

# Feuille d'exercices « Dérivées Partielles »

## Exercice 1 : Fonctions exponentielles

On considère la fonction  $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  définie par  $(x, y) \mapsto \frac{x^2+y^2}{x}$  pour  $(x, y) \neq (0, 0)$  et  $f(0, 0) = 1$ .

- Pour  $y_0$  fixé, calculer la limite de  $x \mapsto f(x, y_0)$  en 0.
- Pour  $x_0$  fixé, calculer la limite de  $y \mapsto f(x_0, y)$  en 0.
- Calculer les dérivées partielles de  $f$  en tout point de  $\mathbb{R}^2 \setminus (0, 0)$ .

## Exercice 2 : Composées

Soit  $f : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$  une fonction de classe  $\mathcal{C}^1$  (c'est à dire dont toutes les dérivées partielles existent et sont continues). On considère la fonction  $g : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$  définie par

$$g(x, y, z) = f(x - y, y - z, z - x)$$

Montrer que

$$\frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial g}{\partial z} = 0$$

## Exercice 3 : Dérivée d'ordre 2

Calculer les dérivées partielles aux ordres 1 et 2 de la fonction  $f$  définie sur  $\mathbb{R}^2 \setminus \{(0, 0)\}$  par

$$f(x, y) = \frac{x^3 y^3}{x^2 + y^2}$$

## Exercice 4 : Dérivée d'ordre 2

Soit  $f$  une fonction de classe  $\mathcal{C}^2$  (c'est à dire dont les dérivées secondes existent et sont continues) telle que pour tout  $(x, y) \in \mathbb{R}^2$ , on a  $f(x, y) = -f(y, x)$ .

- Donner un exemple de telle fonction
- Montrer que la fonction  $f$  vérifie  $\frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}(a, a) = 0$  pour tout  $a \in \mathbb{R}$ .

## Exercice 5 : Contrainte

On considère une casserole de rayon  $R$  et de hauteur  $h$ . On note  $V$  le volume de la casserole et  $S$  sa surface.

- Exprimer  $V$  et  $S$  en fonction de  $R$  et  $h$ .
- Calculer les différentielles totales  $dV$  et  $dS$ .
- On suppose que le volume est fixe ( $V = V_0$ ). Trouver une relation entre  $dh$  et  $dR$ .
- En déduire une expression simple de  $dS$  en fonction de  $dh$  ou  $dR$  (un seul des deux, celui qui vous semble le plus simple)
- En déduire les couples  $(h, R)$  qui annulent  $dS$ .

Les différentes étapes de l'exercice précédent permettent de minimiser la surface à volume constant sans jamais donner la forme explicite de  $S$  en fonction de  $R$ . C'est une approche différente de celle vue au S1 pour le même exercice, qui consistait à substituer  $h$  à  $R$  dans l'expression de  $R$ . Ici on substitue les différentielles.

## Problème 6 : Dynamique de Lotka-Volterra et Hamiltonien.

On considère 2 populations de proies et de prédateurs (par exemple des lynx et des chasseurs) qui évoluent conjointement. On note  $x(t)$  la taille de population de proies au temps  $t$  et  $y(t)$  la taille de la

population de prédateurs. On suppose de plus que  $x(t)$  et  $y(t)$  sont liées par les relations

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t}(t) &= x(t) \times (\alpha - \beta y(t)) \\ \frac{\partial y}{\partial t}(t) &= y(t) \times (\delta x(t) - \gamma) \end{cases}$$

avec  $\alpha, \beta, \delta, \gamma > 0$ .<sup>1</sup>

On admet que si  $x(0) > 0$  et  $y(0) > 0$ , alors  $x(t) > 0$  et  $y(t) > 0$  pour tout  $t > 0$ .

On considère le *Hamiltonien* du système proie-prédateur défini par

$$H(t) = F(x(t), y(t))$$

avec  $F(x, y) = \beta y + \delta x - \alpha \ln y - \gamma \ln x$ .

Montrer que la fonction  $t \mapsto H(t)$  est constante.

**Problème 7 :** Pendule simple et Hamiltonien.

On considère un pendule simple formé d'une masse ponctuelle  $m$  suspendue à un fil de longueur  $l$ .

On note  $\theta(t)$  l'angle formé par le pendule avec la verticale au temps  $t$ .

En faisant un bilan des forces, trouver une relation entre  $\frac{d^2\theta}{dt^2}(t)$  et  $\theta(t)$ .

On considère le *Hamiltonien* défini par

$$H(t) = F(p(t), \theta(t))$$

avec  $F(p, \theta) = \frac{p^2}{2ml^2} + mgl(1 - \cos(\theta))$  et  $p(t) = \frac{d\theta}{dt}(t)$ .

Montrer que la fonction  $t \mapsto H(t)$  est constante.<sup>2</sup>

**Problème 8 :** Ressort et Hamiltonien

On considère une masse ponctuelle  $m$  fixée au bout d'un ressort de constante de raideur  $k$ . On note  $x(t)$  l'allongement au temps  $t$  du ressort par rapport à sa longueur d'équilibre.

En faisant un bilan des forces, trouver une relation entre  $\frac{d^2x}{dt^2}(t)$  et  $x(t)$ .

On considère le *Hamiltonien* défini par

$$H(t) = F(p(t), x(t))$$

avec  $F(p, x) = \frac{p^2}{2m} + \frac{kx^2}{2}$  et  $p(t) = \frac{dx}{dt}(t)$ .

Montrer que la fonction  $t \mapsto H(t)$  est constante.<sup>3</sup>

**Problème 9 :** Problème à deux corps

On considère deux corps de masse  $m_1$  et  $m_2$  (par exemple deux étoiles) qui s'attirent (par force gravitationnelle). On considère le repère centré sur le corps 1. Le mouvement des deux astres reste dans un plan et on note  $(x(t), y(t))$  les coordonnées du corps 2 au temps  $t$  dans ce repère.

En faisant un bilan des forces, exprimer  $\frac{d^2x}{dt^2}(t)$  en fonction de  $x(t)$  et  $y(t)$ . Pour simplifier les calculs, on suppose que  $Gm_1m_2 = 1$ .

On considère le *Hamiltonien* défini par

$$H(t) = F(p(t), q(t), x(t), y(t))$$

avec  $F(p, q, x, y) = \frac{1}{2}(p^2 + q^2) - \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}$  et  $p(t) = \frac{dx}{dt}(t)$  et  $q(t) = \frac{dy}{dt}(t)$ .

Montrer que la fonction  $t \mapsto H(t)$  est constante.

1. On parle alors d'un système d'équations différentielles. On reviendra dessus en fin de S2 et vous en verrez beaucoup en L2.

2. On pourra reconnaître dans le premier terme l'énergie cinétique du pendule, dans le deuxième l'énergie potentielle de gravité et voir dans ce résultat une reformulation du principe de conservation de l'énergie totale.

3. On pourra reconnaître dans le premier terme l'énergie cinétique du pendule, dans le deuxième l'énergie potentielle du ressort et voir dans ce résultat une reformulation du principe de conservation de l'énergie totale pour un ressort.