

# Colles de Mathématiques en E2A

## Fonctions de deux variables

### Semaine 18 : 26 - 30 janvier

Toutes les définitions et tous les énoncés de théorèmes/propositions du cours sont exigibles des élèves. Les démonstrations des théorèmes du cours ne sont pas exigibles, sauf si elles apparaissent en question de cours.

On pourra à tout moment demander à un·e élève de donner la nature (réel, suite, fonction, ensemble, proposition, etc) d'une expression manipulée dans un exercice, pour vérifier sa bonne compréhension. On pourra aussi demander de préciser quelles sont les variables libres et quelles sont les variables liées (muettes).

On portera une attention toute particulière à ce que les objets soient correctement introduits avant d'être utilisés, et ne soient pas introduits pour rien.

## 1 Chapitre XV : Fonctions de deux variables

L'objet de ce chapitre est de fournir des outils pour trouver les extrema locaux d'une fonction de deux variables. Les résultats doivent être pensés comme des généralisations de ceux connus pour les fonctions d'une variable. La grosse différence entre les fonctions d'une variable et les fonctions de deux variables, c'est qu'on ne peut plus utiliser les concepts de croissance ou de décroissance pour les fonctions de deux variables. Adieu donc les tableaux de variations pour ces fonctions, qui nous permettaient de visualiser (et trouver) facilement les extrema.

### 1.1 Définitions

- Vocabulaire de topologie : distance euclidienne, boule ouverte, boule fermée, partie bornée, partie fermée, partie ouverte. Aucune preuve n'est exigible. L'énoncé doit donner la nature d'une partie de  $\mathbb{R}^2$ . Ce vocabulaire est uniquement introduit pour pouvoir formuler correctement les théorèmes du cours, mais aucune question ne doit porter dessus excepté une éventuelle représentation graphique d'un ouvert  $U$  très simple (cf exemples du cours).
- Graphe et lignes de niveaux d'une fonction de deux variables.
- Fonction de deux variables continue / de classe  $\mathcal{C}^1$  / de classe  $\mathcal{C}^2$  sur une partie  $D$  de  $\mathbb{R}^2$ .
- Dérivées partielles d'ordre 1 :  $\partial_1(f)$  et  $\partial_2(f)$ . Gradient de  $f$ . Notion de point critique. DL à l'ordre 1.
- Dérivée partielle d'ordre 2 :  $\partial_{11}^2(f)$ ,  $\partial_{21}^2(f)$ ,  $\partial_{12}^2(f)$ ,  $\partial_{22}^2(f)$ . Matrice hessienne de  $f$ . Notion de point col / point selle.
- Maximum local/global, minimum local/global, extremum local/global.

### 1.2 Résultats

- Les fonctions polynomiales sont de classe  $\mathcal{C}^2$  sur  $\mathbb{R}^2$ .
- Stabilité de la classe  $\mathcal{C}^0$  (applications continues),  $\mathcal{C}^1$  ou  $\mathcal{C}^2$  par opérations algébriques et par composition.
- Formule de Taylor-Young à l'ordre 1.

- Condition nécessaire d'extremum local en un point  $(x_0, y_0)$  d'un ouvert.  
 Analogie en 1D : si  $f$  est dérivable sur un intervalle  $I$  ouvert et si  $f$  admet un extremum local en  $x_0 \in I$ , alors  $f'(x_0) = 0$ .
- Théorème de Schwarz. Conséquence : la hessienne est une matrice symétrique donc diagonalisable.
- Condition suffisante d'extremum local en un point critique.  
 Analogie en 1D : si  $f$  est  $C^2$  sur un intervalle  $I$  ouvert, si  $x_0 \in I$  est un point critique de  $f$  (*i.e.*  $f'(x_0) = 0$ ) et si  $f''(x_0) > 0$  (resp.  $f''(x_0) < 0$ ), alors  $x_0$  est un minimum (resp. maximum) local de  $f$ .
- Condition suffisante d'extremum global : si  $f$  est continue sur une partie  $D$  fermée et bornée du plan  $\mathbb{R}^2$ , alors  $f$  est bornée sur  $D$  et atteint ses bornes sur  $D$ .  
 Analogie en 1D : si  $f$  est continue sur un segment  $[a, b]$ , alors  $f$  est bornée sur  $[a, b]$  et atteint ses bornes sur  $[a, b]$ .

### 1.3 Méthodes

- Il faut savoir déterminer les points critiques de  $f$  en raisonnant par équivalence.
- Si  $(a, b)$  est un point critique, il faut être capable de déterminer le signe des valeurs propres de la hessienne au point  $(a, b)$  (deux cas possibles : soit par calcul explicite, soit par calcul de la somme et du produit). Si une des valeurs propres est nulle, on se laisse guider par l'énoncé et on regarde un équivalent au voisinage du point critique de  $f(x, y) - f(a, b)$  pour trouver une éventuelle alternance de signe.
- Pour montrer que  $f$  n'admet pas de maximum global ou de minimum global, on peut calculer certaines limites en l'infini.
- Il faut savoir reconnaître une aide de l'énoncé pour montrer qu'un extremum local est en fait global.
- Il faut être capable de conjecturer l'existence d'un extremum local à l'aide d'une représentation graphique (graphe ou lignes de niveaux).

## 2 Questions de cours

1. Soit  $f : (x, y) \mapsto xy - e^x \ln(y)$  définie sur  $U = \mathbb{R} \times ]0, +\infty[$ . Démontrer avec précision que la fonction  $f$  est de classe  $\mathcal{C}^2$  sur  $U$ .
2. Soit  $f : (x, y) \mapsto \frac{x}{y^2} + y^2 + \frac{1}{x}$  définie sur  $U = \mathbb{R}_+^* \times \mathbb{R}_+^*$ . On admet que  $f$  est de classe  $\mathcal{C}^1$  sur  $U$ . Montrer que  $f$  admet exactement un point critique et qu'il s'agit du point  $(1, 1)$ .
3. Déterminer puis étudier les points critiques de  $f : (x, y) \mapsto xy$ .
4. Soit  $f : (x, y) \mapsto x^3 + y^3 - 3xy$ . On admet que  $f$  admet exactement deux points critiques : les points  $(0, 0)$  et  $(1, 1)$ . Vérifier que  $f$  ne présente un extremum local qu'en un de ses points critiques et préciser sa nature et sa valeur.