Équations différentielles linéaires

par David Blottière, le 16 mars 2024 à 12h06

Colle S23

18/3–24/3

Sommaire

§ 1. Déroulement de la colle

Étudiants de MPI + Robin G. – Aurélien M.

La colle comporte trois phases.

1. Rédaction d'une question de cours (8 points, 12 minutes maximum) : la colle débute par une des questions de cours listées dessous.
2. Résolution d'un des exercices listés dans la partie :

   « méthodes et savoir-faire »

   ou d'une de ses variantes (6 points, 12 minutes maximum).
3. Résolution d'exercices proposés par l'examinateur (6 points) : la colle se poursuit avec des exercices que vous ne connaissez pas à l'avance et que vous résoudrez au tableau, sans temps de préparation sur feuille.

Étudiants de MPI* – Robin G. + Aurélien M.

La colle comporte deux phases.

1. Rédaction d'une question de cours (8 points, 12 minutes maximum) : la colle débute par une des questions de cours listées dessous.
2. Résolution d'exercices proposés par l'examinateur (12 points) : la colle se poursuit avec des exercices que vous ne connaissez pas à l'avance et que vous résoudrez au tableau, sans temps de préparation sur feuille.

☞ Les étudiants de MPI* sauront impérativement résoudre les exercices de la partie « méthodes et savoir-faire » et leurs variantes.

§ 2. Éléments de valorisation de la colle

Votre note, délivrée à la fin de votre colle par votre interrogatrice/teur, prendra en compte les critères suivants.

1. Maîtrise du cours
2. Initiatives pertinentes
3. Qualité de l'argumentation (ni trop elliptique, ni trop ampoulée)
4. Présentation du tableau
5. Compréhension profonde des concepts
6. Soin porté à l'expression orale
7. Technique calculatoire : rigueur, méthode, rapidité
8. Structures des raisonnements
9. Rigueur de l'expression écrite
10. Émergence d'une modélisation (cas échéant)
11. Capacité à rebondir sur une indication (sagacité)
12. Souci d'explication de la démarche
13. Dynamisme (à ne pas confondre avec empressement)
14. Écoute des conseils/consignes

§ 3. Programme

Chapitre 16 — Fonctions à valeurs vectorielles [PDF]

1. Dérivabilité en un point
2. Opérations sur les fonctions dérivables
3. Fonctions de classe $\mathscr{C}^k$
4. Fonctions continues par morceaux sur un segment
5. Intégration sur un segment
6. Intégrale fonction de sa borne supérieure
7. Formules de Taylor

Chapitre 17 — Équations différentielles linéaires [PDF]

1. Les trois objets de l'étude : EDL1 (équations différentielles linéaires d'ordre 1), SDL1 (systèmes différentiels linéaires d'ordre) et EDLSn (équations différentielles scalaires d'ordre n)
2. Rappels de MP2I sur les EDLS1 et étude de raccordement
3. Champ de vecteurs associé à un SDL1 homogène à coefficients constants
4. Réduction de l'étude des SDL1 et EDLSn à l'étude des EDL1
5. Mise sous forme intégrale d'un problème de Cauchy
6. Principe de superposition et conséquence pour la forme des solutions : cas des EDL1 et déclinaisons pour les SDL1 et EDLSn
7. Théorème de Cauchy linéaire et conséquences sur la structure de l'ensemble des solutions : cas des EDL1 et déclinaisons pour les SDL1 et EDLSn
8. Exemples d'EDLS1 et d'EDLS2 non normalisées
9. Exponentielles d'endomorphismes, de matrices
10. Résolution d'un SDL1HCC
11. EDLS2 à coefficients constants : rappels de MP2I
12. Résolution d'une EDLS2 : Wronskien, méthode de variation de la constante ou d'abaissement de l'ordre, méthode du Wronskien, méthode de variation des constantes

Chapitre 20 — Espaces de Banach (hors programme) [PDF]

1. Suites de Cauchy
2. Espaces de Banach
3. Séries normalement convergentes
4. Théorème de la double limite en un point du bord
5. Théorème du point fixe de Banach-Picard
6. Théorème de Cauchy linéaire

§ 4. À venir

Chapitre 18 — Calcul différentiel

Chapitre 19 — Optimisation

§ 5. QUESTIONS DE COURS

QUESTION N°1. — Dérivabilité, vecteur dérivé et DL à l'ordre 1 [n°5 du chapitre 16, énoncé]. Dérivabilité et dérivée via les fonctions coordonnées [n°7 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°2. — Composition d'une fonction dérivable par une application linéaire [n°13 du chapitre 16, énoncé et démonstration]. Composition d'une fonction dérivable par une application bilinéaire [n°15 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°3. — Composition d'une fonction dérivable par une application mutilinéaire [n°18 du chapitre 16, énoncé]. Si $A \in \mathscr{M}_n(\mathbf{R})$, dérivabilité et dérivée en 0 de l'application :

$$\varphi \left| \begin{array}{ccc} \mathbf{R} & \longrightarrow & \mathbf{R} \\ t & \longmapsto & \det(I_n + tA) \end{array} \right.$$

[n°21 du chapitre 16, résolution].

QUESTION N°4. — Composition d'applications dérivables [n°22 du chapitre 16, énoncé]. Formule de Leibniz [n°27 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°5. — Sommes de Riemann [n°36 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°6. — Propriétés de l'intégrale d'une fonction continue par morceaux [n°37 du chapitre 16, énoncé]. Inégalité des accroissements finis [n°41 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°7. — Formule de Taylor avec reste intégral [n°43 du chapitre 16, énoncé et démonstration].

QUESTION N°8. — Inégalité de Taylor-Lagrange [n°44 du chapitre 16, énoncé et démonstration]. Formule de Taylor-Young [n°46 du chapitre 16, énoncé].

QUESTION N°9. — Structure de l'ensemble solution d'une EDLS1 homogène [n°4 du chapitre 17, énoncé]. Structure de l'ensemble solution d'une EDLS1 et variation de la constante [n°5 du chapitre 17, énoncé]. Théorème de Cauchy linéaire pour les EDLS1 [n°6 du chapitre 17, énoncé].

QUESTION N°10. — SDL1 versus EDL1 [n°15 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°11. — EDLSn versus SDL1 [n°17 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°12. — Mise sous forme intégrale d'un problème de Cauchy [n°20 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°13. — Principe de superposition pour une EDL1 [n°21 du chapitre 17, énoncé et démonstration]. Conséquence pour la forme des solutions [n°22 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°14. — Théorème de Cauchy pour les EDL1 [n°29 du chapitre 17, énoncé]. Structure de l'ensemble solution d'une EDL1 homogène [n°30 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°15. — Définition d'un système fondamental de solutions pour une EDL1 homogène [n°31 du chapitre 17, énoncé]. Caractérisation des systèmes fondamentaux de solutions pour les EDL1 homogènes [n°32 du chapitre 17, énoncé intégral et démonstration de (1) équivaut à (2)]. Structure de l'ensemble solution d'une EDL1 [n°33 du chapitre 17, énoncé intégral et démonstration de la méthode de variation des constantes sous forme SDL1].

QUESTION N°16. — Théorème de Cauchy pour les EDLSn [n°40 du chapitre 17, énoncé]. Structure de l'ensemble solution d'une EDLSn homogène [n°41 du chapitre 17, énoncé]. Structure de l'ensemble solution d'une EDLSn [n°42 du chapitre 17, énoncé].

QUESTION N°17. — Définition de l'exponentielle d'une matrice [n°54 du chapitre 17, énoncé et justification du caractère bien défini]. Exponentielle d'une matrice diagonale [n°59 du chapitre 17, énoncé]. Exponentielle de deux matrices semblables [n°60 du chapitre 17, énoncé et démonstration]. Spectre d'une exponentielle de matrice [n°63 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°18. — Exponentielle d'une somme de deux matrices qui commutent [n°64 du chapitre 17, énoncé et démonstration] et une conséquence [n°65 du chapitre 17, énoncé].

QUESTION N°19. — Continuité de l'exponentielle de matrices [n°66 du chapitre 17, énoncé et démonstration]. Si $A \in \mathscr{M}_n(\mathbf{K})$, dérivabilité et dérivabilité de l'application :

$$f \left| \begin{array}{ccc} \mathbf{R} & \longrightarrow & \mathscr{M}_n(\mathbf{K}) \\ t & \longmapsto & \exp(t \cdot A) \end{array} \right.$$

en tout point de $\mathbf{R}$ [n°67 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°20. — Résolution d'un SDL1HCC via l'exponentielle de matrices [n°68 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°21. — Résolution d'un SDL1HCC dans le cas diagonalisable [n°69 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°22. — Critère de liberté pour deux solutions d'une EDLS2 homogène [n°75 du chapitre 17, énoncé et démonstration]. EDLS1 vérifiée par le Wronskien [n°76 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°23. — Méthode de la variation de la constante ou d'abaissement de l'ordre pour une EDLS2 homogène [n°77 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°24. — Méthode du Wronskien pour une EDLS2 homogène [n°78 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

QUESTION N°25. — Méthode de variation des constantes pour une EDLS2 [n°80 du chapitre 17, énoncé et démonstration].

§ 6. MÉTHODES ET SAVOIR-FAIRE

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 1. — Résolution d'une EDLS1 normalisée :

$$(\mathscr{E}) \qquad x' - \frac{x}{t} = t^2 \qquad \left[\text{inconnue } x \in \mathscr{C}^1(]0,+\infty[,\mathbf{R})\right].$$

(a) Reconnaître le type d'EDL en jeu.

(b) Donner la structure des ensembles solutions de $(\mathscr{E})$ et $(\mathscr{E}\mathscr{H})$.

(c) Résoudre $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ en primitivant le coefficient et en prêtant attention au signe.

(d) Déterminer une solution particulière de $(\mathscr{E})$ en appliquant la méthode de variation de la constante.

(e) Écrire l'ensemble solution de $(\mathscr{E})$ en extension.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 2. — Résolution d'un problème de Cauchy pour une EDLS1 :

$$\left\{ \begin{array}{ll} (\mathscr{E}) & x' + \tan(t)\, x = \sin(2t) \\ & x(0) = 1 \end{array} \right. \qquad \left[\text{inconnue } x \in \mathscr{C}^1\left(\left]-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right[,\mathbf{R}\right)\right].$$

(a) Reconnaître le type d'EDL en jeu.

(b) Donner la structure des ensembles solutions de $(\mathscr{E})$ et $(\mathscr{E}\mathscr{H})$.

(c) Résoudre $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ en primitivant le coefficient et en prêtant attention au signe.

(d) Déterminer une solution particulière de $(\mathscr{E})$ en appliquant la méthode de variation de la constante.

(e) Écrire l'ensemble solution de $(\mathscr{E})$ en extension.

(f) Déterminer l'unique solution de $(\mathscr{E})$ qui vérifie la condition initiale en ajustant la constante présente dans la forme générale d'une solution de $(\mathscr{E})$ obtenue en (e).

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 3. — Résolution d'une EDLS1 avec raccordement :

$$(\mathscr{E}) \qquad (1-t)\,y' - y = t. \qquad \left[\text{inconnue } x \in \mathscr{C}^1(]0,+\infty[,\mathbf{R})\right].$$

- **(a)** Remarquer que le coefficient devant la dérivée de l'ordre le plus haut s'annule en 1.
- **(b)** Résoudre l'EDLS1 $(\mathscr{E})$ sur $]1,+\infty[$ après l'avoir normalisée.
- **(c)** Résoudre l'EDLS1 $(\mathscr{E})$ sur $]-\infty,1[$ après l'avoir normalisée.
- **(d)** Analyse : si y est une solution de $(\mathscr{E})$ sur $\mathbf{R}$ alors (b) livre une formule pour $y(x)$ lorsque $x > 1$ (apparition d'un paramètre k_1) et (c) livre une formule pour $y(x)$ lorsque $x < 1$ (apparition d'un paramètre k_2). Chercher d'éventuelles conditions nécessaires sur k_1, k_2 pour que la fonction y soit $\mathscr{C}^1$ au voisinage de 1.
- **(e)** Synthèse : vérifier si les fonctions candidates obtenues à la fin de (d) sont solutions de l'équation $(\mathscr{E})$ sur $\mathbf{R}$.
- **(f)** Conclure l'étude par une phrase soignée.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 4. — Résolution d'un SDL1 homogène à coefficients constants (2,2) ou (3,3) dans le cas diagonalisable, par diagonalisation :

$$\left\{\begin{array}{rcrcr} x' & = & x & + & 2y \\ y' & = & 2x & + & y \end{array}\right. \qquad \left[\text{inconnue } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right].$$

- **(a)** Écrire le système différentiel linéaire sous la forme :

  $$(\mathscr{S}\mathscr{H}) \qquad X' = AX \qquad \left[\text{inconnue } X \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right]$$

  où $A \in \mathscr{M}_2(\mathbf{R})$.
- **(b)** Reconnaître le type d'EDL en jeu.
- **(c)** Donner la structure de l'ensemble solution de $(\mathscr{S}\mathscr{H})$.
- **(d)** Déterminer les éléments propres de la matrice A, qui est diagonalisable sur $\mathbf{R}$ (théorème spectral) ou calculer $\exp(A)$ (au choix).
- **(e)** Écrire l'ensemble solution de $(\mathscr{S}\mathscr{H})$ en extension.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 5. — Résolution d'un SDL1 homogène à coefficients constants (2,2) ou (3,3) dans le cas trigonalisable, par trigonalisation :

$$\left\{\begin{array}{rcrcr} x' & = & x & - & y \\ y' & = & x & + & 3y \end{array}\right. \qquad \left[\text{inconnue } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right].$$

- **(a)** Écrire le système différentiel linéaire sous la forme :

  $$(\mathscr{S}\mathscr{H}_1) \qquad \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}' = A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \qquad \left[\text{inconnue } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right]$$

  où $A \in \mathscr{M}_2(\mathbf{R})$.
- **(b)** Reconnaître le type d'EDL en jeu.
- **(c)** Donner la structure de l'ensemble solution de $(\mathscr{S}\mathscr{H}_1)$.
- **(d)** Trigonaliser la matrice A en déterminant une matrice $P \in \mathrm{GL}_2(\mathbf{R})$ et une matrice $T \in \mathscr{T}_2^+(\mathbf{R})$ telles que :

  $$(\star) \qquad A = P\,T\,P^{-1}.$$

  L'identité $(\star)$ est justifiée par une application soignée du théorème de changement de base nécessitant l'introduit de l'endomorphisme a de $\mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})$ canoniquement associé à A.
- **(e)** Le changement de variable :

  $$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = P^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

  ramène la résolution de $(\mathscr{S}\mathscr{H}_1)$ à celle de :

  $$(\mathscr{S}\mathscr{H}_2) \qquad \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}' = T \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

  qui est plus aisée.

(f) Résoudre $(\mathscr{S}\mathscr{H}_2)$ en appliquant la méthode et savoir-faire n°1.

(g) Donner une écriture en extension de l'ensemble solution de $(\mathscr{S}\mathscr{H}_1)$ à l'aide de (f) et de la relation

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}.$$

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 6. — Résolution d'un SDL1 à coefficients constants (2,2) ou (3,3) dans le cas diagonalisable :

$$\left\{ \begin{array}{rcrcrcr} x' & = & -x & + & 3y & + & e^t \\ y' & = & -2x & + & 4y & & \end{array} \right. \qquad \left[\text{inconnue} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right]$$

(a) Écrire le système différentiel sous la forme :

$$(\mathscr{S}) \quad X' = AX + \begin{pmatrix} e^t \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \left[\text{inconnue } X \in \mathscr{C}^1\left(\mathbf{R}, \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R})\right)\right]$$

où $A \in \mathscr{M}_2(\mathbf{R})$.

(b) Reconnaître le type d'EDL en jeu.

(c) Donner la structure des ensembles solutions de $(\mathscr{S})$ et $(\mathscr{S}\mathscr{H})$.

(d) Déterminer un système fondamental de solutions (X_1, X_2) de $(\mathscr{S}\mathscr{H})$, e.g. en appliquant la méthode et savoir-faire n°4.

(e) Déterminer une solution particulière de $(\mathscr{S})$ en appliquant la méthode de variation des constantes. On calcule deux fonctions $\lambda_1 : \mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{R}$ et $\lambda_2 : \mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{R}$ de classe $\mathscr{C}^1$ telles que :

$$\forall\, t \in \mathbf{R}, \quad \lambda_1'(t) \cdot X_1(t) + \lambda_2'(t) \cdot X_2(t) = \begin{pmatrix} e^t \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Alors la fonction :

$$X \left| \begin{array}{ccc} \mathbf{R} & \longrightarrow & \mathscr{M}_{2,1}(\mathbf{R}) \\ t & \longmapsto & \lambda_1(t) \cdot X_1(t) + \lambda_2(t) \cdot X_2(t) \end{array} \right.$$

est une solution particulière de $(\mathscr{S})$.

(f) Écrire l'ensemble solution de $(\mathscr{S})$ en extension.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 7. — Résolution d'une EDL2 à coefficients constants :

$$(\mathscr{E}) \qquad y'' + y = \cos^3(t) \qquad \left[\text{inconnue } x \in \mathscr{C}^2(\mathbf{R}, \mathbf{R})\right].$$

(a) Reconnaître le type d'EDL en jeu.

(b) Donner la structure des ensembles solutions de $(\mathscr{E})$ et $(\mathscr{E}\mathscr{H})$.

(c) Déterminer un système fondamental de solutions (x_1, x_2) de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$, e.g. en appliquant les résultats du programme de MP2I.

(d) Déterminer une solution particulière de $(\mathscr{S})$ en appliquant la méthode de variation des constantes. On calcule deux fonctions $\lambda_1 : \mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{R}$ et $\lambda_2 : \mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{R}$ de classe $\mathscr{C}^2$ telles que :

$$\forall\, t \in \mathbf{R}, \quad \begin{pmatrix} x_1(t) & x_2(t) \\ x_1'(t) & x_2'(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1'(t) \\ \lambda_2'(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \cos^3(t) \end{pmatrix}$$

Alors la fonction :

$$x \left| \begin{array}{ccc} \mathbf{R} & \longrightarrow & \mathbf{R} \\ t & \longmapsto & \lambda_1(t) \cdot x_1(t) + \lambda_2(t) \cdot x_2(t) \end{array} \right.$$

est une solution particulière de $(\mathscr{E})$.

(e) Écrire l'ensemble solution de $(\mathscr{E})$ en extension.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 8. — Résolution d'une EDLS2 homogène avec raccordement :

$$(\mathscr{E}\mathscr{H}) \qquad x^2\, y'' - 6x\,y + 12\,y = 0 \qquad \left[\text{inconnue } x \in \mathscr{C}^2(\mathbf{R}, \mathbf{R})\right].$$

(a) Remarquer que le coefficient devant la dérivée de l'ordre le plus haut s'annule en 0.

(b) Déterminer deux solutions de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $\mathbf{R}$, de la forme $x \longmapsto x^\alpha$, où $\alpha \in \mathbf{N}$.

(c) Donner la structure de l'ensemble solution S^+ de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $]0,+\infty[$ et la structure de l'ensemble solution S^- de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $]-\infty,0[$.

(d) Déduire de (b) et (c) une écriture en extension de S^+.

(e) Déduire de (b) et (c) une écriture en extension de S^-.

(f) Analyse : si y est une solution de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $\mathbf{R}$ alors (d) livre une formule pour $y(x)$ lorsque $x>0$ (apparition de deux paramètres k_1,k_2) et (e) livre une formule pour $y(x)$ lorsque $x<0$ (apparition de deux paramètres k_3,k_4). Chercher d'éventuelles condition nécessaires sur k_1,k_2,k_3,k_4 pour que la fonction y soit $\mathscr{C}^2$ au voisinage de 0.

(g) Synthèse : vérifier si les fonctions candidates obtenues à la fin de (f) sont solutions de l'équation $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $\mathbf{R}$.

(h) Conclure l'étude par une phrase soignée.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 9. — Calcul d'une exponentielle de matrice diagonalisable de format $(2,2)$ ou $(3,3)$:

$$\exp\begin{pmatrix}3 & 1\\ 1 & 2\end{pmatrix}$$

en menant les calculs à terme, dussent-ils faire apparaître des racines carrées d'entiers.

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 10. — Calcul d'une exponentielle de matrice à partir de sa décomposition de Dunford :

$$\exp\begin{pmatrix}2 & 1\\ 0 & 2\end{pmatrix}.$$

MÉTHODE ET SAVOIR-FAIRE N° 11. — Résolution d'une EDLS2 homogène connaissant une solution :

$$(\mathscr{E}\mathscr{H}) \qquad \left(t^2+t\right)x''(t)+(t-1)\,x'(t)-x(t)=0 \qquad \left[\text{inconnue } x\in\mathscr{C}^2(]1,+\infty[,\mathbf{R})\right].$$

(a) Reconnaître le type d'EDL en jeu.

(b) Donner la structure de l'ensemble solution de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $]1,+\infty[$.

(c) Déterminer une solution polynomiale x_1 de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ sur $]1,+\infty[$.

(d) Compléter x_1 en un système fondamental de solutions de $(\mathscr{E}\mathscr{H})$ en appliquant la méthode de la variation de la constante (abaissement de l'ordre) ou la méthode du Wronskien (au choix).

§ 7. RAPPORT DE COLLE

Vous repartirez avec les énoncés des exercices que vous a proposés l'interrogatrice/teur. Vous :

- collerez cet énoncé sur une feuille simple;
- l'encadrerez en rouge avec une règle :
- en rédigerez une solution soignée à l'encre noire ou bleue

que vous me remettrez sans faute à la fin du cours du mercredi suivant votre colle.