

Colles de Mathématiques en E2A

Études et comparaisons de fonctions, suites, espaces vectoriels

Semaine 4 : 23-27 septembre

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 I : Etude et comparaisons de fonctions

1.1 Définitions

- f est négligeable devant g en x_0 . Notation $f(x) = o_{x \rightarrow x_0}(g(x))$.
- f est équivalente à g en x_0 . Notation $f(x) \sim_{x \rightarrow x_0} g(x)$.
- f est continue en x_0 .
- Taux d'accroissement en x_0 . f est dérivable en x_0 .
- Tangentes à la courbe représentative.
- Asymptotes verticales et horizontales.

1.2 Résultats

- Théorème des croissances comparées.
- Propriétés de la relation d'équivalence. En particulier : compatibilité avec le produit, le quotient et l'élevation à une puissance fixe.
- Equation de la tangente (ou des demi-tangentes) en un point. Inégalités de convexité classiques.
- Equivalents usuels en 0.

1.3 Méthodes

1. Il faut savoir déterminer un équivalent d'une somme de fonctions en trouvant le terme dominant.
2. On démontre TOUJOURS la continuité d'une fonction définie par morceaux sur des intervalles OUVERTS puis aux points restants (aux bords des intervalles ouverts considérés). La continuité en un point se fait par un calcul de limites (éventuellement en séparant les cas à gauche et à droite).
3. De même, on démontre TOUJOURS la dérivabilité d'une fonction définie par morceaux sur des intervalles OUVERTS puis aux points restants (aux bords des intervalles ouverts considérés). La dérivabilité en un point se fait par un calcul de limite du taux d'accroissement (éventuellement en séparant les cas à gauche et à droite).

4. Il faut savoir démontrer qu'une composée de deux fonctions est continue/dérivable/de classe \mathcal{C}^1 /de classe \mathcal{C}^2 .
5. Si la question est précisément de démontrer la régularité d'une fonction, il faut décomposer cette fonction en fonctions usuelles via les opérations élémentaires et expliquer pourquoi chacune d'elles est régulière. Si ce n'est pas le coeur de la question, on peut se contenter de l'affirmer rapidement.
6. Il faut être capable d'utiliser le théorème des croissances comparées ainsi que les équivalents usuels pour trouver un équivalent simple d'une fonction.
7. Il faut savoir tracer la courbe représentative d'une fonction dès lors que l'on dispose de son tableau de variations.

2 Chapitre II : suites

2.1 Définitions

- Suite (de nombre réels), suite (strictement) croissante/décroissante/monotone, suite stationnaire, suite majorée/minorée/bornée, maximum/minimum atteint en un rang n_0 , suite extraite.
- Suites usuelles : arithmétiques, géométriques, arithmético-géométriques, récurrentes linéaires d'ordre 2.
- Suite convergente/divergente, limite d'une suite, nature d'une suite.
- Suites adjacentes.
- Intervalle stable par une fonction (hors-programme, mais essentiel à la bonne compréhension de la logique des exercices sur les suites récurrentes), point fixe d'une fonction.
- Suite négligeable devant une autre, suite équivalente à une autre.

2.2 Résultats

- Formule explicite du terme général d'une suite usuelle.
- Opérations sur les limites, compatibilité de la limite avec la relation d'ordre sur \mathbb{R} (passage à la limite dans les inégalités).
- Pour démontrer des limites : théorème de comparaison, théorème d'encadrement, théorème de convergence monotone, théorème de convergence des suites adjacentes.
- Théorème de composition des limites. Pour les suites de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$, savoir démontrer que la limite ℓ de la suite (u_n) vérifie $\ell = f(\ell)$.
- Inégalité des accroissements finis.
- Théorème des croissances comparées.
- Opérations sur les équivalents, équivalents usuels (avec exp et ln).

2.3 Méthodes

- Trouver le sens de variations d'une suite donnée explicitement.
- Trouver l'expression explicite du terme général d'une suite usuelle.
- Trouver un équivalent simple d'une suite donnée explicitement. Bien distinguer la méthode pour trouver l'équivalent d'une somme et la méthode pour trouver l'équivalent d'un produit/quotient.
- Faire l'étude d'une suite définie par récurrence, de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$, dans des cas peu techniques. Exercice à étapes, comme à l'écrit.
- Faire l'étude d'une suite définie de manière implicite, dans des cas peu techniques. Exercice à étapes, comme à l'écrit.
- Déterminer la limite d'une suite (catalogue de méthodes, en particulier : croissances comparées et calcul d'équivalent).

3 Chapitre III : espaces vectoriels

Les espaces vectoriels de dimension infinie sont hors-programme.

On travaillera dans \mathbb{R}^n , $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R})$, $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ ou encore $\mathbb{R}_n[X]$ avec un n petit (typiquement $n = 2$ ou $n = 3$).

3.1 Définitions

- Espace vectoriel, vecteurs, scalaires, combinaison linéaire.
- Sous-espace vectoriel, espace vectoriel engendré par une famille de vecteurs (Notation $\text{Vect}(\dots)$).
- Famille génératrice d'un espace vectoriel. Relation de dépendance linéaire non triviale entre des vecteurs, famille libre, famille liée, vecteurs linéairement indépendants, vecteurs colinéaires. Base d'un espace vectoriel, coordonnées d'un vecteur dans une base. Bases canoniques des espaces vectoriels usuels.
- Cardinal d'une famille finie.
- Espace vectoriel de dimension finie, dimension d'un espace vectoriel.

3.2 Résultats

- Règles de calcul dans les espaces vectoriels usuels.
- Caractérisation des sous-espaces vectoriels par stabilité par combinaison linéaire.
- L'espace vectoriel engendré par une famille de vecteurs est... un espace vectoriel.
- Propriétés de l'espace vectoriel engendré par une famille de vecteurs (qui permettent de simplifier la famille génératrice). Ces propriétés se transmettent au rang d'une famille de vecteurs et au rang d'une matrice.
- Intérêt des familles libres, des familles génératrices, des bases. Existence et unicité d'une décomposition d'un vecteur sous forme de combinaison linéaire des vecteurs d'une base.
- Inégalités sur le cardinal d'une famille libre, d'une famille génératrice, d'une base (de E).

3.3 Méthodes

- Montrer qu'une partie B d'un espace vectoriel E n'est pas un sous-espace vectoriel de E :
 - en montrant que B ne contient pas le vecteur nul
 - en exhibant u et v deux vecteurs de B tels que $u + v$ n'est pas un vecteur de B
 - en exhibant u un vecteur de B et λ un scalaire tels que λu n'est pas un vecteur de B
- Montrer qu'une partie F d'un espace vectoriel E est un sous-espace vectoriel de E en exhibant une famille de vecteurs (u_1, \dots, u_p) telle que

$$F = \text{Vect}(u_1, \dots, u_p)$$

- Si la méthode précédente ne semble pas praticable, on revient à la caractérisation des sous-espaces vectoriels (via la stabilité par combinaison linéaire).
- Pour montrer qu'un ensemble F est un espace vectoriel, on montre que c'est un sous-espace vectoriel d'un espace vectoriel E usuel.
- Pour montrer qu'une famille est libre, on se ramène à résoudre un système linéaire d'équations à l'aide du pivot de Gauss, et on montre que la seule solution est la solution nulle.
- Pour montrer qu'une famille \mathcal{F} est génératrice de E , on montre que

$$\text{Vect}(\mathcal{F}) = E$$

- Pour trouver les coordonnées d'un vecteur u dans une base (e_1, e_2, \dots, e_p) de E , on résout l'équation

$$u = \lambda_1 e_1 + \lambda_2 e_2 + \dots + \lambda_p e_p$$

d'inconnues $(\lambda_1, \dots, \lambda_p)$. Cette équation est équivalente à un système linéaire non homogène, on appliquera donc le pivot de Gauss.

- Pour trouver la dimension de E , on trouve une base de E et on compte le nombre de vecteurs constituant cette base.
- Pour montrer qu'une famille finie \mathcal{F} est une base d'un espace vectoriel usuel E de dimension finie, on peut (au choix, selon ce qui semble être le plus rapide) :
 1. Démontrer que \mathcal{F} est une famille libre et $\text{Card}(\mathcal{F}) = \dim(E)$.
 2. Démontrer que \mathcal{F} est une famille génératrice de E et $\text{Card}(\mathcal{F}) = \dim(E)$.
 On préférera néanmoins la première méthode en général.

4 Questions de cours

1. Soit f la fonction définie par $f(x) = \begin{cases} x^2 \ln(x) & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \end{cases}$.

Écrire une fonction **Python** qui prend en argument un réel x positif et renvoie le réel $f(x)$, puis, écrire un script **Python** (utilisant la fonction précédente) permettant de tracer le graphe de la fonction f sur le segment $[0, 3]$. On pourra utiliser la commande `np.linspace` ou `np.arange`.

2. Limite en $+\infty$ de $\ln\left(\frac{e^x + x^2}{e^x - 1}\right)$?
3. Calculer le terme général de la suite (u_n) définie par :

$$\begin{cases} u_0 = 1 \\ \forall n \in \mathbb{N}, u_{n+1} = 4u_n - 6 \end{cases}$$

4. Calculer le terme général de la suite (u_n) définie par :

$$\begin{cases} u_0 = 2 \\ u_1 = -1 \\ \forall n \in \mathbb{N}, u_{n+2} = 4u_n \end{cases}$$

5. Soit $f : t \mapsto \frac{t}{1+t^2}$. On considère la suite $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ définie par : $\begin{cases} u_0 = 0 \\ \forall n \in \mathbb{N}, u_{n+1} = f(u_n) \end{cases}$.

Compléter la fonction **Python** suivante pour qu'elle

- prenne en argument un entier n
- renvoie u_n

```

1 import numpy as np
2 def suite(n):
3     u = _____
4     for k in _____ :
5         u = _____
6     return u
```

6. Soit $f : t \mapsto \frac{t}{1+t^2}$. On considère la suite $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ définie par : $\begin{cases} u_0 = 1 \\ \forall n \in \mathbb{N}, u_{n+1} = f(u_n) \end{cases}$.

Écrire une fonction **Python** qui prend en argument un entier n et qui renvoie une liste contenant les n premiers termes de la suite.

7. On considère les vecteurs $u = (1, 1, 1)$, $v = (1, -1, 0)$ et $w = (-1, 1, -1)$. Montrer que $\mathcal{B} = (u, v, w)$ est une base de \mathbb{R}^3 .

8. Soit $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 \\ 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}$. On rappelle que $E_0(A) = \{X \in \mathcal{M}_{3,1}(\mathbb{R}) \mid AX = 0_{\mathcal{M}_{3,1}(\mathbb{R})}\}$.

Montrer que $E_0(A)$ est un sous-espace vectoriel de $\mathcal{M}_{3,1}(\mathbb{R})$ puis en donner une base et sa dimension.