Dérivabilité, convexité
Exercices

E1A 2016-2017

Étude de fonctions

I Étudier l'ensemble de définition, la continuité puis la dérivabilité des fonctions suivantes. Calculer la dérivée, quand elle existe.

a. $f : x \mapsto \dfrac{1}{(x+1)^3}$

b. $f : x \mapsto x\sqrt{2-x}$

c. $f : x \mapsto x\ln(x) - x$

d. $f : x \mapsto x^{3x}$

e. $f : x \mapsto \ln(3x^2+2x)$

f. $f : x \mapsto \mathrm{e}^{x^3-x}$

g. $f : x \mapsto \dfrac{x^2-3x+2}{3x+5}$

h. $f : x \mapsto (1-2x)\mathrm{e}^{-2x}$

i. $f : x \mapsto \dfrac{x}{\ln(x)+1}$

j. $f : x \mapsto x^x$

k. $f : x \mapsto \dfrac{x}{\ln(x+1)}$

l. $f : x \mapsto x\lfloor x \rfloor$

m. $f : x \mapsto x^{x^x}$

n. $f : x \mapsto x^2 - 2|x|$

o. $f : x \mapsto 3^{4x^2-1}$

p. $f : x \mapsto \dfrac{x^3+2x^2-x+3}{2x^3-3x^2+x}$

q. $f : x \mapsto \sqrt{x}\ln(x)\mathrm{e}^x$

r. $f : x \mapsto \dfrac{2x\sqrt{x}}{x+1}$

s. $f : x \mapsto \sqrt{3x+5-x^2}$

t. $f : x \mapsto x^{\ln(x)}$

u. $f : x \mapsto \ln(1+|x|)$

v. $f : x \mapsto \sqrt{x^2-x^3}$

w. $f : x \mapsto x\,|x|$

x. $f : x \mapsto \dfrac{x}{|x|+1}$

y. $f : x \mapsto \sqrt{x}^x$

Réponse.

a. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}\setminus\{-1\}$. Dérivée : $x \mapsto -3(1+x)^{-4}$.

b. Définie sur $]-\infty,2]$ et dérivable sur $]-\infty,2[$. Dérivée : $x \mapsto \sqrt{2-x} - \dfrac{x}{2\sqrt{2-x}}$.

c. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto \ln(x)$.

d. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto 3\,x^{3x}(\ln(x)+1)$.

e. Définie et dérivable sur $\left]-\infty,-\frac{2}{3}\right[\cup]0,+\infty[$. Dérivée : $x \mapsto (6x+2)/\ln(3x^2+2x)$.

f. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}$. Dérivée : $x \mapsto \mathrm{e}^{x^3-x}(3x^2-1)$.

g. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}\setminus\{-\frac{5}{3}\}$. Dérivée : $x \mapsto (3x^2+8x-21)/(3x+5)^2$.

h. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}$. Dérivée : $x \mapsto 4(x-1)e^{-2x}$.

i. Définie et dérivable sur $\left]0,\frac{1}{e}\right[\cup\left]\frac{1}{e},+\infty\right[$. Dérivée : $x \mapsto \ln(x)/(\ln(x)+1)^2$.

j. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto x^x(\ln(x)+1)$.

k. Définie et dérivable sur $]-1,e-1[\cup]e-1,+\infty[$. Dérivée : $x \mapsto \dfrac{(x+1)\ln(x+1)-x}{(x+1)\ln(x+1)^2}$.

l. Définie sur $\mathbb{R}$ et dérivable sur $\mathbb{R}\setminus\mathbb{Z}$. Dérivée : $x \mapsto \lfloor x \rfloor$.

m. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto x^{x^x+x}(\ln(x)^2+\ln(x)+\frac{1}{x})$.

n. Définie sur $\mathbb{R}$ et dérivable sur $\mathbb{R}^*$. Dérivée : $x \mapsto 2x-2$ sur $\mathbb{R}_+^*$, $x \mapsto 2x+2$ sur $\mathbb{R}_-^*$.

o. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}$. Dérivée : $x \mapsto 8\ln(3)x\,3^{4x^2-1}$.

p. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}\setminus\{\frac{1}{2},1\}$. Dérivée : $x \mapsto \dfrac{-7x^4+5x^3-25x^2+18x}{(2x^3-3x^2+x)^2}$.

q. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto \dfrac{\ln(x)e^x}{2\sqrt{x}} + \dfrac{e^x}{\sqrt{x}} + \sqrt{x}\ln(x)e^x$.

r. Définie et continue sur $\mathbb{R}_+$, dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto \dfrac{(x+3)\sqrt{x}}{(x+1)^2}$.

s. Définie et continue sur $\left[\frac{3-\sqrt{29}}{2},\frac{3+\sqrt{29}}{2}\right]$, dérivable sur $\left]\frac{3-\sqrt{29}}{2},\frac{3+\sqrt{29}}{2}\right[$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{3-2x}{2\sqrt{3x+5-x^2}}$.

t. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto 2\ln(x)x^{\ln(x)-1}$.

u. Définie et continue sur $\mathbb{R}$, dérivable sur $\mathbb{R}^*$.
Dérivée $x \mapsto \dfrac{1}{1+x}$ sur $\mathbb{R}_+^*$, $x \mapsto \dfrac{1}{x-1}$ sur $\mathbb{R}_-^*$.

v. Définie et continue sur $]-\infty,1]$, dérivable sur $]-\infty,0[\cup]0,1[$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{2x-3x^2}{2\sqrt{x^2-x^3}}$.

w. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}$. Dérivée : $x \mapsto 2|x|$.

x. Définie et continue sur $\mathbb{R}$, dérivable sur $\mathbb{R}^*$. Dérivée : $x \mapsto \dfrac{1}{|x|+1}$.

y. Définie et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$. Dérivée : $x \mapsto \frac{1}{2}(\ln(x)+1)\sqrt{x}^x$.

II Calculer l'équation des tangentes en 0, 1, -2 et $\sqrt{3}$ (quand elles existent) des fonctions suivantes :

a. $f : x \mapsto x^2-3x+1$

b. $f : x \mapsto \sqrt{2x-1}$

c. $f : x \mapsto x\ln(x+3)$

d. $f : x \mapsto \sqrt{x^2+1}\,\mathrm{e}^x$

Réponse.

a. $T_0 : y = -3x + 1$,
$T_1 : y = -x$,
$T_{-2} : y = -7x - 3$,
$T_{\sqrt{3}} : y = (2\sqrt{3} - 3)x - 2$.

b. T_0 : non définie car $2 \times 0 - 1 \leq 0$,
$T_1 : y = x$,
T_{-2} : non définie car $2 \times (-2) - 1 \leq 0$,
$T_{\sqrt{3}} : y = \sqrt{2\sqrt{3} - 1} + \dfrac{1}{\sqrt{2\sqrt{3} - 1}}(x - \sqrt{3})$.

c. $T_0 : y = \ln(3)x$,
$T_1 : y = (2\ln(2) + \frac{1}{4})x - \frac{1}{4}$,
$T_{-2} : y = -2x + 4$,
$T_{\sqrt{3}} : y = (1 + \sqrt{3})(\ln(\sqrt{3} + 3) + \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}+3}(x - \sqrt{3})$.

d. $T_0 : y = 1 + x$,
$T_1 : y = \sqrt{2}e + 2e\sqrt{2}(x - 1)$,
$T_{-2} : y = \sqrt{5}e^{-2} + e^{-2}(-\frac{2}{\sqrt{5}} + \sqrt{5})(x + 2)$,
$T_{\sqrt{3}} : y = \sqrt{10}e^{\sqrt{3}} + e^{\sqrt{3}}(\sqrt{3/10} + \sqrt{10})(x - \sqrt{3})$.

III Étude complète des fonctions suivantes (ensemble de définition, limites, éventuels prolongements par continuité, variations, allure de la courbe) :

a. $f : x \mapsto \sqrt{x+1}\,\ln(x+1)$

b. $f : x \mapsto x + \sqrt{x^2 - 1}$

c. $f : x \mapsto \ln(\mathrm{e}^{2x} - \mathrm{e}^x + 1)$

d. $f : x \mapsto \dfrac{x^2 - 3x + 1}{2x^2 - 5x - 3}$

e. $f : x \mapsto x^{1/x}$

f. $f : x \mapsto \dfrac{\mathrm{e}^{2x}}{x^2 - 1}$

Réponse.

a. Définie, continue et dérivable sur $]-1, +\infty[$.
Prolongeable par continuité en -1 avec $\widetilde{f}(-1) = 0$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{\ln(x+1) + 2}{2\sqrt{x+1}}$.

b. Définie $\{x \in \mathbb{R} \mid x^2 - 1 \geq 0\} =]-\infty, -1] \cup [1, +\infty[$ et continue sur ce domaine, dérivable sur $\left\{x \in \mathbb{R} \mid x^2 - 1 > 0\right\} =]-\infty, -1[\cup]1, +\infty[$.
Dérivée : $x \mapsto 1 + \dfrac{x}{\sqrt{x^2 - 1}}$.

c. Définie, continue et dérivable sur $\left\{x \in \mathbb{R} \mid e^{2x} - e^x + 1 > 0\right\} = \mathbb{R}$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{2e^{2x} - e^x}{e^{2x} - e^x + 1} = \dfrac{(2e^x - 1)e^x}{e^{2x} - e^x + 1}$.

d. Définie sur $\{x \in \mathbb{R} \mid 2x^2 - 5x - 3 \neq 0\} = \mathbb{R} \setminus \{-\frac{1}{2}, 3\}$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{x^2 - 10x + 14}{(2x^2 - 5x - 3)^2} = \dfrac{(x - 5 + \sqrt{11})(x - 5 - \sqrt{11})}{(2x^2 - 5x - 3)^2}$.

e. Définie, continue et dérivable sur $\mathbb{R}_+^*$.
Dérivée : $x \mapsto \exp\left(\dfrac{\ln(x)}{x}\right)\dfrac{1 - \ln(x)}{x^2}$.

f. Définie, continue et dérivable sur $\{x \in \mathbb{R} \mid x^2 - 1 \neq 0\} =]-\infty, -1[\cup]1, +\infty[$.
Dérivée : $x \mapsto \dfrac{2e^{2x}(x^2 - x - 1)}{(x^2 - 1)^2} = \dfrac{2e^{2x}(x - \frac{1}{2}(1 + \sqrt{5}))(x - \frac{1}{2}(1 - \sqrt{5}))}{(x^2 - 1)^2}$.

Étude de $(f^{-1})'$

IV On considère la fonction $f : x \mapsto \dfrac{\mathrm{e}^x - \mathrm{e}^{-x}}{\mathrm{e}^x + \mathrm{e}^{-x}}$.

a. Montrer que f est définie sur $\mathbb{R}$.

b. Montrer que f est bijective de $\mathbb{R}$ vers un intervalle à préciser.

c. Dresser le tableau de variations de f^{-1}.

d. Quel est l'unique antécédent de 0 par f ? En déduire $(f^{-1})'(0)$.

e. Donner une expression générale de $(f^{-1})'$.

Réponse.

b. $f(\mathbb{R}) =]-1, 1[$.

c. f est strictement croissante sur $\mathbb{R}$.

d. $f^{-1}(0) = 0$ et $(f^{-1})'(0) = 1/f'(0) = 1$.

e. $(f^{-1})' : y \mapsto \dfrac{1}{1 - y^2}$.

V On note $f(x) = x\,\mathrm{e}^x$.

a. Quel est l'ensemble de définition de f ? Étudier ses variations.

b. Montrer que f réalise une bijection de $\mathbb{R}^+$ dans I, où I est un intervalle à préciser.

c. On note h la bijection réciproque. Déterminer sa dérivée h'.

d. Faire une étude complète de h (variations, allure de la courbe).

e. Justifier que l'équation $\mathrm{e}^{-x} = 2x$ admet une unique solution réelle, et exprimer cette solution à l'aide de h.

Réponse.

a. f est définie sur $\mathbb{R}$, strictement décroissante sur $]-\infty, -1[$, strictement croissante sur $]-1, +\infty[$.

b. $I = [0, +\infty[= \mathbb{R}_+$.

c. $h' : y \mapsto \dfrac{1}{y + e^{h(y)}}$.

e. Pour tout $x \in \mathbb{R}_+,\ e^{-x} = 2x \iff \frac{1}{2} = xe^x \iff x = h(\frac{1}{2})$.

Développement limité à l'ordre 1 en x_0

VI Soit f une fonction dérivable en a.

Le but de l'exercice est de déterminer : $\lim\limits_{h\to 0} \dfrac{(f(a+3h))^2 - (f(a-h))^2}{h}$.

a. Montrer que la fonction $h : x \mapsto f(a+x)$ est dérivable en 0.

b. Écrire le dévelppement limité à l'ordre 1 de la fonction h en 0.

c. En déduire une écriture de $(f(a+x))^2$ pour x au voisinage de 0.

d. Conclure.

Caractère C^n/C^∞

VII On considère la fonction $f : x \mapsto \begin{cases} 1+x & \text{si } x \geq 0 \\ \mathrm{e}^x & \text{si } x < 0 \end{cases}$

a. Montrer que f est C^1 sur $\mathbb{R}$.

b. Montrer que f n'est pas deux fois dérivable sur $\mathbb{R}$.

VIII Pour chacune des fonctions suivantes, déterminer l'ensemble de définition, les éventuels prolongements par continuité, et déterminer la classe la plus fine possible de la fonction (éventuellement prolongée). Donner l'équation des tangentes (si elles existent) aux points qui posent problème.

a. $f : x \mapsto \mathrm{e}^{x+\frac{1}{x}}$

b. $f : x \mapsto x^2 \ln\left(1 + \dfrac{1}{x^2}\right)$

c. $f : x \mapsto (1-x)\sqrt{1-x^2}$

d. $f : x \mapsto \sqrt{x}\,\mathrm{e}^{-x}$

e. $f : x \mapsto x\sqrt{x+x^2}$

f. $f : x \mapsto \dfrac{x\sqrt{x}}{\mathrm{e}^x - 1}$

Calcul de dérivée n^{e}

IX Calculer la dérivée n^{e} de :

a. $f : x \mapsto (x^2+1)\,\mathrm{e}^x$ **b.** $g : x \mapsto x^2\,(1+x)^n$ **c.** $h : x \mapsto \frac{1}{1-x}$

Réponse.

a. $f^{(n)} : x \mapsto \big(x^2 + 1 + 2nx + n(n-1)\big)\, e^x$.

b. $g^{(n)} : x \mapsto n!\,(4x^2 + 4x + 1)$.

c. $h^{(n)} : x \mapsto \dfrac{n!}{(1-x)^{n+1}}$.

X **a.** Montrer qu'il existe $(a,b) \in \mathbb{R}^2$ tel que : $\dfrac{1}{1-x^2} = a\,\dfrac{1}{1-x} + b\,\dfrac{1}{1+x}$.

b. En déduire la dérivée n^{e} de $x \mapsto \dfrac{1}{1-x^2}$.

Réponse.

a. $a = b = \frac{1}{2}$.

b. $x \mapsto \dfrac{n!}{2}\left[\dfrac{1}{(1-x)^{n+1}} + \dfrac{(-1)^n}{(1+x)^{n+1}}\right]$.

Théorème de Rolle

XI Soit $f : [a,b] \to \mathbb{R}$ deux fois dérivable et telle que $f(a) = f'(a)$ et $f(b) = f'(b)$.

Montrer qu'il existe un élément $c \in]a,b[$ tel que $f(c) = f''(c)$.
(on pourra introduire la fonction $g : x \mapsto \mathrm{e}^x\,(f(x) - f'(x))$)

Théorème des accroissements finis

XII Soit $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ une fonction dérivable sur $\mathbb{R}$. Montrer que :

$$\forall x > 0,\ \exists c > 0, \quad f(x) - f(-x) = x(f'(c) + f'(-c))$$

(on pourra introduire la fonction $\varphi : x \mapsto f(x) - f(-x)$)

Accroissements finis et étude des suites récurrentes

XIII On considère la fonction f suivante.

$$f \ : \left| \begin{array}{ccc}]0,+\infty[& \to & \mathbb{R} \\ x & \mapsto & \dfrac{x}{e^x-1} \end{array} \right.$$

a. Calculer $f'(x)$.

b. Montrer que $\forall x \in]0,+\infty[\,,\ f''(x) = \dfrac{e^x}{(e^x-1)^3}(xe^x - 2e^x + x + 2)$.

c. Étudier les variations de la fonction $g : [0,+\infty[\to \mathbb{R}$ définie, pour tout x de $[0,+\infty[$, par : $g(x) = xe^x - 2e^x + x + 2$. En déduire : $\forall x \in]0;+\infty[\,,\ f''(x) > 0$.

d. En déduire le sens de variation de f (on admettra que $f'(x) \xrightarrow[x\to 0^+]{} -\dfrac{1}{2}$).
On précisera la limite de f en $+\infty$. Dresser le tableau de variation de f.

e. On considère la suite (u_n) par : $\left\{ \begin{array}{l} u_0 = 1 \\ \forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = f(u_n) \end{array} \right.$

Montrer $\forall x \in]0,+\infty[\,,\ |f'(x)| \leq \dfrac{1}{2}$ et $0 \leq f(x) \leq 1$.

f. Résoudre l'équation $f(x) = x$, d'inconnue $x \in]0,+\infty[$.

g. Montrer $\forall n \in \mathbb{N},\ |u_{n+1} - \ln(2)| \leq \dfrac{1}{2}\,|u_n - \ln(2)|$.

h. Établir que la suite $(u_n)_{n>0}$ converge et déterminer sa limite.

XIV Soit la suite la suite (u_n) par : $\left\{ \begin{array}{l} u_0 = 0 \\ \forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = \sqrt{u_n + 1} \end{array} \right.$
On pose $f(x) = \sqrt{x+1}$.

a. Montrer que $[0,2]$ est stable par f et que : $\forall x \in [0,2],\ |f'(x)| \leq \dfrac{1}{2}$.

b. Déterminer les points fixes de f. Notons r l'unique point fixe dans $[0,2]$.

c. Montrer que $\forall n \in \mathbb{N}, 0 \leq u_n \leq 2$.

d. Montrer que $\forall n \in \mathbb{N}, |u_{n+1} - r| \leq \dfrac{|u_n - r|}{2}$ puis que $|u_n - r| \leq \dfrac{1}{2^{n-1}}$

e. Montrer que (u_n) converge et déterminer sa limite.

f. Déterminer un entier N tel que $|u_N - r| \leq 10^{-9}$.

g. Écrire un programme Scilab donnant une valeur approchée de r à 10^{-9} près.

XV On considère la fonction $f : x \mapsto e^{-\frac{x^2}{2}}$.
On définit la suite (u_n) par : $\left\{ \begin{array}{l} u_0 \in [0,1] \\ \forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = f(u_n) \end{array} \right.$

a. Montrer que l'équation $f(x) = x$ admet une unique solution dans $[0,1]$, que l'on notera α.

b. Montrer que l'intervalle $[0,1]$ est stable par f.
En déduire que : $\forall n \in \mathbb{N},\ u_n \in [0,1]$.

c. — Montrer que : $\forall x \in [0,1],\ |f'(x)| \leq \dfrac{1}{\sqrt{e}}$

— En déduire que : $\forall n \in \mathbb{N},\ |u_{n+1} - \alpha| \leq \dfrac{1}{\sqrt{e}}\,|u_n - \alpha|$.

— Puis que : $\forall n \in \mathbb{N},\ |u_n - \alpha| \leq \left(\dfrac{1}{\sqrt{e}}\right)^n$.

— En déduire enfin que (u_n) est convergente et déterminer sa limite.

Réponse.

a. Commençons par remarquer que $f(x) = x \iff f(x) - x = 0$. On va donc étudier la fonction $\varphi : x \mapsto e^{-\frac{1}{2}x^2} - x$ et montrer qu'elle s'annule une unique fois sur $[0,1]$. Cette fonction est bien définie et de classe C^∞ sur $[0,1]$ par opérations algébriques et composition de fonctions usuelles C^∞. De plus, $\varphi(0) = 1$ et, par stricte croissance de la fonction exponentielle, $\varphi(1) = e^{-\frac{1}{2}} - 1 = e^{-\frac{1}{2}} - e^0 < 0$ car $-\frac{1}{2} < 0$.

De plus, pour tout $x \in [0,1],\ \varphi'(x) = -xe^{-\frac{1}{2}x^2} - 1 < 0$.

On en déduit que φ est strictement décroissante sur $[0,1]$. Or elle est continue et on a vu ci-dessus que $\varphi(1) < 0 < \varphi(0)$. D'après le théorème de la bijection, il existe donc un unique réel $x \in [0,1]$ tel que $\varphi(x) = 0$.

b. Soit $x \in [0,1]$. Alors $0 \leq x \leq 1$, donc $0 \geq -\frac{1}{2}x^2 \geq -\frac{1}{2}$ et enfin $1 \geq f(x) \geq e^{-\frac{1}{2}} > 0$ par croissance et positivité de la fonction exponentielle. Ainsi $f(x) \in [0,1]$.

Démontrons par récurrence que : $\forall n \in \mathbb{N},\ \mathcal{P}_n$ où on note $\mathcal{P}_n$: « $u_n \in [0,1]$ ».

— $u_0 \in [0,1]$ d'après l'énoncé, ce qui établit $\mathcal{P}_0$.

— Soit $n \in \mathbb{N}$. Supposons que $u_n \in [0,1]$. Alors $f(u_n) \in [0,1]$ car $[0,1]$ est stable par f. Or $u_{n+1} = f(u_n)$, donc ceci démontre $\mathcal{P}_{n+1}$.

c. — La fonction f est dérivable sur $[0,1]$ et :

$$\forall x \in [0,1], \quad |f'(x)| = |-xe^{-\frac{1}{2}x^2}| = xe^{-\frac{1}{2}x^2}$$

La fonction $x \mapsto xe^{-\frac{1}{2}x^2}$ est elle-même dérivable, de dérivée $x \mapsto (1-x^2)e^{-\frac{1}{2}x^2}$ positive sur $[0,1]$. On en déduit que $x \mapsto |f'(x)|$ est croissante sur $[0,1]$. Son maximum sur $[0,1]$ est donc $|f'(1)| = e^{-\frac{1}{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{e}}$, ce qui achève la question.

— Soit $n \in \mathbb{N}$. On sait que $u_{n+1} = f(u_n)$ et par ailleurs $\alpha = f(\alpha)$. Ainsi, d'après l'inégalité des accroissements finis et le point précédent :

$$|u_{n+1} - \alpha| = |f(u_n) - f(\alpha)| \leq \frac{1}{\sqrt{e}}.$$

— Démontrons par récurrence que : $\forall n \in \mathbb{N},\ \mathcal{P}_n$ où on note $\mathcal{P}_n : |u_n - \alpha| \leq \left(\frac{1}{\sqrt{e}}\right)^n$.

- *Initialisation pour* $n = 0$. On a $\alpha \in [0,1]$ et $u_0 \in [0,1]$, donc $|u_0 - \alpha| \leq 1$. Par ailleurs $(\frac{1}{\sqrt{e}})^0 = 1$, donc ceci prouve $\mathcal{P}_0$.
- *Hérédité.* Soit $n \in \mathbb{N}$ tel que $\mathcal{P}_n$. Alors d'après ce qui précède :

$$|u_{n+1} - \alpha| \leq \frac{1}{\sqrt{e}}|u_n - \alpha| \leq \frac{1}{\sqrt{e}}\left(\frac{1}{\sqrt{e}}\right)^n = \left(\frac{1}{\sqrt{e}}\right)^{n+1}, \quad \text{d'où } \mathcal{P}_{n+1}.$$

— Puisque $\sqrt{e} > 1$, on a $0 < \frac{1}{\sqrt{e}} < 1$, donc d'après le théorème de convergence des suites géométriques, $(\frac{1}{\sqrt{e}})^n$ tend vers 0 lorsque $n \to \infty$. On déduit alors directement de l'inégalité établie à la question précédente et du théorème d'encadrement que la suite (u_n) converge vers α.

XVI On considère la suite (u_n) par : $\begin{cases} u_0 = 4 \\ \forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = 4 + \frac{\ln(u_n)}{4} \end{cases}$

a. Soit $f : x \mapsto 4 + \dfrac{\ln(x)}{4}$.
Étudier la fonction f et montrer que $\left[1, \mathrm{e}^2\right]$ est stable par f.

b. Étudier le signe de $f(x) - x$ sur $\left[1, \mathrm{e}^2\right]$. En déduire que f possède un unique point fixe dans cet intervalle.

c. Montrer que pour tout n, u_n existe et appartient à l'intervalle $\left[1, \mathrm{e}^2\right]$.

d. Étudier la monotonie de (u_n) et montrer qu'elle converge vers une limite L à préciser.

e. À l'aide de l'inégalité des accroissements finis, donner une majoration de $|u_n - L|$ en fonction de n.

Démontrer des inégalités à l'aide de tableaux de variations

XVII **a.** Montrer que : $\forall x \in]-1, +\infty[, \quad \dfrac{x}{1+x} \leq \ln(x+1) \leq x$

b. Montrer que : $\forall x \in \mathbb{R}^+, \quad \mathrm{e}^x \geq 1 + x + \frac{x^2}{2}$

Convexité

XVIII Démontrer les inégalités suivantes.

a. $\forall x \in \mathbb{R},\ \mathrm{e}^x \geq x + 1$

b. $\forall x \in]0, +\infty[,\ \ln(x) \leq x - 1$

c. $\forall x \in [1, \mathrm{e}],\ \ln(x) \geq \dfrac{x-1}{\mathrm{e}-1}$

XIX Soient $(a,b) \in \mathbb{R}^2$. Montrer que : $\mathrm{e}^{\frac{a+b}{2}} \leq \dfrac{\mathrm{e}^a + \mathrm{e}^b}{2}$.

XX Étudier les fonctions suivantes, notamment la convexité et la présence de points d'inflexion. On finira en traçant les courbes.

a. $f(x) = \ln(1 + x^2)$

b. $f(x) = x\sqrt{1 - x^2}$

c. $f(x) = \mathrm{e}^{\frac{1}{1-x}} + 2x - 3$

d. $f(x) = \dfrac{2\ln(x) + 3}{x}$

e. $f(x) = -x^2 + 3x - \ln(x)$

XXI **a.** Montrer que la fonction $f : x \mapsto -\ln(\ln(x))$ est convexe sur $]1, +\infty[$.

b. En déduire que : $\forall (x,y) \in]1, +\infty[^2,\ \ln\left(\dfrac{x+y}{2}\right) \geq \sqrt{\ln(x)\ln(y)}$.

XXII Soit $f : [0,1[\to \mathbb{R}$ la fonction définie par $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x = 0 \\ \dfrac{1}{\ln(x)} & \text{si } x > 0 \end{cases}$.

a. Étudier la continuité et la dérivabilité de f sur $[0,1[$ (0 compris).

b. Déterminer la convexité de f sur $[0,1[$.

c. Montrer que f possède un unique point d'inflexion sur cet intervalle et déterminer la tangente de f en ce point.

d. Tracer une allure de la courbe représentative de f.

XXIII Soit $f : [a,b] \to \mathbb{R}$ de classe C^2 telle que $f(a) = f(b) = 0$.
On note $M = \sup_{[a,b]} |f''|$ et on considère :

$$g : x \mapsto f(x) - M\frac{(x-a)(b-x)}{2} \quad \text{et} \quad h : x \mapsto f(x) + M\frac{(x-a)(b-x)}{2}$$

a. Justifier l'existence de M.

b. Montrer que g est convexe et h est concave.

c. En déduire que, pour tout $x \in [a,b]$, on a : $|f(x)| \leq M\dfrac{(x-a)(b-x)}{2}$.