

الاشتقاق

(I) - اشتقاق مركب دالتين:

لتكن f دالة قابلة للاشتقاق على مجال I مفتوح و g دالة للاشتقاق على $f(I)$.
- لنبين أن $g \circ f$ قابلة للاشتقاق على I .

ليكن $x_0 \in I$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{g \circ f(x) - g \circ f(x_0)}{x - x_0} &= \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{g(f(x)) - g(f(x_0))}{x - x_0} && \text{لدينا:} \\ &= \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{g(f(x)) - g(f(x_0))}{f(x) - f(x_0)} \cdot \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} \\ \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} &= f'(x_0) && \text{ولدينا } f \text{ قابلة للاشتقاق في } x_0 \text{ إذن} \end{aligned}$$

نضع $X_0 = f(x_0)$ ، $X = f(x)$

لدينا $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$ (لأن f قابلة للاشتقاق في x_0 بالتالي متصلة في x_0).

إذن $x \rightarrow x_0$ يعني $f(x) \rightarrow f(x_0)$ يعني $X \rightarrow X_0$

$$\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{g(f(x)) - g(f(x_0))}{x - x_0} = \lim_{X \rightarrow X_0} \frac{g(X) - g(X_0)}{X - X_0} = g'(X_0) \quad \text{إذن:}$$

لأن g قابلة للاشتقاق في X_0 .

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{g \circ f(x) - g \circ f(x_0)}{x - x_0} &= g'(X_0) \cdot f'(x_0) && \text{إذن:} \\ &= g'(f(x_0)) \cdot f'(x_0) \end{aligned}$$

إذن $g \circ f$ قابلة للاشتقاق في x_0 و : $(g \circ f)'(x_0) = (g' \circ f(x_0)) \cdot f'(x_0)$

بالتالي $g \circ f$ قابلة للاشتقاق على I : $(\forall x \in I) (g \circ f)'(x) = (g' \circ f(x)) \cdot f'(x)$

خاصية:

إذا كانت f قابلة للاشتقاق على مجال I و g قابلة للاشتقاق على $f(I)$
فإن $g \circ f$ قابلة للاشتقاق على I و $(\forall x \in I) (g \circ f)'(x) = g' \circ f(x) \cdot f'(x)$

مثال:

نعتبر الدالة $f(x) = \cos(x^3 + x - 1)$

لدينا : $f(x) = h \circ g(x)$ حيث $g(x) = x^3 + x - 1$ و $h(x) = \cos x$

ولدينا h قابلة للاشتقاق على \mathbb{R} و $h'(x) = -\sin x$

و $g(\mathbb{R}) \subset \mathbb{R}$ إذن $f = h \circ g$ قابلة للاشتقاق على \mathbb{R} و

$$(\forall x \in \mathbb{R}) f'(x) = (h \circ g)'(x) = h'(g(x)) \cdot g'(x)$$

$$= h'(x^3 + x - 1) \cdot (3x^2 + 1)$$

$$= -\sin(x^3 + x - 1) \cdot (3x^2 + 1)$$

$$f'(x) = -(3x^2 + 1) \cdot \sin(x^3 + x - 1) \quad \text{إذن:}$$

ملاحظة:

إذا كانت u دالة قابلة للاشتقاق على مجال I
فإن الدوال : $x \rightarrow \cos(u(x))$ ، $x \rightarrow \sin(u(x))$ ، $x \rightarrow \tan(u(x))$
قابلة للاشتقاق على I و

$$(\forall \in I) (\cos(u(x)))' = -u'(x) \cdot \sin(u(x))$$

$$(\sin(u(x)))' = u'(x) \cdot \cos(u(x))$$

$$(\tan(u(x)))' = u'(x) [1 + \tan^2(u(x))]$$

II - اشتقاق الدالة العكسية و تطبيقاتها:

1 - اشتقاق الدالة العكسية:

لتكن f دالة متصلة و رتيبة قطعاً على مجال I
 نعلم أن f تقابل من I نحو $J = f(I)$ و بالتالي تقبل دالة عكسية
 - نفترض أن f قابلة للاشتقاق على I .
 - لندرس اشتقاق f^{-1} على J .

$$\lim_{y \rightarrow y_0} \frac{f^{-1}(y) - f^{-1}(y_0)}{y - y_0} \quad \text{ليكن } y_0 \in J \text{ لنحسب}$$

$$\begin{cases} f(x_0) = y_0 \\ f(x) = y \end{cases} \quad \text{يعني} \quad \begin{cases} f^{-1}(y_0) = x_0 \\ f^{-1}(y) = x \end{cases} \quad \text{نضع}$$

ولدينا : $\lim_{y \rightarrow y_0} f^{-1}(y) = f^{-1}(y_0) = x_0$ لأن f^{-1} متصلة.

إذن $y \rightarrow y_0$ يعني $f^{-1}(y) \rightarrow x_0$ يعني $x \rightarrow x_0$

$$\lim_{y \rightarrow y_0} \frac{f^{-1}(y) - f^{-1}(y_0)}{y - y_0} = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{x - x_0}{f(x) - f(x_0)} = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{1}{\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}} \quad \text{إذن:}$$

$$\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = f'(x_0) \quad \text{ونعلم أن } f \text{ قابلة للاشتقاق في } x_0 \text{ إذن:}$$

$$\lim_{y \rightarrow y_0} \frac{f^{-1}(y) - f^{-1}(y_0)}{y - y_0} = \frac{1}{f'(x_0)} \quad \text{إذا كانت } f'(x) \neq 0 \text{ فإن:}$$

$$(f^{-1})'(y_0) = \frac{1}{f'(x_0)} = \frac{1}{f'(f^{-1}(y_0))} \quad \text{إذن } f^{-1} \text{ قابلة للاشتقاق في } y_0 \text{ و:}$$

$$(f^{-1})'(y_0) = \frac{1}{f'(f^{-1}(y_0))} \quad \text{إذن إذا كانت } f'(x) \neq 0 \text{ فإن } f^{-1} \text{ قابلة للاشتقاق في } f(x_0) \text{ و}$$

خاصية:

إذا كانت f قابلة للاشتقاق و رتيبة قطعاً على مجال I و $(\forall x \in I) : f'(x) \neq 0$
 فإن f^{-1} قابلة للاشتقاق على $f(I)$ و $(\forall x \in I) (f^{-1})'(x) = \frac{1}{f'(f^{-1}(x))}$

2 - تطبيقات:

(a) اشتقاق دالة الجذر من الرتبة n : ($n \geq 2$)

نعتبر الدالة: $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$

$$x \rightarrow x^n$$

نعلم أن f تقابل و $f^{-1}(x) = \sqrt[n]{x}$

(*) لدينا : f قابلة للاشتقاق على $]0, +\infty[$ و $f'(x) = nx^{n-1}$ ولدينا : $x = 0 \Leftrightarrow f'(x)$

(*) لدينا f قابلة للاشتقاق و رتيبة قطعاً على $]0, +\infty[$ و $f'(x) \neq 0$ ($\forall x \in]0, +\infty[$)

إذن f^{-1} قابلة للاشتقاق على $]0, +\infty[$

$$(\forall x \in]0, +\infty[) (f^{-1})'(x) = \frac{1}{f'(f^{-1}(x))} = \frac{1}{f'(\sqrt[n]{x})} = \frac{1}{n(\sqrt[n]{x})^{n-1}} \quad \text{و:}$$

$$(\forall x \in]0, +\infty[) (\sqrt[n]{x})' = \frac{1}{n(\sqrt[n]{x})^{n-1}} \quad \text{إذن:}$$

$$\begin{aligned} ((x)^{\frac{1}{n}})' &= \frac{1}{n(x^{\frac{1}{n}})^{n-1}} = \frac{1}{n(x)^{\frac{n-1}{n}}} = \frac{1}{n} x^{\frac{1-n}{n}} && \text{يعني:} \\ (x^n)' &= \frac{1}{n} x^{n-1} && \text{يعني:} \end{aligned}$$

خاصية

$$\begin{aligned} (\forall \epsilon \in]0, +\infty[) \quad (\sqrt[n]{x})' &= \frac{1}{n(\sqrt[n]{x})^{n-1}} \quad \text{و} \quad]0, +\infty[\quad \text{الدالة} \quad x \rightarrow \sqrt[n]{x} \quad \text{قابلة للإشتقاق على} \\ (x^n)' &= \frac{1}{n} x^{n-1} && \text{يعني:} \end{aligned}$$

ملاحظة:

* إذا كانت U قابلة للاشتقاق على I و $(\forall \epsilon \in]0, +\infty[) : U(x) > 0$ فإن الدالة $x \rightarrow \sqrt[n]{u(x)}$ قابلة للإشتقاق على I و $(\forall \epsilon \in I) \quad (\sqrt[n]{U(x)})' = \frac{U'(x)}{n(\sqrt[n]{U(x)})^{n-1}}$

$$\left[(U(x)^{\frac{1}{n}})' = \frac{U'(x)}{n} \cdot (U(x))^{\frac{1}{n}-1} \right] \quad \text{يعني:}$$

$$(\sqrt[3]{U(x)})' = \frac{U'(x)}{3(\sqrt[3]{U(x)})^2} \quad \text{و} \quad (\sqrt{U(x)})' = \frac{U'(x)}{2\sqrt{U(x)}} \quad \text{حالة خاصة:}$$

(b) اشتقاق الدالة $x \rightarrow x^r$ مع $r \in \mathbb{Q}$:

باستعمال اشتقاق مركب دالتين نبين ما يآلي:

خاصية:

$$\begin{aligned} \text{ليكن } r \in \mathbb{Q} \quad \text{الدالة} \quad x \rightarrow x^r \quad \text{قابلة للاشتقاق على} \quad]0, +\infty[\\ (\forall \epsilon \in]0, +\infty[) \quad (x^r)' = r x^{r-1} \quad \text{و} \end{aligned}$$

ملاحظة:

إذا كانت U قابلة للاشتقاق على I و $(\forall \epsilon \in I) : u(x) > 0$ فإن الدالة $x \rightarrow (U(x))^r$ قابلة للاشتقاق على I و $(\forall \epsilon \in I) : (U(x)^r)' = r(U(x))^{r-1} U'(x)$

(c) اشتقاق الدالة Arcsin ، Arc cos ، Arc tan :

$$f : \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right] \rightarrow]-1, 1[\quad \text{نعتبر الدالة:}$$

$$x \rightarrow \sin x$$

$$f^{-1}(x) = \text{Arc sin } x \quad \text{نعلم أن}$$

$$f'(x) = \cos x \quad \text{و} \quad \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right] \quad \text{لدينا } f \text{ قابلة للاشتقاق على}$$

$$\text{ولدينا:} \quad x = \frac{\pi}{2} \quad \text{أو} \quad x = -\frac{\pi}{2} \quad \Leftrightarrow \quad f'(x) = 0$$

$$\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right] \quad \text{لدينا } f \text{ قابلة للاشتقاق و رتيبة قطعاً على}$$

$$\text{إذن } f^{-1} \text{ قابلة للاشتقاق على }]-1, 1[\quad \text{و} \quad f\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) =]-1, 1[$$

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

$$= \frac{1}{\cos(\text{Arc sin } x)} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$(\forall x \in]-1,1[) \quad (\text{Arc sin } x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad \text{إذن}$$

- بنفس الطريقة ندرس اشتقاق Arc cos و Arc tan .

خاصية:

$$-1 \text{ الدالتان : } x \rightarrow \text{Arc sin } x \text{ و } x \rightarrow \text{Arc cos } x \text{ قابلتان للاشتقاق على }]-1,1[$$

$$(\forall x \in]-1,1[) \quad (\text{Arc sin } x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \text{ و } (\text{Arc cos } x)' = \frac{-1}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$-2 \text{ الدالة } \text{Arc tan} \text{ قابلة للاشتقاق على } \mathbb{R} \quad (\forall x \in \mathbb{R}) \quad (\text{Arc tan } x)' = \frac{1}{1+x^2}$$

ملاحظة:

-1 إذا كانت U دالة قابلة للاشتقاق على مجال I و $-1 < U(x) < 1$ فإن الدالتين $x \rightarrow \text{Arc sin}(U(x))$ و $x \rightarrow \text{Arc cos}(U(x))$

$$(\forall x \in I) : [\text{Arc sin}(U(x))]' = \frac{U'(x)}{\sqrt{1-(U(x))^2}} \text{ و : قابلتين للاشتقاق على } I$$

$$[\text{Arc cos}(U(x))]' = \frac{-U'(x)}{\sqrt{1-(U(x))^2}} \text{ و}$$

$$-2 إذا كانت U دالة قابلة للاشتقاق على مجال I و : $(\forall x \in I) : [\text{Arc tan}(U(x))]' = \frac{U'(x)}{1+U(x)^2}$$$

تمارين تطبيقية:

تمرين 1:

$$f(x) = \sqrt[3]{(x+1)^2} - x \quad \text{نعتبر الدالة :}$$

* ادرس اشتقاق f و احسب $f'(x)$:

$$f'(x) = \frac{((x+1)^2)'}{3(\sqrt[3]{(x+1)^2})^2} - 1 \quad \text{و لدينا } f \text{ قابلة للاشتقاق على } \mathbb{R} - \{-1\}$$

$$= \frac{2(x+1)'(x+1)}{3(\sqrt[3]{(x+1)^2})^2} - 1$$

$$f'(x) = \frac{2(x+1)}{3(\sqrt[3]{(x+1)^2})^2} - 1 \quad \text{إذن}$$

طريقة أخرى:

$$f(x) = |x+1|^{\frac{2}{3}} - x \quad \text{لدينا :}$$

$$f(x) = (x+1)^{\frac{2}{3}} - x \quad \text{* إذا كان } x > -1 \text{ فإن :}$$

$$f'(x) = \frac{2}{3}(x+1)'(x+1)^{\frac{2}{3}-1} - 1 \quad \text{إذن}$$

$$= \frac{2}{3}(x+1)^{-\frac{1}{3}} - 1$$

$$f'(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{x+1}} - 1 \quad \text{إذن}$$

$$f(x) = (-x-1)^{\frac{2}{3}} - x \quad \text{* إذا كان } x < -1 \text{ فإن :}$$

$$f'(x) = \frac{2}{3}(-x-1)'(-x-1)^{\frac{-1}{3}} - 1 \quad \text{إذن :}$$

$$f'(x) = \frac{-2}{3\sqrt[3]{-x-1}} - 1$$

لندرس الاشتقاق في -1 :

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow -1} \frac{f(x) - f(-1)}{x+1} &= \lim_{x \rightarrow -1} \frac{\sqrt[3]{(x+1)^2} - x - 1}{x+1} \quad \text{لدينا} \\ &= \lim_{x \rightarrow -1} \frac{\sqrt[3]{(x+1)^2}}{x+1} - 1 \end{aligned}$$

$x+1$	$-$	0	$+$
-------	-----	-----	-----

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow -1^+} \frac{f(x) - f(-1)}{x+1} &= \lim_{x \rightarrow -1^+} \frac{\sqrt[3]{(x+1)^2}}{\sqrt[3]{(x+1)^3}} - 1 \quad \text{لدينا :} \\ &= \lim_{x \rightarrow -1^+} \sqrt[3]{\frac{(x+1)^2}{(x+1)^3}} - 1 \\ &= \lim_{x \rightarrow -1^+} \frac{1}{\sqrt[3]{x+1}} - 1 = -\infty \end{aligned}$$

إذن f غير قابلة للاشتقاق على يمين -1 . و \mathcal{E}_f يقبل نصف مما في موازي لمحور الأرتايب موجه نحو الأعلى على يمين النقطة $A(-1,1)$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow -1^-} \frac{f(x) - f(-1)}{x+1} &= \lim_{x \rightarrow -1^-} \frac{\sqrt[3]{(x+1)^2}}{x+1} - 1 \quad \text{- ولدينا :} \\ &= \lim_{x \rightarrow -1^-} \frac{\sqrt[3]{(x+1)^2}}{-\sqrt[3]{-(x+1)^3}} - 1 \\ &= \lim_{x \rightarrow -1^-} -\sqrt[3]{\frac{(x+1)^2}{-(x+1)^3}} - 1 \\ &= \lim_{x \rightarrow -1^-} \frac{-1}{\sqrt[3]{-(x+1)}} - 1 = -\infty \end{aligned}$$

إذن f غير قابلة للاشتقاق على يسار -1 و \mathcal{E}_f يقبل نصف مماس موازي لمحور الأرتايب موجه نحو الأعلى على يسار $A(-1,1)$.

تمرين 2 أدرس اشتقاق الدوال \arcsin و \arccos على يمين -1 و على يسار 1 .

تمرين 3

احسب النهايات التالية:

$$l = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{Arc cos}\left(\frac{1}{1+x^2}\right) - \frac{\pi}{3}}{x-1} \quad (1)$$

$$l = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{Arc cos}\left(\frac{1}{1+x^2}\right) - \text{Arc cos}\left(\frac{1}{2}\right)}{x-1}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{Arc cos}\left(\frac{1}{1+x^2}\right) - \text{Arc cos}\left(\frac{1}{2}\right)}{\frac{1}{1+x^2} - \frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{1+x^2} - \frac{1}{2}}$$

- لدينا

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{Arc cos}(\frac{1}{1+x^2}) - \text{Arc cos}(\frac{1}{2})}{\frac{1}{1+x^2} - \frac{1}{2}} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\text{Arc cos}(t) - \text{Arc cos}(\frac{1}{2})}{t - \frac{1}{2}} = (\text{Arc cost})'_{t=\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{-1}{\sqrt{1-t^2}} \right)_{t=\frac{1}{2}} = \frac{-2}{\sqrt{3}}$$

- ولدينا:

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\frac{1}{1+x^2} - \frac{1}{2}}{x-1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2 - (1+x^2)}{2(1+x^2)} \cdot \frac{1}{x-1}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{1-x^2}{2(1+x^2)(x-1)} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{-(1+x)}{2(1+x^2)} = \frac{-1}{2}$$

$$l = \frac{-2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{-1}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{إذن:}$$

$$l = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\text{Arc sin}(\frac{1}{x^4+x+1}) - \frac{\pi}{2}}{x} \quad (2)$$

$$l = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\text{arcsin}(\frac{1}{x^4+x+1}) - \text{Arc sin}(1)}{\frac{1}{x^4+x+1} - 1} \cdot \frac{1}{x^4+x+1} - 1$$

$$l_1 = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\text{Arc sin}(\frac{1}{x^4+x+1}) - \text{Arc sin} 1}{\frac{1}{x^4+x+1} - 1} \quad \text{ولدينا:}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 1^-} \frac{\text{Arc sin}(t) - \text{Arc sin} 1}{t-1} = \lim_{t \rightarrow 1^-} \frac{\text{Arc sin} t - \frac{\pi}{2}}{t-1}$$

$$X = \text{Arc sin} t - \frac{\pi}{2} \quad \text{نضع:}$$

$$-\pi \leq X \leq 0 \quad \text{يعني} \quad -\pi \leq \text{Arc sin} t - \frac{\pi}{2} \leq 0 \quad \text{يعني} \quad -\frac{\pi}{2} \leq \text{Arc sin} t \leq \frac{\pi}{2} \quad \text{لدينا (*)}$$

$$t \rightarrow 1^- \Leftrightarrow X \rightarrow 0^- \quad (*)$$

$$t = \sin(X + \frac{\pi}{2}) \quad \text{يعني} \quad \text{Arc sin} t = X + \frac{\pi}{2} \quad \text{يعني} \quad X = \text{Arc sin} t - \frac{\pi}{2} \quad \text{لدينا (*)}$$

$$t = \cos X \quad \text{يعني}$$

$$\lim_{t \rightarrow 1^-} \frac{\text{Arc sin} t - \frac{\pi}{2}}{t-1} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{X}{\cos X - 1} \quad \text{إذن}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{-X}{\frac{1 - \cos X}{X^2} \cdot X^2} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{-1}{\frac{1 - \cos X}{X^2} \cdot X} = +\infty$$

$$l_1 = +\infty \quad \text{إذن:}$$

$$l_2 = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\frac{1}{x^4+x+1} - 1}{x} \quad \text{- ولدينا:}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1 - (x^4 + x + 1)}{(x^4 + x + 1) \cdot x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{-x^4 - x}{x(x^4 + x + 1)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{-x^3 - 1}{x^4 + x + 1} = -1$$

إذن : $l_2 = -1$

ومنه : $\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = -\infty$

$$l = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\text{Arc sin}(x^2 - 1) + \frac{\pi}{2}}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) \quad (3)$$

طريقة 1 :

$$t = \text{Arc sin}(x^2 - 1) + \frac{\pi}{2} \quad \text{نضع -}$$

$$0 \leq \text{Arc sin}(x^2 - 1) + \frac{\pi}{2} \leq \pi \quad : \text{يعني} \quad -\frac{\pi}{2} \leq \text{Arc sin}(x^2 - 1) \leq \frac{\pi}{2} \quad : \text{لدينا} (*)$$

$$0 \leq t \leq \pi \quad : \text{يعني}$$

$$x \rightarrow 0 \Leftrightarrow t \rightarrow 0^+ \quad : \text{لدينا} (*)$$

$$\sin\left(t - \frac{\pi}{2}\right) = x^2 - 1 \quad : \text{يعني} \quad t - \frac{\pi}{2} = \text{Arc sin}(x^2 - 1) \quad : \text{لدينا} (*)$$

$$-\cos(t) = x^2 - 1 \quad : \text{يعني} \quad -\sin\left(\frac{\pi}{2} - t\right) = x^2 - 1 \quad : \text{يعني}$$

$$x^2 = 1 - \cos(t) \quad : \text{يعني}$$

$$\begin{cases} x = \sqrt{1 - \cos t} \\ x = -\sqrt{1 - \cos t} \end{cases} \quad : \text{يعني} \quad \text{أو}$$

$$x = \sqrt{1 - \cos t} \quad \text{فإن} \quad x \rightarrow 0^+ \quad \text{و إذا كان} \quad x = -\sqrt{1 - \cos t} \quad \text{فإن} \quad x \rightarrow 0^-$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{t}{\sqrt{1 - \cos t}} \quad : \text{إذن}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{t}{\sqrt{\frac{1 - \cos t}{t^2}} \cdot t^2} = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{1}{\sqrt{\frac{1 - \cos t}{t^2}}} = \sqrt{2}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{t}{\sqrt{1 - \cos t}}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{t}{\sqrt{\frac{1 - \cos t}{t^2}} \cdot t^2} = \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{-1}{\sqrt{\frac{1 - \cos t}{t^2}}} = -\sqrt{2}$$

طريقة 2 :

$$g(x) = \text{Arc sin}(x^2 - 1) + \frac{\pi}{2} \quad \text{نضع -}$$

$$Dg = [-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$$

: لنبسط $g(x)$

$$x^2 - 1 = 1 \Leftrightarrow x^2 = 2 \quad : \text{لدينا} -$$

$$\Leftrightarrow x = \sqrt{2} \quad \text{أو} \quad x = -\sqrt{2}$$

: ولدينا

$$x^2 - 1 = -1 \Leftrightarrow x^2 = 0 \Leftrightarrow x = 0$$

إذن g قابلة للاشتقاق على $]-\sqrt{2}, 0[\cup]0, \sqrt{2}[$

$$g'(x) = \frac{2x}{\sqrt{1-(x^2-1)^2}} = \frac{2x}{\sqrt{-x^4+2x^2}} \text{ و}$$

$$= \frac{2x}{\sqrt{2x^2(1-\frac{x^2}{2})}} = \frac{2x}{\sqrt{2}|x|\sqrt{1-(\frac{x}{\sqrt{2}})^2}} = 2 \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}x}{|x|\sqrt{1-(\frac{x}{\sqrt{2}})^2}}$$

+ إذا كان $x \in]0, \sqrt{2}[$ فإن :

$$g'(x) = 2 \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\sqrt{1-(\frac{x}{\sqrt{2}})^2}} = 2 \frac{(\frac{x}{\sqrt{2}})'}{\sqrt{1-(\frac{x}{\sqrt{2}})^2}}$$

$$= (2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}))'$$

$$g(x) = 2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}) + \lambda \quad \text{إذن :}$$

$$g(1) = 2.Arc \sin(\frac{1}{\sqrt{2}}) + \lambda \quad \text{و من أجل } x=1 \text{ لدينا :}$$

$$\frac{\pi}{2} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} + \lambda \quad \text{يعني :}$$

$$\lambda = 0 \quad \text{يعني :}$$

$$g(x) = 2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}) \quad \text{إذن :}$$

* إذا كان $x \in]-\sqrt{2}, 0[$ فإن :

$$g'(x) = -2 \cdot \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\sqrt{1-(\frac{x}{\sqrt{2}})^2}} = (-2.Arc \sin \frac{x}{\sqrt{2}})'$$

$$g(x) = -2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}) + \lambda' \quad \text{إذن}$$

و من أجل $x=-1$

$$g(-1) = -2.Arc \sin(\frac{-1}{\sqrt{2}}) + \lambda' \quad \text{لدينا :}$$

$$\frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} + \lambda' \quad \text{يعني :}$$

$$\lambda' = 0$$

$$g(x) = -2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}) \quad \text{إذن :}$$

$$g(x) = \begin{cases} 2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}); & x \in [0, \sqrt{2}[\\ -2.Arc \sin(\frac{x}{\sqrt{2}}); & x \in [-\sqrt{2}, 0[\end{cases} \quad \text{وبالتالي :}$$

$$l = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{g(x)}{x} \quad \text{إذن :}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{g(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{2 \operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{x} \quad \text{لدينا :}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{2 \operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{\frac{x}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{x}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^+} \sqrt{2} \cdot \frac{\operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{\frac{x}{\sqrt{2}}}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 0^+} \sqrt{2} \cdot \frac{\operatorname{Arc} \sin t}{t} = \lim_{t \rightarrow 0^+} \sqrt{2} \cdot \frac{\operatorname{Arc} \sin t - \operatorname{Arc} \sin 0}{t - 0}$$

$$= \sqrt{2} \cdot (\operatorname{Arc} \sin t)'_{t=0} = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-t^2}} \right)_{t=0} = \sqrt{2}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{g(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{-2 \operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{x} \quad \text{- و لدينا :}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{-2 \operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{\frac{x}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{x}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0^-} -\sqrt{2} \cdot \frac{\operatorname{Arc} \sin \frac{x}{\sqrt{2}}}{\frac{x}{\sqrt{2}}}$$

$$= \lim_{t \rightarrow 0^-} -\sqrt{2} \cdot \frac{\operatorname{Arc} \sin t}{t}$$

$$= -\sqrt{2} (\operatorname{Arc} \sin t)'_{t=0} = -\sqrt{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1-t^2}} \right) = -\sqrt{2}$$

$$\boxed{l = \lim_{+\infty} x \left(\operatorname{Arc} \tan \left(\frac{x+1}{x} \right) - \frac{\pi}{4} \right)} \quad (4)$$

$$l = \lim_{+\infty} x \left(\operatorname{Arc} \tan \left(\frac{x+1}{x} \right) - \operatorname{Arc} \tan 1 \right)$$

$$= \lim_{+\infty} x \left(\frac{\operatorname{Arc} \tan \left(\frac{x+1}{x} \right) - \operatorname{Arc} \tan 1}{\frac{1+x}{x} - 1} \right) \left(\frac{1+x}{x} - 1 \right)$$

$$= \lim_{t \rightarrow 1} \left(\frac{\operatorname{Arc} \tan(t) - \operatorname{Arc} \tan 1}{t-1} \right) = (\operatorname{Arc} \tan t)'_{t=1} = \lim_{+\infty} \left(\frac{\operatorname{Arc} \tan \left(\frac{x+1}{x} \right) - \operatorname{Arc} \tan 1}{\frac{1+x}{x} - 1} \right)$$

$$= \frac{1}{1+t^2} = \frac{1}{2}$$

$$\boxed{l = \lim_{-\infty} x \left(\operatorname{Arc} \tan \left(\frac{x^2+1}{x} \right) + \frac{\pi}{2} \right)} \quad (5)$$

لدينا : $\frac{x^2+1}{x} < 0$ بجوار $-\infty$

$$\text{Arc tan}\left(\frac{x^2+1}{x}\right) + \text{Arc tan}\left(\frac{1}{x^2+1}\right) = -\frac{\pi}{2} \quad \text{إذن}$$

$$\text{Arc tan}\left(\frac{x^2+1}{x}\right) + \frac{\pi}{2} = -\text{Arc tan}\left(\frac{x}{x^2+1}\right) \quad \text{يعني}$$

$$l = \lim_{x \rightarrow -\infty} x \left(\text{Arc tan}\left(\frac{x^2+1}{x}\right) + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{إذن :}$$

$$= \lim_{x \rightarrow -\infty} x \left(-\text{Arc tan}\left(\frac{x}{x^2+1}\right) \right)$$

$$= \lim_{x \rightarrow -\infty} -x \left(\text{Arc tan}\left(\frac{x}{x^2+1}\right) - \text{Arc tan} 0 \right)$$

$$= \lim_{x \rightarrow -\infty} -x \left(\frac{\text{Arc tan}\left(\frac{x}{x^2+1}\right) - \text{Arc tan} 0}{\frac{x}{x^2+1}} \right) \cdot \frac{x}{x^2+1}$$

$$= \lim_{x \rightarrow -\infty} \left(\underbrace{\frac{\text{Arc tan}\left(\frac{x}{x^2+1}\right) - \text{Arc tan} 0}{\frac{x}{x^2+1}}}_{l_1} \right) \cdot \underbrace{\frac{-x^2}{x^2+1}}_{l_2}$$

$$l_1 = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\text{Arc tan } t - \text{Arc tan } 0}{t - 0} \quad \text{و لدينا :}$$

$$= (\text{Arc tan } t)'_{t=0} = \frac{1}{1+t^2} = 1$$

$$l_2 = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{-x^2}{x^2+1} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{-x^2}{x^2} = -1$$

$$l = -1 \quad \text{إذن :}$$

ملاحظة :

$$l = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha}{x - x_0} \quad \text{من اجل حساب (*)}$$

- إذا كان $\lim_{x \rightarrow x_0} U(x) \neq \pm 1$ يعني : $\alpha \neq \pm 1$

$$l = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha}{U(x) - \alpha} \cdot \frac{U(x) - \alpha}{x - x_0} \quad \text{لدينا :}$$

- إذا كان $\lim_{x \rightarrow x_0} U(x) \neq \pm 1$ يعني : $\alpha \neq \pm 1$ نقوم بحساب $U'(x)$

$$l = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha}{U(x) - \alpha} \cdot \frac{U(x) - \alpha}{x - x_0} \quad \text{: } \lim_{x \rightarrow x_0} U'(x) \neq 0 \quad \text{إذا كان +}$$

$$t = \text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha \quad \text{نستعمل تغيير المتغير بوضع : } \lim_{x \rightarrow x_0} U'(x) = 0 \quad \text{إذا كان +}$$

إذا كان حساب x بدلالة t سهلاً.

. أو تبسيط الدالة $g(x) = \text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha$

(*) بنفس الطريقة نحسب :

$$\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc sin } U(x) - \text{Arc sin } \alpha}{x - x_0}$$

$$l = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc s tan } U(x) - \alpha}{x - x_0} \quad : \text{ حساب (*)}$$

- إذا كان $\lim_{x \rightarrow x_0} U(x) \neq \pm\infty$ يعني $\alpha \neq \pm \frac{\pi}{2}$

$$l = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc s tan } U(x) - \text{Arc tan } \beta}{x - x_0} \\ = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{\text{Arc tan } U(x) - \text{Arc tan } \beta}{U(x) - \beta} \cdot \frac{U(x) - \beta}{x - x_0}$$

- إذا كان $\lim_{x \rightarrow x_0} U(x) = \pm\infty$ يعني $\alpha \neq \pm \frac{\pi}{2}$ نستعمل الصيغة :

$$\text{Arc tan}\left(\frac{1}{U(x)}\right) + \text{Arc tan } U(x) = \begin{cases} -\frac{\pi}{2}, \lim U(x) = -\infty \\ \frac{\pi}{2}, \lim U(x) = +\infty \end{cases}$$

ونصبح في الحالة السابقة.

تمرين:

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} \frac{2x \text{Arc sin } x - \pi}{x - 1} \quad (*)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} \frac{2x \text{Arc sin } x - \pi}{x - 1} = \lim_{x \rightarrow 1^-} \frac{2x \text{Arc sin } x - \pi x + \pi x - \pi}{x - 1} \\ = \lim_{x \rightarrow 1^-} 2x \left(\frac{\text{Arc sin } x - \frac{\pi}{2}}{x - 1} \right) + \pi \frac{x - 1}{x - 1} \\ = \lim_{x \rightarrow 1^-} 2x \cdot \frac{\text{Arc sin } x - \frac{\pi}{2}}{x - 1} + \pi = +\infty$$

III- الدوال الأصلية :

(1) تعريف :

لتكن f دالة معرفة على المجال I .
نقول إن الدالة F دالة أصلية ل f على المجال I ، إذا و فقط كانت F قابلة للاشتقاق على I
و $(\forall x \in I) \quad F'(x) = f(x)$

مثال :

$$f(x) = x^3 + \frac{1}{x^2 + 1} + \sin x \quad : \text{ نعتبر الدالة}$$

$$F(x) = \frac{1}{4}x^4 + \text{Arc tan } x - \cos x \quad : \text{ الدالة}$$

وكل دالة على شكل $F(x) = \frac{1}{4}x^4 + \text{Arc tan } x - \cos x + \lambda$ هي كذلك دالة أصلية ل f على \mathbb{R} .

(2) خاصيات :

-1 لنكن f دالة تقبل دالة أصلية F على مجال I .

(*) نعتبر الدالة : $G = F + \lambda$ مع $\lambda \in \mathbb{R}$

$$G' = (F + \lambda)' \quad \text{لدينا:}$$

$$= F'(x) = f(x)$$

إذن دالة أصلية لـ f .
 (*) لتكن G دالة أصلية لـ f .
 لدينا : $(G - F)' = G' - F'$
 $= f - f = 0$
 إذن يوجد λ بحيث : $G(x) - F(x) = \lambda$
 يعني : $G(x) = F(x) + \lambda$

خاصية 1:

إذا كانت f دالة تقبل دالة أصلية F على مجال I فإن الدوال الأصلية لـ f هي الدوال التي تكتب على شكل $G = F + \lambda$ ($\lambda \in \mathbb{R}$)

مثال:

حدد الدوال الأصلية للدوال : $f(x) = \frac{x^2}{x^2+1}$
 لدينا : $f(x) = \frac{x^2+1-1}{x^2+1} = 1 - \frac{1}{x^2+1}$
 إذن الدوال الأصلية لـ f هي الدوال : $G(x) = x + \text{Arc tan } x + \lambda$
 -2- لتكن f دالة تقبل دالة أصلية F على I .
 ليكن $x_0 \in I$ و $y_0 \in \mathbb{R}$
 - لنبحث عن الدوال الأصلية G التي تحقق $G(x_0) = y_0$ لدينا : $G(x) = F(x) + \lambda$
 ولدينا : $G(x_0) = y_0$ يعني : $F(x_0) + \lambda = y_0$
 يعني : $\lambda = y_0 - F(x_0)$
 إذن $G(x) = F(x) + y_0 - F(x_0)$
 ومنه توجد دالة أصلية وحيدة تحقق $G(x_0) = y_0$

خاصية 2:

إذا كانت f دالة تقبل دالة أصلية على مجال I و $x_0 \in I$ و $y_0 \in \mathbb{R}$ ، فإنه توجد دالة أصلية وحيدة G تحقق $G(x_0) = y_0$.

مثال:

نعتبر الدالة : $f(x) = x\sqrt[3]{x+1}$
 حد الدالة الأصلية F لـ f على $]-1, +\infty[$ بحيث $F(0) = 1$
 لدينا : $f(x) = x\sqrt[3]{x+1} = x(x+1)^{\frac{1}{3}}$
 $= (x+1-1)(x+1)^{\frac{1}{3}}$
 $= (x+1)(x+1)^{\frac{1}{3}} - (x+1)^{\frac{1}{3}}$
 $= (x+1)^{\frac{4}{3}} - (x+1)^{\frac{1}{3}}$
 $= (x+1)'(x+1)^{\frac{4}{3}} - (x+1)'(x+1)^{\frac{1}{3}}$
 إذن $F(x) = \frac{1}{\frac{4}{3}+1}(x+1)^{\frac{4}{3}+1} - \frac{1}{\frac{1}{3}+1}(x+1)^{\frac{1}{3}+1} + 1 + \lambda$
 $= \frac{3}{7}(x+1)^{\frac{7}{3}} - \frac{3}{4}(x+1)^{\frac{4}{3}} + \lambda$

$$= \frac{3}{7} \sqrt[3]{(x+1)^7} - \frac{3}{4} \sqrt[3]{(x+1)^4} + \lambda$$

$$F(0) = 1 \quad \text{ولدينا :}$$

$$\frac{3}{7} - \frac{3}{4} + \lambda = 1 \quad \text{يعني :}$$

$$\lambda = \frac{4}{7} + \frac{3}{4} = \frac{37}{28} \quad \text{يعني :}$$

$$F(x) = \frac{3}{7} \sqrt[3]{(x+1)^7} - \frac{3}{4} \sqrt[3]{(x+1)^4} + \frac{37}{28} \quad \text{وبالتالي :}$$

خاصية 3 :

لتكن F و G دالتان أصليتان ل f و g على التوالي على I .
 * الدالة $F + G$ هي دالة أصلية ل $f + g$.
 * الدالة αF دالة أصلية ل αf .

خاصية 4 : (مقبولة)

إذا كانت f دالة متصلة على مجال I فإن الدالة f تقبل دالة أصلية.

3) جدول الدوال الأصلية الاعتيادية:

الدالة f	الدوال الأصلية F
$a \in \mathbb{R}$	$ax + \lambda$
$x^r \quad (r \in \mathbb{Q} - \{-1\})$	$\frac{1}{r+1} x^{r+1} + \lambda$
$ff^r \quad (r \in \mathbb{Q} - \{-1\})$	$\frac{1}{r+1} f^{r+1} + \lambda$
$\frac{1}{\sqrt{x}}$	$2\sqrt{x} + \lambda$
$\frac{U'(x)}{\sqrt{U(x)}}$	$2\sqrt{U(x)} + \lambda$
$\frac{1}{x^2}$	$-\frac{1}{x} + \lambda$
$\frac{f'}{f}$	$-\frac{1}{f} + \lambda$
$\frac{1}{1+x^2}$	$\text{Arc tan}(x) + \lambda$
$\frac{U'(x)}{1+U^2(x)}$	$\text{Arc tan}(U(x)) + \lambda$
$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$\text{Arc sin } x + \lambda$
$\frac{U'(x)}{\sqrt{1-U^2(x)}}$	$\text{Arc sin } U(x) + \lambda$
$\cos x$	$\sin x + \lambda$
$U'(x) \cos U(x)$	$\sin U(x) + \lambda$
$\sin x$	$-\cos x + \lambda$
$U'(x) \sin U(x)$	$-\cos U(x) + \lambda$

$1 + \tan^2 x$	$\tan x + \lambda$
$U'(x)(1 + \tan^2 U(x))$	$\tan U(x) + \lambda$
$f'g + fg'$	$fg + \lambda$
$\frac{f'g + fg'}{g^2}$	$\frac{f}{g} + \lambda$

مثال:

$$f(x) = \cos x - x \sin x \quad \text{حدد الدوال الأصلية لـ} \\ = (x)' \cos x + x(\cos x)'$$

$$F(x) = x \cos x + \lambda \quad (\lambda \in \mathbb{R}) \quad \text{إذن الدوال الأصلية لـ } f \text{ هي :}$$

IV - ميرهنة رول - ROLL - ميرهنة التزايدات المنتهية.

(1) ميرهنة رول:

$$\text{إذا كانت } f \text{ دالة تحقق ما يلي:} \\ \left\{ \begin{array}{l} (*) \text{ } f \text{ متصلة على } [a, b] \\ (*) \text{ } f \text{ قابلة للاشتقاق على }]a, b[\\ (*) \text{ } f(a) = f(b) \end{array} \right. \\ \text{فإنه يوجد } c \in]a, b[$$

برهان:

$$+ \text{ إذا كانت } f \text{ ثابتة على } [a, b] \text{ فإن } f'(x) = 0 \quad (\forall x \in]a, b[) \\ \text{إذن يوجد } c \text{ من }]a, b[\text{ بحيث } f'(c) = 0. \\ + \text{ إذا كانت } f \text{ غير ثابتة.}$$

$$\text{فإنه يوجد } x_0 \text{ من }]a, b[\text{ بحيث } f(x_0) \neq f(a) \text{ و } f(x_0) \neq f(b) \\ - \text{ إذا كان : } f(x_0) > f(a)$$

$$\text{لدينا } f \text{ متصلة على } [a, b] \text{ إذن } f \text{ تقبل قيمة قصوية } M \text{ عند } c \text{ من }]a, b[.$$

$$\text{و لدينا : } f(c) = M > f(x_0) > f(a) \text{ إذن } f(c) \neq f(a) \text{ و } f(c) \neq f(b) \\ \text{إذن } c \neq a \text{ و } c \neq b$$

$$\text{ومنه } c \in]a, b[$$

$$\text{لدينا } f \text{ قابلة للاشتقاق في } c \text{ و تقبل قيمة قصوية عند } c \text{ إذن } f'(c) = 0. \\ \text{ومنه يوجد } c \in]a, b[\text{ بحيث } f'(c) = 0.$$

$$- \text{ إذا كان } f(x_0) < f(a) \text{ نفس الطريقة باستعمال القيمة الدنيا.}$$

ملاحظة:

(*) العدد c ليس وحيدا.

(*) ميرهنة رول يعني هندسيا أنه توجد نقطة أفصولها c حيث يكون المماس موازيا لمحور الأفاصيل.

(2) ميرهنة التزايدات المنتهية:

ميرهنة:

$$\text{إذا كانت } f \text{ دالة تحقق ما يلي:} \\ \left\{ \begin{array}{l} (*) \text{ } f \text{ متصلة على } [a, b] \\ (*) \text{ } f \text{ قابلة للاشتقاق على }]a, b[\end{array} \right. \\ \text{فإنه يوجد } c \in]a, b[\text{ بحيث } \frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c) \\ \text{يعني : } f(b) - f(a) = (b - a)f'(c)$$

برهان :

$$\varphi(x) = f(x) - \frac{f(b) - f(a)}{b - a}(x - a) \quad \text{نعتبر الدالة :}$$

(* لدينا φ متصلة على $[a, b]$

$$(\forall x \in]a, b[) \quad \varphi'(x) = f'(x) - \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \quad \text{و }]a, b[\text{ قابلة للاشتقاق على}$$

(* لدينا $\varphi(b) = \varphi(a) = f(a)$

إذن حسب رول يوجد $c \in]a, b[$ بحيث : $\varphi'(c) = 0$

$$f'(c) - \frac{f(b) - f(a)}{b - a} = 0 \quad \text{يعني :}$$

$$f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \quad \text{يعني :}$$

ملاحظة :

(* العدد c ليس وحيدا.

(* نعتبر النقطتين $A(a, f(a))$ ، $B(b, f(b))$

لدينا $\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$ هو المعامل الموجه للمستقيم (AB) .

و لدينا $f'(c)$ هو المعامل الموجه للمماس في $M(c, f(c))$

إذن مبرهنة التزايدات المنتهية تعني هندسيا أنه توجد نقطة أفصولها c حيث يكون المماس موازيا (AB) .
- مبرهنة رول هي حالة خاصة لمبرهنة التزايدات المنتهية.

تمرين

بين ما يلي:

$$(\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2) \quad |\sin x - \sin y| \leq |x - y| \quad (*)$$

$$(\forall x \in \mathbb{R}^+) \quad \frac{x}{x^2 + 1} \leq \text{Arc tan } x \leq x \quad (*)$$

$$(\forall x \in [0, 1[) \quad x \leq \arcsin x \leq \frac{x}{\sqrt{1 - x^2}} \quad (*)$$

(* ليكن X و y من \mathbb{R} . لنبين أن $|\sin x - \sin y| \leq |x - y|$

نعتبر الدالة $f(t) = \sin t$

- لدينا f متصلة على المجال الذي محاذاته X و y .

- قابلة للاشتقاق على هذا المجال مفتوح.

وحسب مبرهنة المتزايدات المنتهية يوجد c محصور بين X و y بحيث : $f(x) - f(y) = (x - y)f'(c)$

$$\sin x - \sin y = (x - y) \cos c \quad \text{يعني :}$$

$$|\sin x - \sin y| = (x - y) |\cos c| \quad \text{يعني :}$$

$$|x - y| |\cos c| \leq |x - y| \quad \text{و لدينا :} \quad |\cos c| \leq 1 \quad \text{إذن :}$$

$$|\sin x - \sin y| \leq |x - y| \quad \text{يعني :}$$

$$\frac{1}{1 + x^2} \leq \text{Arc tan } x \leq x \quad \text{ليكن } x \in \mathbb{R}^+ \text{ لنبين أن } (*)$$

نعتبر الدالة $f(t) = \text{Arc tan } t$

- لدينا f متصلة على $[0, x]$.

- f قابلة للاشتقاق على $]0, x[$ و $f'(t) = \frac{1}{1 + t^2}$

إذن حسب مبرهنة التزايدات المنتهية يوجد $c \in]0, x[$ بحيث $f(x) - f(0) = (x - 0)f'(c)$

$$\begin{aligned} \text{يعني : } & \text{Arc tan } x = x \cdot \frac{1}{1+c^2} \\ & 0 < c < x \quad \text{و لدينا :} \\ & 0 < c^2 < x^2 \quad \text{يعني :} \\ & 1 < 1+c^2 < 1+x^2 \quad \text{يعني :} \\ & \frac{1}{1+x^2} < \frac{1}{1+c^2} < 1 \quad \text{يعني :} \\ & \frac{x}{1+x^2} \leq \frac{x}{1+c^2} \leq x \quad \text{إذن :} \\ & \frac{x}{1+x^2} \leq \text{Arctan } x \leq x \quad \text{يعني :} \\ & (\forall x \in \mathbb{R}^*) \quad \frac{x}{1+x^2} \leq \text{Arctan } x \leq x \quad \text{إذن :} \end{aligned}$$

3) تطبيقات :

خاصية 1:

إذا كانت f دالة قابلة للاشتقاق على مجال I و $f'(x) = 0$ ($\forall x \in I$) فإن f ثابتة على I .

برهان :

ليكن x_1 و x من I بحيث $x_2 \neq x_1$
نفترض مثلاً $x_1 < x_2$
- لدينا f متصلة على $[x_1, x_2]$ (لأن $[x_1, x_2] \subset I$)
- لدينا f قابلة للاشتقاق على $]x_1, x_2[$ ($]x_1, x_2[\subset I$)
إذن حسب TAF يوجد $c \in]x_1, x_2[$ بحيث $f(x_1) - f(x_2) = (x_1 - x_2)f'(c)$
و لدينا $f'(c) = 0$ إذن $f(x_1) - f(x_2) = 0$
يعني $f(x_1) = f(x_2)$
ومنه f ثابتة على I .

ملاحظة :

(1) هذه الخاصة غير صحيحة إذا كان I ليس مجالاً.
(2) إذا كانت f, g دالتين قابلتين للاشتقاق على مجال بحيث $f'(x) = g'(x)$ ($\forall x \in I$).
فإنه يوجد $\lambda \in \mathbb{R}$ بحيث : $f(x) = g(x) + \lambda$ ($\forall x \in I$)

تمرين تطبيقي:

$$\text{بين أن : } \frac{\pi}{2} - 2 \text{Arc tan } \sqrt{\frac{1-x}{1+x}} = \text{Arc sin } x \quad (\forall x \in]-1, 1[)$$

$$\text{- نضع } f(x) = \text{Arc sin } x - \frac{\pi}{2} + 2 \text{Arc tan } \sqrt{\frac{1-x}{1+x}}$$

$$f(x) = 0 \quad \text{لنبين أن}$$

لدينا : f قابلة للاشتقاق على $] -1, 1[$.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + 2 \frac{(\sqrt{\frac{1-x}{1+x}})'}{1 + \frac{1-x}{1+x}} \quad \text{و}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + 2 \frac{\left(\frac{1-x}{1+x}\right)' \left(\frac{1}{2\sqrt{\frac{1-x}{1+x}}}\right)}{\frac{2}{1+x}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{-2}{(1+x)^2 \left(2\sqrt{\frac{1-x}{1+x}}\right)} (1+x) \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} - \frac{1}{(1+x)\sqrt{\frac{1-x}{1+x}}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} - \frac{1}{\sqrt{(1+x)^2 \frac{(1-x)}{1+x}}} \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} - \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} = 0 \\
&(\forall x \in]-1, 1[) \quad f'(x) = 0
\end{aligned}$$

إذن : $f'(x) = 0$

يعني f ثابتة.

$$f(0) = 0 - \frac{\pi}{2} + 2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0 \quad \text{ولدينا :}$$

$$(\forall x \in]-1, 1[) \quad f(x) = 0 \quad \text{إذن}$$

$$(\forall x \in]-1, 1[) \quad \frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{Arc} \tan \sqrt{\frac{1-x}{1+x}} = \operatorname{Arc} \sin x \quad \text{يعني :}$$

خاصية 2:

إذا كانت f, g دالتان تحققان مايلي:

$$(\forall x \in]a, +\infty[) \quad f(x) \geq g(x) \quad \text{فإن :} \begin{cases} * & g, f \text{ متصلتان على }]a, +\infty[\\ * & g, f \text{ قابلتان للاشتقاق على }]a, +\infty[\text{ و} \\ & (\forall x \in]a, +\infty[) \quad f'(x) \geq g'(x) \\ * & f(a) = g(a) \end{cases}$$