

Feuille 1 : Calculs algébriques

Exercice 1 Soit x et y des réels ; en supposant qu'elle est bien définie, fournir une forme plus simple de chacune des expressions suivantes :

$$\begin{array}{llll}
 1) (125)^{-2/3} & 2) (-5x)^3 & 3) \left(\frac{x^{-2}}{y^{-2}}\right) \left(\frac{x}{y}\right)^2 & 4) \sqrt[3]{\sqrt[4]{27}} \\
 5) -2\sqrt{9y} + 10\sqrt{y} & 6) \left[(x^2y^{-2})^{-1}\right]^{-1} & 7) 5^{-1/2} \cdot 5x^{11/6} \cdot (5x)^{-3/2} & 8) \frac{\frac{1}{x+1} - \frac{1}{x}}{\frac{y}{x}} \\
 9) \frac{y}{5x-y} + \frac{5x}{y-5x} + 1 & 10) \frac{\frac{2}{x^2-1} + \frac{3}{x-1}}{3x+5} & 11) \frac{x+x^2+x^3+x^4}{x^{-1}+x^{-2}+x^{-3}+x^{-4}} & 12) \frac{1+x^5}{x^{-2}-x^{-3}+x^{-4}-x^{-5}+x^{-6}}
 \end{array}$$

Exercice 2 Soit a, b, c et d des réels. Développer $(a+b+c+d)^2$ puis $(a+b+c)^3$.

Exercice 3 Soit x et y deux réels. On suppose que $x-y=1$. Calculer $x^3-3xy-y^3$.

Exercice 4

1. Rappeler la preuve, faite en cours, de la propriété suivante : pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, on a

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{k(k+1)} = 1 - \frac{1}{n+1}.$$

2. Expliciter deux réels a et b tels que pour tout $k \in \mathbb{N}^*$, on a $\frac{2}{k(k+2)} = \frac{a}{k} + \frac{b}{k+2}$.

3. En déduire que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, $2 \sum_{k=1}^n \frac{1}{k(k+2)} = \frac{3}{2} - \frac{2n+3}{(n+1)(n+2)}$.

4. Montrer que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, $\prod_{k=1}^n \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k+2}\right) = \frac{2^{n+1}}{(n+2)(n+1)(n!)^2}$.

Exercice 5

1. Donner deux différentes preuves de la formule du cours suivante : pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, $\sum_{k=0}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$.

a) En effectuant une démonstration par récurrence.

b) En montrant préalablement, par changement de variable, l'identité :

$$\sum_{k=0}^n (n-k) = \sum_{k=0}^n k.$$

2. En déduire que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $\sum_{k=0}^n (2k+1) = (n+1)^2$.

Exercice 6

1. Montrer que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, $\sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^n (i+j) \right) = n(n+1)^2$.
2. En utilisant sans les démontrer (ce serait facile par récurrence) les deux identités $\sum_{k=0}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$ et $\sum_{k=0}^n k^3 = \left(\frac{n(n+1)}{2} \right)^2$, montrer que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$:

$$\sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^i ij \right) = \frac{n(n+1)(3n^2+7n+2)}{24}.$$

Exercice 7 Pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, on considère la suite

$$u_n = \sum_{k=1}^{2n} \frac{(-1)^{k+1}}{k}.$$

Montrer par récurrence que, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$,

$$u_n = \sum_{j=1}^n \frac{1}{n+j}.$$

Exercice 8 1. En utilisant la formule du binôme, calculer les sommes $\sum_{k=0}^n \binom{n}{k}$ et $\sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k}$.

2. a) Montrer que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$ et tout $p \in \{1, \dots, n\}$, $p \binom{n}{p} = n \binom{n-1}{p-1}$.

b) En déduire que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $\sum_{p=0}^n p \binom{n}{p} = n2^{n-1}$.

3. À l'aide de la formule du triangle de Pascal, montrer que pour tout $(p, n) \in \mathbb{N}^2$:

$$\sum_{k=0}^n \binom{p+k}{k} = \binom{p+n+1}{n}.$$

Exercice 9 1. Expliciter deux constantes réelles a et b telles que pour tout entier $k \in \mathbb{N}^*$, on ait :

$$\frac{1}{k(k+1)(k+2)} = \frac{a}{k} + \frac{b}{k+1} + \frac{a}{k+2}.$$

2. Soit $n \geq 2$ un entier. Utiliser la question précédente pour obtenir une expression pas trop compliquée

de la somme $\sum_{k=1}^n \frac{1}{k(k+1)(k+2)}$.

Exercice 10

1. Pour $0 \leq i \leq n$ et $0 \leq j \leq n$, quelles valeurs prend l'entier $\text{Max}(i, j)$? Combien de fois prend-il une valeur k fixée ?

2. En déduire que

$$\sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^n \text{Max}(i, j) \right) = \sum_{k=0}^n (2k+1)k.$$

3. En utilisant la formule de sommation des carrés des entiers consécutifs rappelée à l'exercice précédent, en déduire que :

$$\sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^n \text{Max}(i, j) \right) = \frac{n(n+1)(4n+5)}{6}.$$

Exercice 11 Soit $n \in \mathbb{N}$. L'objectif de cet exercice est de refaire l'exercice précédent **sans** considérer comme connue la formule de sommation des carrés d'entiers consécutifs. On notera $S = \sum_{k=0}^n k^2$, et on fera semblant de ne pas savoir calculer cet entier S .

1. En refaisant à l'identique l'exercice 7, montrer que :

$$\sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^n \text{Max}(i, j) \right) = 2S + \frac{n(n+1)}{2}.$$

2. Soit $i \in \{0, \dots, n\}$.

a) Montrer que $\sum_{j=0}^n \text{Max}(i, j) = \sum_{j=0}^i i + \sum_{j=i+1}^n j$.

b) Montrer d'une part que $\sum_{j=0}^i i = i(i+1)$ et d'autre part que $\sum_{j=i+1}^n j = \frac{n(n+1)}{2} - \frac{i(i+1)}{2}$.

3. En utilisant la question précédente, obtenir la relation :

$$4 \sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^n \text{Max}(i, j) \right) = 2 \sum_{i=0}^n (n(n+1) + i^2 + i).$$

4. En rapprochant les formules prouvées aux questions 1 et 3, conclure.

Exercice 12 Montrer par récurrence que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $\sum_{k=0}^n k^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$.

Exercice 13 Soit a et b deux réels avec $0 < a < b$ et $n \in \mathbb{N}^*$ un entier. L'objectif est d'étudier le sens de variation du k -ème terme du développement de $(a+b)^n$. Plus précisément, pour chaque indice k variant entre 0 et n , on note $u_k = \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$ et on s'intéresse à la liste de réels $(u_0, \dots, u_n)$.

1. Montrer que pour tout entier $k \in \{0, \dots, n-1\}$, $\frac{u_{k+1}}{u_k} = \frac{n-k}{k+1} \frac{b}{a}$.

2. Montrer que pour tout $k \in \{0, \dots, n-1\}$, $\frac{u_{k+1}}{u_k} = 1 \iff k = \frac{nb-a}{a+b}$ et $\frac{u_{k+1}}{u_k} > 1 \iff k < \frac{nb-a}{a+b}$.

3. Dans cette question, on suppose que $n < \frac{b}{a}$. Montrer que $u_0 < u_1 < u_2 < \dots < u_n$.

4. Dans cette question, on suppose que $n = \frac{b}{a}$. Montrer que $u_0 < u_1 < u_2 < \dots < u_{n-1} = u_n$.

5. (Question plus difficile demandant de l'initiative). Et quand $n > \frac{b}{a}$, comment se comporte la liste $(u_0, \dots, u_n)$?

Exercice 14 1. On rappelle que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, $\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$.

(a) Soit $n \in \mathbb{N}^*$. Calculer $S_n = \sum_{k=1}^n (k-1)k$.

(b) On pose $v_k = k(k-1)(k-2)$.

i. Montrer que pour tout $k \in \mathbb{N}^*$, $v_{k+1} - v_k = 3k(k-1)$.

ii. Calculer alors $T_n = \sum_{k=1}^n (v_{k+1} - v_k)$.

iii. En déduire un lien entre S_n et T_n .

2. Soit $n \in \mathbb{N}$, calculer $C = \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^n 2^{k-l}$.

Exercice 15 Soit $n \in \mathbb{N}$.

1. Montrer que pour tout $k \in \{0, \dots, n\}$, $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}$.
2. Montrer que pour tout $k \in \{0, \dots, n-1\}$, $\binom{2n}{k} < \binom{2n}{k+1}$. En déduire que pour tout $k \in \{0, \dots, 2n\}$,
 $\binom{2n}{k} \leq \binom{2n}{n}$.
3. Montrer que $\frac{2^{2n}}{2n+1} \leq \binom{2n}{n}$. (Indication : on pourra considérer l'entier $\sum_{k=0}^{2n} \binom{2n}{k}$).