Programme de colles 04
Fonctions usuelles et équations complexes

Quinzaine du 13 au 24 novembre

Fonctions usuelles

1. Le logarithme népérien (comme étant la fonction $x \mapsto \int_1^x \frac{1}{t}\,\mathrm{d}t$). Continuité, dérivation, monotonie. Propriétés algébriques. Limite aux bornes, graphe, $\ln(1+x) \leqslant x$ et $\lim_{x\to 0} \frac{\ln(1+x)}{x}$.
2. La fonction exponentielle (comme réciproque de la fonction logarithme). Continuité, dérivation, propriétés algébriques, graphes, limites aux bornes, $\mathrm{e}^x \geqslant 1+x$ et $\lim_{x\to 0} \frac{\mathrm{e}^x-1}{x}$.
3. Les fonctions exponentielle et logarithme en base a.
4. Les fonctions puissances, dérivation, propriétés algébriques.
5. Croissances comparées : $\lim_{x\to+\infty} x^a \ln^b(x)$, $\lim_{x\to+\infty} \frac{\mathrm{e}^{bx}}{x^a}$, $\lim_{x\to 0, x>0} x^a \left|\ln(x)\right|^b$, $\lim_{x\to-\infty} |x|^a \mathrm{e}^{-x}$.
6. Les fonctions hyperboliques, définition, dérivée, parité, monotonie, tangente en 0, graphe, $\mathrm{ch}^2(x) - \mathrm{sh}^2(x) = 1$. Limites aux bornes, $\lim_{x\to+\infty} \frac{\mathrm{ch}(x)}{x}$, $\lim_{x\to+\infty} \frac{\mathrm{sh}(x)}{x}$, $\lim_{x\to 0} \frac{\mathrm{ch}(x)-1}{x^2}$, $\lim_{x\to 0} \frac{\mathrm{sh}(x)}{x}$.
7. Les fonctions circulaires réciproques : arcsinus, arccosinus, arctan, définition, parité (ou non), dérivation, limites aux bornes, asymptotes, tangentes en 0, graphes.

Equations et géométrie complexes

8. Exponentielle complexe, propriétés.
9. Racines carrées d'un complexe, existence d'exactement deux racines pour tout complexe non nul. Détermination directe par la forme polaire et/ou par le calcul sous la forme algébrique.
10. Equations complexes du second degré. Discriminant complexe et expression des racines. Relations racines-coefficients : $s = z_1 + z_2 = -b/a$ et $p = z_1 z_2 = c/a$.
11. Racines n-ièmes de l'unité. Stabilité par produit et inverse/conjugué. Expression des racines n-ièmes. Somme des racines et factorisation de $z^n - 1$.
12. Racines n-ièmes d'un complexe z. Expression à partir de la forme polaire de z. Détermination des racines n-ièmes de z à partir d'une.
13. Caractérisation par les affixes de la colinéarité/alignement, de l'orthogonalité.
14. Translation, rotation, homothétie. Définitions géométriques et applications complexes associées.

Questions de cours

1. Justifier la dérivabilité de la fonction arcsin et calculer sa dérivée.
2. Enoncer et démontrer la relation entre $\arctan(x)$ et $\arctan\left(\frac{1}{x}\right)$ sur $\mathbb{R}_+^*$.
3. Démonstration de l'écriture polaire des racines n-ièmes de l'unité.

Démonstrations de cours

Proposition (démo 1)

La fonction arcsin est dérivable sur $]-1;1[$ et

$$\forall x \in]-1;1[, \qquad \arcsin'(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}.$$

Démonstration. Soit $f : \begin{array}{ccc} \left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[& \to &]-1;1[\\ x & \mapsto & \sin(x) \end{array}$ la restriction de la fonction sinus sur $\left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$ dans $]-1;1[$. La fonction f est bien définie car la fonction sinus est bien définie sur $\left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$ et $\sin\left(\left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[\right) =]-1;1[$. On observe alors les points suivants :

- La fonction f est strictement croissante sur $\left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$ car la fonction sinus l'est.
- La fonction f est dérivable sur $\left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$ car la fonction sinus l'est.
- Pour tout $x \in \left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$,
$$f'(x) = \sin'(x) = \cos(x) \neq 0.$$

Donc par le théorème de la dérivabilité de la réciproque, la fonction arcsin est dérivable sur $]-1;1[$. Soit $x \in]-1;1[$, on a

$$\arcsin'(x) = \frac{1}{f' \circ \arcsin(x)} = \frac{1}{\cos(\arcsin(x))}.$$

Or,

$$\cos^2(\arcsin(x)) = 1 - \sin^2(\arcsin(x)) = 1 - x^2.$$

Et puisque $\arcsin(x) \in \left]-\frac{\pi}{2};\frac{\pi}{2}\right[$, $\cos(\arcsin(x)) > 0$. Ainsi,

$$\cos(\arcsin(x)) = +\sqrt{1-x^2}.$$

Conclusion,

$$\boxed{\text{la fonction arcsin est dérivable sur }]-1;1[\text{ et pour tout } x \in]-1;1[,\ \arcsin'(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}.}$$

□

Proposition (démo 2)

Pour tout $x \in \mathbb{R}_+^*$,

$$\arctan(x) + \arctan\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\pi}{2}.$$

Démonstration. Posons $g : \begin{array}{ccc} \mathbb{R}_+^* & \to & \mathbb{R} \\ x & \mapsto & \arctan(x) + \arctan\left(\frac{1}{x}\right) \end{array}$. La fonction $x \mapsto \frac{1}{x}$ est bien définie et même dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$ et la fonction arctangente l'est sur $\mathbb{R}$ donc la fonction g est bien définie et même dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. De plus, pour tout $x \in \mathbb{R}_+^*$, on a

$$g'(x) = \frac{1}{1+x^2} + \left(\frac{1}{x}\right)' \times \frac{1}{1+\left(\frac{1}{x}\right)^2} = \frac{1}{1+x^2} + \frac{-1}{x^2} \times \frac{1}{1+\frac{1}{x^2}} = \frac{1}{1+x^2} - \frac{1}{x^2+1} = 0.$$

Dès lors, puisque $\mathbb{R}_+^*$ est un intervalle,

$$\exists C \in \mathbb{R},\ \forall x \in \mathbb{R}_+^*, \qquad g(x) = C.$$

En particulier,

$$g(1) = \arctan(1) + \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2} = C.$$

Conclusion,

$$\boxed{\forall x \in \mathbb{R}_+^*, \qquad \arctan(x) + \arctan\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\pi}{2}.}$$

Rappel, par imparité, on a aussi :

$$\forall x \in \mathbb{R}_-^*, \qquad \arctan(x) + \arctan\left(\frac{1}{x}\right) = -\frac{\pi}{2}.$$

$\square$

Proposition (démo 3)

Soit $n \in \mathbb{N}^*$, l'ensemble des racines n-ièmes de l'unité est donné par :

$$\mathbb{U}_n = \left\{ \mathrm{e}^{i\frac{2k\pi}{n}} \,\middle|\, k \in [\![0; n-1]\!] \right\}.$$

Démonstration. Soit $n \in \mathbb{N}^*$ et $\omega \in \mathbb{C}$. Observons que $0^n = 0 \neq 1$ donc $0 \notin \mathbb{U}_n$. Fixons donc $\omega \in \mathbb{C}^*$. Alors, il existe $(r, \theta) \in \mathbb{R}_+^* \times [0; 2\pi[$ tel que $\omega = r\,\mathrm{e}^{i\,\theta}$. On a les équivalences suivantes :

$$\begin{aligned}
\omega \in \mathbb{U}_n \quad & \Leftrightarrow \quad \omega^n = \left(r\,\mathrm{e}^{i\,\theta}\right)^n = 1 \\
& \Leftrightarrow \quad r^n\,\mathrm{e}^{in\,\theta} = 1 = 1 \times \mathrm{e}^{i0} \\
& \Leftrightarrow \quad \begin{cases} r^n = 1 \\ \exists k \in \mathbb{Z},\ n\,\theta = 2k\pi \end{cases} && \text{par la pseudo-unicité de la forme trigonométrique} \\
& \Leftrightarrow \quad \begin{cases} r = 1 \\ \exists k \in \mathbb{Z},\ \theta = \frac{2k\pi}{n}. \end{cases} && \text{car l'équation } x^n = 1 \text{ n'admet qu'une seule solution dans } \mathbb{R}_+
\end{aligned}$$

Or, par construction, $\theta \in [0; 2\pi[$ et de plus pour $k \in \mathbb{Z}$, on a

$$0 \leqslant \frac{2k\pi}{n} < 2\pi \qquad \Leftrightarrow \qquad 0 \leqslant k < n \qquad \Leftrightarrow \qquad 0 \leqslant k \leqslant n-1 \qquad \textit{car } (k,n) \in \mathbb{Z}^2.$$

Ainsi,

$$\omega \in \mathbb{U}_n \qquad \Leftrightarrow \qquad \begin{cases} r = 1 \\ \exists k \in [\![0; n-1]\!],\ \theta = \frac{2k\pi}{n} \end{cases} \qquad \Leftrightarrow \qquad \exists k \in [\![0; n-1]\!],\ \omega = \mathrm{e}^{i\frac{2k\pi}{n}}.$$

Conclusion,

$$\mathbb{U}_n = \left\{ \mathrm{e}^{i\frac{2k\pi}{n}} \,\middle|\, k \in [\![0; n-1]\!] \right\}.$$

$\square$