, `alignat*`, `split`, `multlined`, `gathered`, `aligned`, `cases`...
- Commandes et environnements pour gérer les *tags* et les *labels* des formules : `\tag{-}`, `\tag*{-}`, `\notag`, `\raisetag{-}`, `\eqref{-}`, `\refeq{-}`...
- Environnements et commandes pour composer des matrices, des fractions, des racines, des flèches extensibles...
- Commandes pour créer des opérateurs de type `sin`, `lim`...
- Commandes diverses et générales : `\substack{-}`, `\mathclap{-}`, `\intertext{-}`, `\shortintertext{-}`, `\numberwithin{-}{-}`, `\displaybreak[-]`...

Ce qui suit n'est qu'un aperçu des fonctionnalités de ces *packages*.

Voir leur documentation pour plus de renseignements et de précisions.

Dans ce qui suit, les commandes spécifiques à **mathtools** sont marquées d'un ‡, par défaut les autres commandes viennent de **amsmath**.

Le package **breqn** vaut aussi le détour : découpe automatique des longues formules, environnements de regroupements de formules, environnements de formules alignées...

L'environnement equation

`equation` sert à composer une simple équation avec ou sans numéro.

Règle : sans étoile ➡ numérotation, avec étoile ➡ pas de numéro.

Noter la différence entre `\eqref{-}` et `\ref{-}`.

```
\begin{equation}
  A+B=C \label{eq:a} \qquad A + B = C \qquad (1)
\end{equation}
Label : \eqref{eq:a}, \ref{eq:a}.
```

```
\begin{equation}
  A+B=C \label{eq:b}\tag*{$[**]$} \qquad A + B = C \qquad [**]
\end{equation}
Label : \eqref{eq:b}, \ref{eq:b}.
```

`\tag{-}` produit des parenthèses mais pas `\tag*{-}` (➡ problème avec `\eqref{-}`).

```
\begin{equation*}
  A+B=C \qquad A + B = C
\end{equation*}
```

L'environnement `equation*` remplace la commande T_EX `$$ ... $$`, la commande L^AT_EX `\[ ... \]` et l'environnement `displaymath`.

.....
L'environnement gather

gather permet de rassembler plusieurs équations, sans alignements.

Chacune est numérotée, sauf si \nonumber ou \notag est utilisé.

La commande \intertext{-} permet d'interrompre la série de formule pour placer du texte sans quitter l'environnement gather. Cette commande fonctionne aussi avec align.

```
\begin{gather}
  A+B=B \label{gat:a}\\
  C=D+E \nonumber \\
  E=F \label{gat:c}\\
  \intertext{et encore}
  G+H=I+J \notag
\end{gather}
\eqref{gat:a} et \eqref{gat:c}. (2) et (3).
```

$$A + B = B \quad (2)$$

$$C = D + E$$

$$E = F \quad (3)$$

$$G + H = I + J$$

La commande \shortintertext[‡] produit moins d'espaces verticaux que \intertext

.....
L'environnement align

align rassemble plusieurs équations, avec alignements verticaux sur les caractères &.

```
\begin{align}
  A+B &= B+A \label{al:a}\\
  C &= D+E \label{al:b}\\
  \shortintertext{et}
  E &= F \label{al:c}
\end{align}
\eqref{al:a} et \eqref{al:c}. (4) et (6).
```

$$A + B = B + A \quad (4)$$

$$C = D + E \quad (5)$$

$$E = F \quad (6)$$

L'alignement peut s'effectuer sur plusieurs équations en ligne :

```
\begin{align*}
  A+B &= C & B &= C-A & A &= C-B \\
  D &= E+F & D-E &= F & D-F &= E
\end{align*}
```

$$\begin{array}{lll} A + B = C & B = C - A & A = C - B \\ D = E + F & D - E = F & D - F = E \end{array}$$

Un coup sur deux, le rôle des & est différent : alignement ou séparation des colonnes.

.....
align *versus* eqnarray

L'environnement d'alignement de formules eqnarray ne respecte pas l'espacement correct autour du signe = et positionne mal le numéro des formules trop longues :

```
\begin{equation*}
  A+B = B+A
\end{equation*}
\begin{align*}
  A+B &= B+A
\end{align*}
\begin{eqnarray*}
  A+B &=& B+A
\end{eqnarray*}
```

$$A + B = B + A$$

$$A + B = B + A$$

$$A + B = B + A$$

```
\begin{align}
  A &= C+D+E+F+E+F+G+H
\end{align}
\begin{eqnarray}
  A &=& C+D+E+F+E+F+G
\end{eqnarray}
```

$$A = C + D + E + F + E + F + G + H$$

$$A = C + D + E + F + E + F + G$$

➔ Bannir l'environnement eqnarray au profit de align (ou split).

.....
L'environnement multline

multline permet de présenter une équation sur plusieurs lignes : la première ligne est collée à gauche, les suivantes sont centrées, la dernière est collée à droite.

Un seul numéro est attribué à l'équation.

```
\begin{multline}
  A+B-C+D-E+F = \quad \backslash\backslash \quad A + B - C + D - E + F = \\
  -G+H+I-J+K-L \quad \backslash\backslash \quad \quad \quad - G + H + I - J + K - L \\
  +M-N+O-P+Q-R+S-T \quad \backslash\backslash \quad \quad \quad + M - N + O - P + Q - R + S - T \\
  +U-V+W-X+Y-Z \quad \quad \quad \quad \quad \quad + U - V + W - X + Y - Z \quad (9)
\end{multline}
```

On peut forcer la mise à droite ou à gauche d'une ligne avec les commandes \shoveright{-} et \shoveleft{-}.

```
\begin{multline*}
  A+B-C+D-E+F = \quad \backslash\backslash \quad A + B - C + D - E + F = \\
  \shoveright{-G+H+I-J}\backslash\backslash \quad \quad \quad - G + H + I - J \\
  \shoveleft{+K-L+M-N} \quad \backslash\backslash \quad \quad \quad + K - L + M - N \\
  +O-P+Q-R+S-T \quad \quad \quad \quad \quad \quad + O - P + Q - R + S - T
\end{multline*}
```

.....
L'environnement split

`split` permet de présenter une équation sur plusieurs lignes avec alignements verticaux sur les caractères &.

Cet environnement s'insère à l'intérieur d'autres environnements, `equation`, `gather` ou `align`, qui s'occupent alors de la numérotation.

```
\begin{equation}
\label{sp:x}
\begin{split}
A &= B+C+F \\
&= G
\end{split}
\end{equation}
Label : (10)
Label : \eqref{sp:x}
```

$$\begin{array}{l} A = B + C + F \\ = G \end{array} \quad (10)$$

```
\begin{gather}
\begin{split}
A &= B+C+F \\
&= G
\end{split}
\end{gather}
H + I = J
```

$$\begin{array}{l} A = B + C + F \\ = G \end{array} \quad (11)$$

$$H + I = J \quad (12)$$

.....
Les environnements gathered et multlined

`gathered` et `multlined`[‡] sont comme les environnements `gather` et `multiline`, mais utilisés comme sous blocs d'une équation.

Ces environnements acceptent une option pour le positionnement vertical (`t,c,b`).

```
\begin{equation}
a < 0 \Rightarrow
\begin{gathered}
A = B+C \quad D = E
\end{gathered}
\end{equation}
```

$$a < 0 \Rightarrow \begin{array}{l} A = B + C \\ D = E \end{array} \quad (13)$$

```
\begin{equation}
a < 0 \Rightarrow
\begin{multlined}[t]
A+B = C+D+E+F+G+H \\
+I+J+K+L+M+N \\
+O+P+Q+R+S
\end{multlined}
\end{equation}
```

$$a < 0 \Rightarrow \begin{array}{l} A + B = C + D + E + F + G + H \\ + I + J + K + L + M + N \\ + O + P + Q + R + S \end{array} \quad (14)$$

`multlined`[‡] permet des ajustements fins sur la largeur du bloc.

.....

Les environnements aligned et alignat

aligned et alignat sont des variantes de align.

aligned est la version “sous bloc” de align.

```
\begin{equation}
\begin{aligned}[b]
  A &= B \\\
  &= C
\end{aligned}
\end{equation}
```

$$A = B = C \Rightarrow a < 0 \quad (15)$$

alignat permet de maîtriser l'espacement entre les colonnes.

```
\begin{alignat}{3}
A+B &= C && & B &= C-A & A &= C-B \\\
D &= E+F \quad & D-E &= F & D-F &= E
\end{alignat}
```

$$A + B = C \quad B = C - A \quad A = C - B \quad (16)$$

$$D = E + F \quad D - E = F \quad D - F = E \quad (17)$$

Le \quad écarte la première et la seconde colonne, alors que la dernière colonne est collée à la seconde. L'argument 3 fait référence au nombre de colonnes.

.....

Les environnements de type cases

cases est une variante de aligned pour gérer des “cas” :

```
\begin{equation}
A = \begin{cases}
  B & \text{si } a < 0 \\
  C & \text{si } a \geq 0
\end{cases}
\end{equation}
```

$$A = \begin{cases} B & \text{si } a < 0 \\ C & \text{si } a \geq 0 \end{cases} \quad (18)$$

mathtools définit les environnements dcases[‡], dcases*[‡], rcases[‡], rcases*[‡], drcases[‡], drcases*[‡], cases*[‡].

dcases compose en *displaystyle*. Les versions “rcases” placent l'accolade à droite, les versions étoilées produisent du texte dans la seconde colonne :

```
\begin{equation*}
\begin{drcases*}
A = B & \& \text{évident} \\\
2 \int_0^1 x \, dx = 1 & \& \text{facile}
\end{drcases*}
\end{equation*}
```

$$\left. \begin{array}{ll} A = B & \text{évident} \\ 2 \int_0^1 x dx = 1 & \text{facile} \end{array} \right\} \Rightarrow a > 0$$

.....

L'environnement flalign

flalign est une variante de align qui sépare le plus possible les colonnes pour remplir la largeur de la page.

```
\begin{flalign*}
  A+B &= C & & B &= C-A & & A &= C-B \\
  D &= E+F & & D-E &= F & & D-F &= E \\
\end{flalign*}
```

$$\begin{array}{lll}
 A + B = C & B = C - A & A = C - B \\
 D = E + F & D - E = F & D - F = E
 \end{array}$$

Version avec align* :

$$\begin{array}{lll}
 A + B = C & B = C - A & A = C - B \\
 D = E + F & D - E = F & D - F = E
 \end{array}$$

Version avec flalign :

$$\begin{array}{lll}
 A + B = C & B = C - A & A = C - B \quad (19) \\
 D = E + F & D - E = F & D - F = E \quad (20)
 \end{array}$$

.....

Commandes associées à align et alignat

`\MoveEqLeft[-]`[‡] décale vers la gauche une ligne dans align.

L'argument optionnel est la distance en unités em :

```
\begin{align*}
\MoveEqLeft[3] A+B+C+D+E\\
&= F+G+H+I+J+K\\
&\leq L+M+N+O+P \\
\end{align*}
```

$$\begin{array}{l}
 A + B + C + D + E \\
 = F + G + H + I + J + K \\
 \leq L + M + N + O + P
 \end{array}$$

`\MoveEqLeft[-]` prend la place du premier symbole &.

`\ArrowBetweenLines[-]`[‡] insère une flèche entre des lignes d'équations :

```
\begin{alignat*}{2}
& & A = B \\
\ArrowBetweenLines[\Downarrow] & & \\
& & B = A \\
\end{alignat*}
```

$$\begin{array}{ll}
 & A = B \\
 \Downarrow & \\
 & B = A
 \end{array}$$

.....
Alerte aux raccourcis...

Pour économiser de la frappe, il est souvent commode de créer des raccourcis du type
`\newcommand{\beq}{\begin{equation}}`
`\newcommand{\eeq}{\end{equation}}`
 pour délimiter une équation.

Attention

Ces raccourcis ne peuvent pas être définis avec des environnements d'alignement, comme `align`, `gather`, `multline`...

La raison profonde est la suivante, et elle peut se retrouver dans d'autres circonstances.

1. L'algorithme (compliqué) de mise en forme de ces types d'équations requiert deux passages sur le contenu de l'environnement.
 ➔ $\TeX$ doit pouvoir absorber dans son entier le contenu de l'environnement.
2. Dès qu'il rentre dans ce type d'environnement par une commande `\begin{env}`, il cherche *immédiatement* la sortie sous la forme `\end{env}`.

Si des raccourcis `\bev` et `\eev` ont été créés pour ces commandes, voici ce qui se passe :

- La commande `\bev` est interprétée par $\TeX$ comme la commande `\begin{env}`.
 ➔ Il cherche alors la première expression `\end{env}` qui suit...
- Or cette expression n'existe pas, puisqu'elle est "cachée" dans `\eev`.
 ➔ $\TeX$ parcourt tout le texte sans succès et se plaint (de façon incompréhensible !).

.....
L'environnement subequations

`subequations` agit sur la numérotation des formules qu'il contient :

```

\begin{subequations}
\begin{equation}
  A=B
\end{equation}
Texte entre équations.
\begin{equation}
  D=C \label{eq:mi}
\end{equation}
\begin{align}
  E &= F & E' &= F' \\
  G &= H & G' &= H'
\end{align}
\end{subequations}
Fin subequation.
\begin{equation}
  I=J \label{eq:fi}
\end{equation}
\eqref{eq:mi} et \eqref{eq:fi}.

```

$A = B$
 Texte entre équations.
 $D = C$

$$\begin{array}{cc} E = F & E' = F' \\ G = H & G' = H' \end{array}$$

(21a)

 (21b)

 (21c)
 (21d)

(22)

(21b) et (22).

.....
Les matrices

`matrix` produit un tableau mieux espacé que `array` de L^AT_EX :

```
\begin{matrix}
a & b \\
c & d
\end{matrix}
```

`pmatrix`, `bmatrix`, `Bmatrix`, `vmatrix` et `Vmatrix` produisent :

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \quad \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad \left\{ \begin{matrix} a & b \\ c & d \end{matrix} \right\} \quad \left| \begin{matrix} a & b \\ c & d \end{matrix} \right| \quad \left\| \begin{matrix} a & b \\ c & d \end{matrix} \right\|$$

`matrix*†`, `pmatrix*†`, `bmatrix*†`, `Bmatrix*†`, `vmatrix*†` et `Vmatrix*†` permettent de contrôler l'alignement vertical :

```
\begin{Vmatrix*}[r]
-1 & 2 \\
3 & -4
\end{Vmatrix*}
```

```
\begin{bmatrix*}[l]
a_{\scriptscriptstyle n} & b \\
c & d_{\scriptscriptstyle m}
\end{bmatrix}
```

.....
Les matrices (suite)

`smallmatrix` permet de créer des petites matrices pour le texte :

```
$A=\left(\begin{smallmatrix} a&b\\ c&d \end{smallmatrix}\right)$
```

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

`\hdotsfor[-]{-}` permet de placer des pointillés sur plusieurs colonnes :

```
\begin{vmatrix}
a & b & c & d & e \\
f & \hdotsfor{3} & g \\
\hdotsfor[2]{5} \\
h & i & j & k & l
\end{vmatrix}
```

L'argument optionnel sert à ajuster l'espacement horizontal entre les points (c'est un facteur multiplicatif).

.....

Flèches extensibles

`amsmath` définit des flèches extensibles :

```
$A \xleftarrow{\text{vers la gauche}} B$  


$$A \xleftarrow[\text{en dessous}]{\text{vers la droite}} C$$


$$A \xrightarrow[\text{en dessous}]{\text{vers la droite}} C$$

```

`mathtools` ajoute les flèches suivantes :

```
\xleftrightharpoon[-]{-}^{\dagger} \xhookleftarrow[-]{-}^{\dagger} \xhookrightarrow[-]{-}^{\dagger} \xmapsto[-]{-}^{\dagger}
```

Le package `extpfeil` définit les flèches extensibles suivantes :

$\xrightarrow[\text{en haut}]{\text{en bas}}$, $\xleftarrow[\text{en haut}]{\text{en bas}}$, $\xleftrightarrow[\text{en haut}]{\text{en bas}}$ et $\xleftrightarrow[\text{en haut}]{\text{en bas}}$.

.....

Commandes diverses

Placée avant un `\`, `\displaybreak[num]` avec $num = 0, \dots, 4$ suggère d'interrompre à cet endroit une série d'équations pour passer à la page.

Fractions : `\frac{-}{-}` remplace la commande `\over` de `LaTeX`.

`\dfrac{-}{-}` force le *displaystyle* et `\tfrac{-}{-}` force le *textstyle* :

```
$A = \frac{1}{2} = \dfrac{1}{2} = \tfrac{1}{2}$
```

$$A = \frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

Coefficients binomiaux :

```
$A = \binom{n}{p} = \dbinom{n}{p} = \tbinom{n}{p}$
```

$$A = \binom{n}{p} = \binom{n}{p} = \binom{n}{p}$$

Intégrales multiples :

```
$\displaystyle \int_X f(x) dx = \iint_Y g(y) dy$  


$$= \iiint_Z h(z) dz = \idotsint_T r(t) dt$$


$$\int_X f(x) dx = \iint_Y g(y) dy = \iiint_Z h(z) dz = \int \cdots \int_T r(t) dt$$

```

.....

Deux points verticalement alignés, \vcentcolon[‡]:

$$a \mathrel{\text{\textbackslash vcentcolon}} b := c \quad (\$ \mathrel{\text{\textbackslash vcentcolon}} \$)$$

`\sideset{-}{-}` ajoute des symboles en indices et exposants à un opérateur large :

$$\begin{array}{l} \backslash\mathrm{seset}\{_{\mathrm{a}}^{\mathrm{b}}\}\{_{\mathrm{c}}^{\mathrm{d}}\}\backslash\mathrm{prod} \quad \backslash\mathrm{quad} \\ \backslash\mathrm{seset}\{\}\{\prime\}\backslash\mathrm{sum}_{\mathrm{n}=0}^{\mathrm{a}}\backslash\mathrm{infty} \quad \backslash\mathrm{quad} \\ \backslash\mathrm{seset}\{^{\mathrm{a}}_{\mathrm{b}}\}\{_{\mathrm{c}}\}\backslash\mathrm{bigoplus} \end{array} \quad \begin{array}{l} {}^b_a\prod_c \quad \sum_{n=0}^{\infty}{}' \quad {}^b\bigoplus_c \end{array}$$

\prescript{-}{-}^{\ddagger} place des indices et exposant avant l'expression qui suit :

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{matrix} 4 \\ 12 \end{matrix} \right\} C_2^{5+} \quad \left\{ \begin{matrix} 14 \\ 2 \end{matrix} \right\} C_2^{5+} \quad \left\{ \begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix} \right\} C_2^{5+} \\ & \left\{ \begin{matrix} 4 \\ 2 \end{matrix} \right\} C_2^{5+} \quad \left\{ \begin{matrix} 14 \\ 2 \end{matrix} \right\} C_2^{5+} \end{aligned}$$

`\adjustlimits` ajuste verticalement les limites successives :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{p^2 \geq n} \lim_{n \rightarrow \infty} \max_{p^2 \geq n}$$

.....

`\mathclap{-}`[‡], `\mathllap{-}`[‡] et `\mathrlap{-}`[‡] réduisent leur contenu à une largeur nulle en position centrée, gauche ou droite :

$$\sum_{0<i<j<n} X_{ij} = \sum_{\mathop{\mathrm{clap}}\nolimits\{0<i<j<n\}} X_{ij} \quad \Longrightarrow \prod_{\mathop{\mathrm{llap}}\nolimits\{0<s<n\}} \sum_{\mathop{\mathrm{rlap}}\nolimits\{0<r<n\}} a_r$$

(autres utilisations possibles !)

$\smashoperator[-]{-}\{-\}^{\ddagger}$ fait de même au niveau de l'opérateur en entier.

L'argument optionnel précise le(s) côté(s) à traiter :

$$\begin{aligned} & \backslash\mathrm{sum}_{\{0<i<j<n\}}^{\{\infty\}}V_{\{ij\}} = \\ & \backslash\mathrm{smashoperator}\{\backslash\mathrm{sum}_{\{0<i<j<n\}}^{\{123456\}}\}X_{\{ij\}} = \\ & \backslash\mathrm{smashoperator}[r]{\backslash\mathrm{prod}_{\{0<i<j<n\}}\}Y_{\{ij\}} = \\ & \backslash\mathrm{smashoperator}[l]{\backslash\mathrm{bigvee}_{\{0<i<j<n\}}\}Z_{\{ij\}} \\ & \sum_{0<i<j<n}^{123456}X_{ij} = \prod_{0<i<j<n}Y_{ij} = \bigvee_{0<i<j<n}Z_{ij} \end{aligned}$$

.....

Superposition

`\overset{-}{-}` et `\underset{-}{-}` permettent de superposer des symboles :

```


$$\overset{*}{X} \xrightarrow[\underset{*}{f}]{\text{f}} \underset{*}{Y}$$

```

`\substack{-}` superpose des expressions, pour des sommes par exemple.

Le résultat est de la taille des indices et exposants :

```


$$\sum_{\substack{0 < i < m \\ 0 < j < n}} P_{i,j} = \sum_{\substack{a \\ b}} P_{i,j} = \frac{a}{b}$$

```

`\genfrac{-}{-}{-}{-}{-}` est une commande générale qui définit les fractions et les coefficients binomiaux et qu'on peut utiliser directement :

```


$$a = \genfrac{}{}{0pt}{0}{A}{B} = \genfrac{}{}{0pt}{0}{.}{.} \genfrac{}{}{0pt}{0}{C}{D}$$


$$a = \genfrac{}{}{0pt}{0}{A}{B} = \genfrac{}{}{0pt}{0}{C}{D} = \genfrac{}{}{0pt}{0}{\uparrow}{\downarrow}$$

```

.....

Style des labels des formules

`\numberwithin{equation}{section}` remet le compteur d'équation à 0 à chaque section et le label est du type (2.4).

`\newtagform{-}{-}{-}^{\dagger}` et `\usetagform{-}{-}^{\dagger}` définissent les styles des labels.

```


$$\begin{aligned} & \newtagform{bra}{}{} \\ & \newtagform{brab}[\text{tbf}]{}{} \\ & \usetagform{bra} \\ & \begin{aligned} E &= mc^2 \tag{eq-tf} & E &= mc^2 & [23] \\ & \end{aligned} \\ & \eqref{eq-tf}, \eqref{eq-tfb} & [23], [24] \\ & \usetagform{brab} & E &\neq mc^3 & [24] \\ & \begin{aligned} E &\neq mc^3 \tag{eq-tfb} & (23), (24) \\ & \end{aligned} \\ & \eqref{eq-tf}, \eqref{eq-tfb} \\ & \usetagform{default} \\ & \eqref{eq-tf}, \eqref{eq-tfb} \end{aligned}$$

```

⚠ le label peut ne pas être référencé dans le style activé au moment de l'équation.

.....
Définir un nouvel opérateur

Les commandes de type opérateurs ont un comportement spécifique (espace, fontes) :

$\$r \backslash \sin \backslash \theta \$$ $r \sin \theta$ $\$r \sin \backslash \theta \$$ $r \sin \theta$
 $\$r \backslash \text{sin} \backslash \theta \$$ $r \sin \theta$ $\$r \backslash \mathrm{sin} \backslash \theta \$$ $r \sin \theta$

La commande `\DeclareMathOperator{-}{-}` (dans le préambule) déclare un opérateur de type “sin” ou “log” : gestion des espaces avant et après, gestion de la police.

```
\DeclareMathOperator{\antisin}{antisin}
On pose  $\backslash \text{antisin}(x) = \backslash \cos(x) \$$  \quad
{\itshape on pose  $\backslash \text{antisin}(x) = \backslash \cos(x) \$$ }
On pose  $\text{antisin}(x) = \cos(x)$       on pose  $\text{antisin}(x) = \cos(x)$ 
```

`\text{antisin}` donnerait en italique : $\text{antisin}(y) = \cos(y)$ ➔ pas satisfaisant.

`\DeclareMathOperator*{-}{-}` déclare un opérateur de type “lim” avec le bon comportement des “indices” :

```
\DeclareMathOperator*{\antimax}{antimax}
 $\backslash \text{antimax}_{\{a \in A\}} = \backslash \min_{\{a \in A\}} \$$  \quad
 $\backslash \displaystyle \backslash \text{antimax}_{\{a \in A\}} = \backslash \min_{\{a \in A\}} \$$ 
 $\text{antimax}_{a \in A} = \min_{a \in A}$        $\text{antimax} = \min_{a \in A}$ 
```

.....
Les opérateurs déjà définis

<code>\arccos</code> arccos	<code>\arcsin</code> arcsin	<code>\arccos</code> arccos
<code>\arctan</code> arctan	<code>\arg</code> arg	<code>\cos</code> cos
<code>\cosh</code> cosh	<code>\cot</code> cot	<code>\coth</code> coth
<code>\csc</code> csc	<code>\deg</code> deg	<code>\det</code> det
<code>\dim</code> dim	<code>\exp</code> exp	<code>\gcd</code> gcd
<code>\hom</code> hom	<code>\inf</code> inf	<code>\injlim</code> injlim
<code>\ker</code> ker	<code>\lg</code> lg	<code>\lim</code> lim
<code>\liminf</code> liminf	<code>\limsup</code> limsup	<code>\ln</code> ln
<code>\log</code> log	<code>\max</code> max	<code>\min</code> min
<code>\Pr</code> Pr	<code>\projlim</code> projlim	<code>\sec</code> sec
<code>\sin</code> sin	<code>\sinh</code> sinh	<code>\sup</code> sup
<code>\tan</code> tan	<code>\tanh</code> tanh	<code>\varinjlim</code> $\varinjlim$
<code>\varliminf</code> $\varliminf$	<code>\varlimsup</code> $\varlimsup$	<code>\varprojlim</code> $\varprojlim$

Pas trace de la trace... ➔ définir `\DeclareMathOperator{\tr}{tr}`.

On peut ajouter à cette liste les “modulos” :

`\mod` $m \equiv n \bmod p$ `\bmod` $m \equiv n \bmod p$ `\pmod` $m \equiv n \pmod p$

.....

Définir des commandes avec délimiteurs

`\DeclarePairedDelimiter‡` permet de définir des commandes personnelles de type “valeur absolue” ou “norme” :

```
\DeclarePairedDelimiter\abs{\lvert}{\rvert}
\DeclarePairedDelimiter\norm{\lVert}{\rVert}
\DeclarePairedDelimiter\delfloor{\lfloor}{\rceil}
$\abs{a} \quad \abs*{\frac{a}{b}} \quad \norm{v} \quad \delfloor{M} \quad \delfloor*{\sum_n M_n}$
 $|a| \quad \left|\frac{a}{b}\right| \quad \|v\| \quad [M] \quad [\sum_n M_n]$ 
```

La version étoilée de la commande définie ajuste correctement en hauteur les délimiteurs.

`\DeclarePairedDelimiterX‡` étend la commande précédente en définissant une commande avec plus d'un argument :

```
\DeclarePairedDelimiterX\innerp[2]{\langle}{\rangle}{#1,#2}
\DeclarePairedDelimiterX\bracket[3]{\langle}{\rangle}%
{#1\,,\delimsize\vert\,,#2\,,\delimsize\vert\,,#3}
$\innerp*{A}{\frac{1}{2}} \quad \bracket[\Big]{B}{\sum_k a_k}{C} \quad \bracket*{B}{\sum_k a_k}{C}$
 $\langle A, \frac{1}{2} \rangle \quad \langle B \mid \sum_k a_k \mid C \rangle \quad \langle B \mid \sum_k a_k \mid C \rangle$ 
```

5.3 Les *packages* d'environnements de type théorèmes

.....

Le *package* **amsthm**

Le *package* **amsthm** améliore l'environnement `theorem` défini dans $\text{\LaTeX}$ en fournissant une syntaxe pour définir et utiliser des styles.

`\newtheorem{lem}{Lemme}`

définit un nouvel environnement `lem` dont le titre est “Lemme”.

`\newtheorem{prop}[thm]{Proposition}`

définit `prop` dont le compteur de numérotation est le même que celui de `thm`.

`\newtheorem{defn}{Définition}[section]`

définit `defn` dont le compteur de numérotation est remis à 0 à chaque début de section.

`\theoremstyle{remark}`

`\newtheorem{rem}{Remarque}`

définit `rem` avec le style “remark”.

`\newtheoremstyle{note}{2pt}{3pt}{\bfseries}%`

`{2cm}{\sffamily}{:}{2em}{}`

définit un nouveau style “note” (voir la documentation pour la syntaxe).

L'environnement `proof` sert aux démonstrations.

La commande `\qedsymbol` place un symbole de fin de démonstration (personnalisable).

.....

amsthm et **babel**

Il est possible de définir des environnements de type théorèmes qui sont traduits automatiquement en fonction de la langue sélectionnée avec le *package* **babel** :

`\newcommand{\theoremname}{Theorem}`

`\addto\captionsfrench{\renewcommand{\theoremname}{Théorème}}`

`\addto\captionsenglish{\renewcommand{\theoremname}{Theorem}}`

`\newtheorem{thm}{\theoremname}[chapter]`

`\newcommand{\remarkname}{Remark}`

`\addto\captionsfrench{\renewcommand{\remarkname}{Remarque}}`

`\addto\captionsenglish{\renewcommand{\remarkname}{Remark}}`

`\newtheorem{rmk}{\remarkname}`

Voir la documentation de **babel** pour la syntaxe de la commande `\addto`.

.....

Le *package* **ntheorem**

Le *package* **ntheorem** étend les fonctionnalités de **amsthm** :

- Possibilités plus nombreuses pour personnaliser le style des théorèmes : entête, numérotation, corps du texte, symbole de fin...
- Compatibilité avec le *package* **hyperref** et gestion améliorées de références croisées (`\thref{-}`).
- Possibilité d'utiliser des commandes d'encadrement autour des théorèmes : option `framed`.
- Liste de théorèmes avec possibilité de personnalisation de la présentation : `\listtheorems{-}`, `\theoremlisttype{-}`...

```
\theoremstyle{break} % style prédéfini
\theoremnumbering{arabic} % numérotation
\theoremsymbol{\ensuremath{\blacksquare}} % symbole de fin
\theorembodyfont{\slshape} % style du texte
\theoremheaderfont{\normalfont\bfseries} % style de l'entête
\theoremseparator{\ :} % séparation de l'entête
```

```
\newtheorem{definition}{Définition}
définit definition dans le style ainsi établi.
```

.....

Le *package* **thmtools**

thmtools est une surcouche à **amsthm** ou à **ntheorem** (qu'il faut appeler au préalable).

Ses commandes étendent de nombreuses possibilités : gestion plus avancée des styles, encadrement des théorèmes, compatibilité avec les *packages* **hyperref**, **nameref** et **cleveref**, liste des théorèmes, répétition de théorèmes déjà tapés...

```
\declaretheorem[sharecounter=theorem]{lemma}
\declaretheorem[numbered=no, style=remark]{remark}
\declaretheorem[name=Theorem, numberwithin=section,
  refname={theorem,theorems}, Refname={Theorem,Theorems}]{thm}
\declaretheorem[shaded={bgcolor=Lavender, textwidth=12em}]{BoxI}
\declaretheorem[shaded={rulecolor=Lavender,
  rulewidth=2pt, bgcolor={rgb}{1,1,1}}]{BoxII}
```

définit une série d'environnements de type théorème.

```
\declaretheoremstyle[spaceabove=6pt, spacebelow=6pt,
  headfont=\normalfont\bfseries, notefont=\mdseries,
  notebraces={({})}, bodyfont=\normalfont,
  postheadspace=1em, qed=\qedsymbol]{mystyle}
```

définit un nouveau style.

5.4 Quelques *packages* en vrac

Des lettres exotiques pour les mathématiques

Par défaut, L^AT_EX définit la commande

```
\mathcal{-} ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
```

Le *package* **amsfonts** définit la commande suivante pour le gothique :

```
\mathfrak{-} 0123456789 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz  
                ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
```

Le *package* **euca1**, appelé avec l'option `mathscr`, définit la commande :

```
\mathscr{-} ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
```

Sans l'option `mathscr`, c'est la commande `\mathcal{-}` de L^AT_EX qui est redéfinie.

Le *package* **mathrsfs** définit la commande :

```
\mathscr{-} ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
```

➔ conflit de nom entre **mathrsfs** et **euca1**.

Des lettres à doubles barres

Le *package* **amsfonts** définit la commande :

```
\mathbb{-} ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
```

Le *package* **dsfont** définit la commande :

```
\mathds{-} 1ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZhk
```

L'option `sans` de **dsfont** produit des lettres sans sérif :

```
\mathds{-} 1ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZhk
```

Il est possible de récupérer le **1** de cette fonte qui n'est pas dans `\mathbb{-}` en définissant la commande suivante :

```
\newcommand{\bbone}{\text{\usefont{U}{dsss}{m}{n}\char49}}
```

```
\bbone \in A \quad \frac{\bbone}{2} \quad \sigma_{\bbone}
```

$$\mathbb{1} \in A \quad \frac{\mathbb{1}}{2} \quad \sigma_{\mathbb{1}}$$

.....

Décorations de formules

La commande `\fbox{-}` de $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ peut encadrer une formule entière dans le texte ou dans un environnement de type `equation`.

La commande `\boxed{-}` de **amsmath** permet d'encadrer un morceau de formule.

```
\fbox{$E=mc^2$}\n
$E=\boxed{mc^2}$
```

$$E = mc^2$$

$$E = \boxed{mc^2}$$

Le package **empheq** permet plus d'options pour décorer des formules.

```
\begin{empheq}[box=\fbox]{align}
E &= h \nu \notag\\
E &= mc^2
\end{empheq}
```

$$\begin{array}{l} E = h\nu \\ E = mc^2 \end{array} \quad (25)$$

```
\begin{empheq}%
[left=A \Rrightarrow \empheqlbrace,
innerbox=\fbox]{align*}
B &= C\\
D &= E
\end{empheq}
```

$$A \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} B = C \\ D = E \end{array} \right.$$

empheq reconnaît tous les environnements définis par **amsmath**.

.....

Décorations de formules (suite)

On peut utiliser sa propre commande d'encadrement :

```
\definecolor{myblue}{rgb}{.8, .8, 1}
\newcommand\mybluebox[1]{%
\colorbox{myblue}{\hspace{1em}\#1\hspace{1em}}}
\begin{empheq}[box=\mybluebox]{gather}
A+B = C\\
D = E+F
\end{empheq}
```

$$A + B = C \quad (26)$$

$$D = E + F \quad (27)$$

On peut faire appel aux boîtes définies par le package **fancybox** :

```
\begin{empheq}[box=\ovalbox]{equation}
A+B = C+D+E
\end{empheq}
```

$$\boxed{A + B = C + D + E} \quad (28)$$

Consulter la documentation de **empheq** pour plus de renseignements et d'exemples.

Diagrammes commutatifs

Le package **xy**, avec les options `matrix` et `arrow`, permet de composer des diagrammes :

```
\begin{equation*}
\xymatrix{
  {0} \ar[r]
& {L} \ar[r]^-{\iota} \ar[d]_-{\phi_L}
& {A} \ar[r]^-{\rho} \ar[d]_-{\phi}
& {\Gamma(M)} \ar[r] \ar@{=}[d]
& {0}
\\
  {0} \ar[r]
& {A(E)} \ar[r]^-{\iota}
& {D(E)} \ar[r]^-{\sigma}
& {\Gamma(M)}
& {0}
}
\end{equation*}
```

$$\begin{array}{ccccccccc}
 0 & \longrightarrow & L & \xrightarrow{\iota} & A & \xrightarrow{\rho} & \Gamma(M) & \longrightarrow & 0 \\
 & & \downarrow \phi_L & \swarrow \omega^E & \downarrow \phi & & \parallel & & \\
 0 & \longrightarrow & A(E) & \xrightarrow{\iota} & D(E) & \xrightarrow{\sigma} & \Gamma(M) & \longrightarrow & 0
 \end{array}$$

Cabinet de curiosités

Le package **12many** définit une macro pour générer un ensemble d'entiers.
Plusieurs styles peuvent être utilisés et définis :

```
\set0TMstyle{dots}          {3, \dots, 4}
$\nto{3}{4}$
```

```
\set0TMstyle[naturals={\mathbb{N}},
                    var={n}]{set}          {n \in \mathbb{N} | 3 \leq n \leq 4}
$\nto{3}{4}$
```

Le package **cancel** définit des commandes pour barrer des morceaux de formules :

```
$\cancel{a^2} + b + \bcancel{c_n} - \xcancel{H_I} = 0$
a2 + b + cn - HI = 0
```

Le package **fouridx** définit une commande pour placer 4 indices à un symbole :

```
$\fourIdx{12}{3}{4}{56}{\left(\frac{1}{b}\right)}\quad
\fourIdx{(k)}{n}{x}{\overline{x}}A$
123(1/b)456 (k)nAx~x
```

(Voir aussi la commande `\prescript{-}{-}` de **mathtools**.)

URLs des liens cités dans le texte

 <http://www.ctan.org/tex-archive/info/symbols/comprehensive/symbols-a4.pdf>