

Concours Commun Polytechnique

Filière PC

Concours 2003 math 1

PARTIE 1

1a) Si $X = (x_i)_{i=1}^n$ et $Y = (y_i)_{i=1}^n$ sont des éléments de $\mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R})$ on a

$${}^tXY = {}^tYX = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

1b) Développement sans problème :

$$\begin{aligned} ({}^tXY)^2 &= ({}^tXY)({}^tXY) = ({}^tXY)({}^tYX) \text{ calcul précédent} \\ &= ({}^tX)(Y^tY)(X) \text{ par associativité} \\ &= ({}^tYX)({}^tXY) = {}^tY(X^tX)Y \text{ symétriquement} \end{aligned}$$

1c) Si on considère que " ${}^tXY = \langle x, y \rangle$ dans une base orthonormée" n'est pas une formule classique on refait le calcul et

$${}^tX(SY) = \sum_{(i,j)} x_i s_{i,j} y_j = \langle X, SY \rangle$$

puis comme S est symétrique ${}^tX(SY) = {}^tX^tSY = {}^t(SX)Y = \langle SX, Y \rangle$

2a) On a : $\forall X \in \mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R}), {}^tXS_1X \geq 0$ et ${}^tXS_2X \geq 0$ et donc en ajoutant ${}^tX(S_1 + S_2)X \geq 0$

$$(S_1, S_2) \in (\mathcal{S}_n^+(\mathbb{R}))^2 \Rightarrow S_1 + S_2 \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$$

2b) idem car la somme d'un réel positif et d'un réel strictement positif est un réel strictement positif.

2c) On a : $\forall X \in \mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R}), {}^tX(AA)X = {}^t(AX)(AX) = \langle AX, AX \rangle = \|AX\|^2 \geq 0$. Et donc

$$\forall A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R}), {}^tAA \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$$

3a) Si $SX = \lambda X$ on a ${}^tXSX = \lambda {}^tXX = \lambda \|X\|^2$. Donc si ${}^tXSX = 0$ on a $\lambda = 0$ (car X est non nul donc $\|X\| \neq 0$)

S est donc une matrice diagonalisable (car symétrique réelle) ayant une unique valeur propre 0. S est donc la matrice nulle: $S = P \cdot 0 \cdot P^{-1} = (0)$

3b) On veut que MX soit orthogonal à X pour tout X . c'est une propriété classique du produit vectoriel. Il suffit de prendre pour M la matrice de $x \rightarrow i \wedge x$

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

On vérifie alors bien ${}^tXMX = 0$

4a) S étant symétrique réelle est diagonalisable dans une base orthonormée $(V_i)_{i=1}^n$: il existe $D = \text{diag}(\lambda_k)$ telle que $\forall k, SV_k = \lambda_k V_k$

Si toutes les valeurs propres sont positives on a alors pour toute matrice colonne $X = \sum_{k=1}^n y_k V_k$

$${}^tXSX = \langle X, SX \rangle = \left\langle \sum_{k=1}^n y_k V_k, \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k V_k \right\rangle = \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k^2 \geq 0$$

Réciproquement si λ est valeur propre de S et X un vecteur propre associé. le calcul du **3a** donne ${}^tXSX = \lambda \|X\|^2$. comme on suppose ${}^tXSX \geq 0$ et que $X \neq \vec{0}$ on a bien $\lambda \geq 0$

4b) deux matrices semblables ont même spectre. Donc si S' est symétrique réelle semblable à S symétrique positive les valeurs propres de S (donc de S') sont toutes positives donc S' est positive.

5a) Sur $\mathcal{S}_n(\mathbb{R})$ la relation \geq est bien :

- binaire
- réflexive : $(0)_n$ est bien positive donc $S_1 \geq S_1$

- antisymétrique : si $S_1 \geq S_2$ et si $S_2 \geq S_1$ les valeurs propres de $S_2 - S_1$ sont toutes à la fois positives et négatives. $S_2 - S_1$ est donc diagonalisable (car symétrique réel) ayant une seule valeur propre 0 donc c'est la matrice nulle. . $S_2 = S_1$
- transitive : Si $S_1 \geq S_2$ et $S_2 \geq S_3$ on a $S_1 - S_2 \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$ et $S_2 - S_3 \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$ donc d'après **2a** la somme $S_1 - S_3 \in \mathcal{S}_n^+(\mathbb{R})$ et donc $S_1 \geq S_3$.

5b) il suffit de prendre $S_1 = 0$ et pour S_2 une matrice symétrique ayant une valeur propre positive et une négative .
Exemple

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

5c) la relation $>$ n'est pas réflexive car $(0)_n \notin \mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$

5d) On peut se douter (ou montrer) qu'une matrice de $\mathcal{S}_n^{++}(\mathbb{R})$ a des valeurs propres strictement positives.

On prend donc $S_2 = 0$ et S_1 symétrique ayant des valeurs propres positives et ayant la valeur propre 0 . Par exemple

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ On a } S_1 \neq (0) \text{ et } {}^t X S_1 X = z^2 \geq 0 \text{ et si } X = \begin{pmatrix} x \neq 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ } {}^t X S_1 X = 0$$

6a) question de cours .On doit montrer $x \in E_\lambda(u) \Rightarrow v(x) \in E_\lambda(u)$. Donc $u(x) = \lambda x \Rightarrow u(v(x)) = \lambda v(x)$. Or

$$\begin{aligned} u(v(x)) &= (u \circ v)(x) \\ &= (v \circ u)(x) \text{ par hypothèse sur } u \text{ et } v \\ &= v(u(x)) = v(\lambda x) \\ &= \lambda v(x) \text{ par linéarité de } v \end{aligned}$$

6b) L'endomorphisme induit par v diagonalisable sur un sous espace stable est lui même diagonalisable. Donc l'endomorphisme v_i est diagonalisable et il existe une base de $E_{\lambda_i}(u)$ qui est une base de vecteurs propres de v_i . u étant diagonalisable E est somme directe des sous espaces propres .L'union des bases précédente est donc une base de E . Par construction ces vecteurs sont des vecteurs propres de v et de u (car éléments des sous espaces propres) . Dans cette base u et v sont donc simultanément diagonalisables.

7a) Si A et B commutent A et B sont diagonalisables au moyen d'une même matrice de passage . On prend la question précédente avec $A = \text{Mat}_{\mathcal{C}}(u)$ et $B = \text{Mat}_{\mathcal{C}}(v)$. P est alors la matrice de passage de \mathcal{C} à \mathcal{B} .

Réciproquement si A et B son diagonalisables au moyen d'une même matrice de passage . On a $A = PDP^{-1}$, $B = P\Delta P^{-1}$ et comme deux matrices diagonales commutent $AB = BA = P(D\Delta)P^{-1}$

7b)

A est de rang 1 et $E_0(A)$ est le plan $(x + y - z = 0)$. Par la trace on en déduit que la troisième valeur propre est 3

$$\text{puis on trouve } E_3(A) = \text{Vect} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Pour B le calcul du polynôme caractéristique en commençant par exemple par faire $C_2 + C_3 - > C_3$ donne deux valeurs propres 4(double) et 1(simple) . Puis le calcul des sous espaces propres donne : $E_4(B)$ est le plan $-2x + y - z = 0$

$$\text{et } E_1(B) = \text{Vect} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} . \text{ On vérifie alors que } E_1(B) \subset E_0(A) , E_3(A) \subset E_4(B) . \text{ Les trois droites } E_1(B), E_3(A) ,$$

$E_0(A) \cap E_4(B)$ sont trois droites de vecteurs propres communs qui engendrent l'espace . Une matrice de passage est :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

remarque : je ne pense pas que le passage par l'endomorphisme induit par v sur $E_0(A)$ soit plus simple

8) S_1 et S_2 sont diagonalisables (symétriques réels) , et commutent . S_1 et S_2 sont donc diagonalisables avec une même matrice de passage ($S_1 = PDP^{-1}$, $S_2 = P\Delta P^{-1}$). Cette matrice de passage diagonalise aussi $S_1 S_2 = S_2 S_1 = PD\Delta P^{-1}$, la matrice diagonale semblable à $S_1 S_2$ étant le produit des deux matrices semblables à S_1 et S_2 . S_1 et S_2 étant positives ont toutes leurs valeurs propres positives. Les valeurs propres de $S_1 S_2$ sont donc aussi toutes positives et $S_1 S_2$ est symétrique positive.(toujours **4a**)

9a) Avec les notations précédentes ($S_1 = PDP^{-1}$, $S_2 = P\Delta P^{-1}$). On a donc $\Delta - D$ positives . Donc pour les termes diagonaux $\delta_i - d_i \geq 0$ et $d_i \geq 0$. La fonction carrée est croissante sur \mathbb{R}^+ donc $\forall i , \delta_i^2 \geq d_i^2$. $\Delta^2 - D^2$ est donc positive et $S_2^2 - S_1^2$ est une matrice symétrique semblable à une matrice symétrique positive donc est aussi positive. $S_2^2 \geq S_1^2$ (cf **4b**)

9b) On a $S_2 - S_1 = \begin{pmatrix} 1/2 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$ de valeurs propres 0 et 5/2 réels positifs. La matrice est positive est $S_2 \geq S_1$

S_1 de valeurs propres 0 et 1 donc $S_1 \geq 0$

et $S_2^2 - S_1^2 = \begin{pmatrix} 1/4 & -2 \\ -2 & 7 \end{pmatrix}$ de déterminant $-9/4$. Le produit des valeurs est négatif. L'une des valeurs propres est négative. $S_2^2 - S_1^2$ n'est pas positive.

Partie II

1)

a \Leftrightarrow **b** : idem **I4a**

S étant symétrique réelle est diagonalisable dans une base orthonormée $(V_i)_{i=1}^n$: il existe $D = \text{diag}(\lambda_k)$ telle que $\forall k$, $SV_k = \lambda_k V_k$

Si toutes les valeurs propres sont strictement positives on a alors pour toute matrice colonne non nulle $X = \sum_{k=1}^n y_k V_k$

$${}^t X S X = \langle X, S X \rangle = \left\langle \sum_{k=1}^n y_k V_k, \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k V_k \right\rangle = \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k^2 > 0$$

En effet on a une somme de termes positifs, un au moins étant strictement positif.

Réciproquement si λ est valeur propre de S et X vecteur propre associé on a ${}^t X S X = \lambda \|X\|^2$. Comme on suppose ${}^t X S X > 0$ et que $X \neq \vec{0}$ on a bien $\lambda > 0$

b \Rightarrow **c**. S étant diagonalisable dans une base orthonormée (symétrique réelle) on peut écrire $S = P D^t P$. avec $D = \text{diag}(d_i)$. Par hypothèses les d_i sont strictement positifs. On peut donc définir $\Delta = \text{diag}(\sqrt{d_i})$ qui est inversible car les termes diagonaux sont non nuls. $M = \Delta^t P$ est alors une solution du problème.

$${}^t M M = P \Delta \Delta^t P = P D^t P = S$$

c \Rightarrow **d** si $S = {}^t M M$ avec M inversible, S est inversible (comme produit de matrices inversibles) et S est positive d'après **I2c**

d \Rightarrow **b** : S est positive donc toutes les valeurs propres de S sont positives et S est inversible donc 0 n'est pas valeur propre de S . Les valeurs propres de S sont donc strictement positives.

On a la chaînes $b \Rightarrow c \Rightarrow d \Rightarrow b$ et $a \Leftrightarrow b$ donc l'équivalence des 4 propositions.

2a) A est bien une matrice symétrique.

Si $X = (x_i)_{i=1}^n$ et $Y = AX = (y_j)_{j=1}^n$ on a :

$$\begin{cases} y_1 = 2x_1 - x_2 \\ \forall j \in [[2, n-1]] , y_j = -x_{j-1} + 2x_j - x_{j+1} \\ y_n = -x_{n-1} + 2x_n \end{cases}$$

On a donc

$$\begin{aligned} {}^t X A X &= \sum_{i=1}^n x_i y_i = 2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=2}^n x_{i-1} x_i - \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} \\ &= \left(\sum_{i=2}^n x_i^2 + x_1^2 \right) + \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 + x_n^2 \right) - \sum_{i=1}^{n-1} x_j x_{j+1} - \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} \\ &= \left(\sum_{j=1}^{n-1} x_{j+1}^2 + x_1^2 \right) + \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 + x_n^2 \right) - 2 \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} \\ &= x_1^2 + x_n^2 + \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1}^2 - 2x_i x_{i+1} + x_i^2) \\ &= x_1^2 + x_n^2 + \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2 \end{aligned}$$

2b pour toute colonne X on constate que ${}^t X A X$ est une somme de carré donc est un réel positif. De plus la somme

est nulle si et seulement si chaque terme est nul donc si et seulement si $\begin{cases} x_1 = 0 \\ \forall i \in [[1, n-1]] , x_{i+1} - x_i = 0 \\ x_n = 0 \end{cases}$

Tous les x_i sont donc nuls. Donc si $X \neq (0)$ ${}^t X A X$ est strictement positif.

2c) Avec la matrice M du sujet notons $S = {}^t M M = (s_{i,j})$ on a en faisant le produit :

$$\begin{cases} s_1 = u_1^2 \\ i > 1 \Rightarrow s_i = u_i^2 + v_{i-1}^2 \\ 1 \leq i \leq n-1 \Rightarrow s_{i,i+1} = s_{i+1,i} = u_i v_i \\ |j-i| > 1 \Rightarrow s_{i,j} = 0 \end{cases}$$

On doit donc résoudre le système non linéaire

$$\begin{cases} u_1^2 = 2 \\ i > 1 \Rightarrow u_i^2 + v_{i-1}^2 = 2 \\ 1 \leq i \leq n-1 \Rightarrow u_i v_i = -1 \end{cases}$$

On a donc $v_i = -\frac{1}{u_i}$ et en reportant $u_i^2 = 2 - \frac{1}{u_{i-1}^2}$. Soit en posant $a_i = u_i^2$ la suite homographique:

$$\begin{cases} a_1 = 2 \\ a_i = 2 - \frac{1}{a_{i-1}} \end{cases}$$

l'équation $l = 2 - 1/l$ donne un point fixe double $l = 1$. La suite $\frac{1}{a_{i-1}}$ est donc arithmétique. Or

$$\frac{1}{a_i - 1} = \frac{1}{1 - \frac{1}{a_{i-1}}} = \frac{a_{i-1}}{a_{i-1} - 1} = 1 + \frac{1}{a_{i-1} - 1}$$

d'où $\frac{1}{a_{i-1}} = i$ et

$$u_i = \sqrt{\frac{i+1}{i}}, v_i = -\sqrt{\frac{i}{i+1}}$$

3a) \mathcal{U} est une base car S est une matrice inversible d'après **IIIc**

3b) C'est la méthode d'orthogonalisation de Schmidt. Démonstration par récurrence

- (V_1) est réduit à un seul vecteur non nul donc est une famille orthogonale de vecteurs non nuls
- (V_1, V_2) est une famille orthogonale de vecteurs non nuls et $\text{Vect}(V_1, V_2) = \text{Vect}(U_1, U_2)$. En effet
 - p_1 est la projection orthogonale sur $\text{Vect}(U_1) = \text{Vect}(V_1)$ donc $V_2 = U_2 - p_1(U_2)$ est orthogonal à V_1
 - si V_2 était nul, on aurait $U_2 = p_1(U_2) \in \text{Vect}(U_1)$. Absurde car (U_1, U_2) est libre
 - (V_1, V_2) est une famille orthogonale de vecteurs non nuls, c'est donc une famille libre.
 - Enfin $\text{Vect}(V_1, V_2) \subset \text{Vect}(U_1, U_2)$ par construction, et comme les deux familles de deux vecteurs sont libres il y a égalité.
- On suppose que $(V_i)_{i=1}^{k-1}$ est une famille orthogonale de vecteurs non nuls tels que $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^{k-1} = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^{k-1}$. Montrons que $(V_i)_{i=1}^k$ est une famille orthogonale de vecteurs non nuls tels que $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^k = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$.
 - par hypothèse de récurrence on doit seulement montrer que V_k est un vecteur non nul orthogonal à $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^{k-1}$ puis $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^k = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$.
 - Par construction p_{k-1} est la projection orthogonale sur $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^{k-1} = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^{k-1}$ donc $V_k = U_k - p_{k-1}(U_k)$ est orthogonal à $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^{k-1}$
 - Si V_k est nul alors $U_k = p_{k-1}(U_k) \in \text{Vect}(U_i)_{i=1}^{k-1}$ et la famille $(U_i)_{i=1}^n$ est liée. Absurde
 - Enfin par construction $V_k \in \text{Vect}(U_k) \oplus \text{Vect}(U_i)_{i=1}^{k-1} = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$ et $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^{k-1} = \text{Vect}(U_i)_{i=1}^{k-1} \subset \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$. Donc $\text{Vect}(V_i)_{i=1}^k \subset \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$. Les deux familles étant libres de même cardinal, les deux sous espaces sont égaux.

pour $k = n$ on obtient que \mathcal{V} est une base orthogonale de \mathbb{R}^n .

3c) La base est orthonormale car on norme une base orthonormée (et les dénominateurs sont non nuls car les V_i sont des vecteurs non nuls)

Par construction de \mathcal{V} on a vu que $V_k \in \text{Vect}(U_i)_{i=1}^k$. Les coordonnées de V_k sur U_{k+1}, \dots, U_n sont donc nulles.

$\text{Mat}_{\mathcal{U}}(\mathcal{V})$ est triangulaire supérieure. Diviser chaque colonne par sa norme ne change pas les coefficients nuls.

$\text{Mat}_{\mathcal{U}}(\mathcal{W})$ est triangulaire supérieure.

3d) notons \mathcal{B} la base canonique. On a

$$M = \text{Mat}_{\mathcal{B}}(\mathcal{U}) = \text{Mat}_{\mathcal{B}}(\mathcal{W}) \text{Mat}_{\mathcal{W}}(\mathcal{U}) = PT$$

où T est l'inverse de la matrice triangulaire supérieure construite à la question précédente.

On a alors $S = {}^t M M = {}^t T P P T$. Mais P est la matrice de passage de \mathcal{B} à \mathcal{W} toutes deux bases orthonormées.

Donc P est orthogonale et ${}^t P P = I_n$. Il reste donc $S = {}^t T T$

3e) Si on pose à priori $T = \begin{pmatrix} a & b & c \\ 0 & d & e \\ 0 & 0 & f \end{pmatrix}$ le calcul donne :

$${}^t T T = \begin{pmatrix} a^2 & ab & ac \\ ab & b^2 + d^2 & bc + de \\ ac & bc + de & c^2 + e^2 + f^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & -2 & -2 \\ 0 & 2 & 0 \\ -2 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

en résolvant le système ligne par ligne et en choisissant pour a, d, f les racines carrées positives on obtient

$$T = \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

On constate que T est inversible et donc d'après **II 1** S est définie positive.

4a) Si $X = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ on a ${}^t X A_0 X = by^2 + 2cxy$ donc $y = 0$ ou $by + 2cx = 0$

4b)

- si A est définie positive les valeurs propres de A sont strictement positives (cf **II 1**). Leur somme (la trace) et leur produit (le déterminant) le sont aussi. On a donc $a + b > 0$ et $ab - c^2 > 0$. On en déduit que $a + b$ et ab sont strictement positifs donc a et b le sont.
- Si $a > 0$ et $ab - c^2 > 0$ on a $b > \frac{c^2}{a} > 0$ donc $Tr(A) > 0$ et $\det(A) > 0$. La somme et le produit des valeurs propres sont strictement positifs donc les valeurs propres sont strictement positives. D'après **II 1** A est définie positive.

4c) calcul par bloc :

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x & {}^t X' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & {}^t V \\ V & S' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ X' \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} xa + {}^t X' V & x {}^t V + {}^t X' S' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ X' \end{pmatrix} \\ &= xax + x {}^t X' V' + x {}^t V X' + {}^t X' S' S' \\ &= ax^2 + x({}^t V X' + {}^t X' V) + {}^t X' S' X' \\ &= ax^2 + 2x {}^t V X' + {}^t X' S' X' \text{ car } {}^t V X' = {}^t X' V \text{ d'après I 1a} \\ &= a \left(x + \frac{{}^t V X'}{a} \right)^2 - \frac{1}{a} ({}^t V X')^2 + {}^t X' S' X' \\ &= a \left(x + \frac{{}^t V X'}{a} \right)^2 - \frac{1}{a} ({}^t X' V {}^t V X') + {}^t X' S' X' \text{ d'après I 1 b} \\ &= a \left[\left(x + \frac{{}^t V X'}{a} \right)^2 + \frac{1}{a^2} {}^t X' (-V {}^t V + a S') X' \right] \end{aligned}$$

On vérifie que tous les produits matriciels ont un sens les matrices étant de tailles compatibles.

On en déduit donc :

- si $a > 0$ et $aS' - V {}^t V$ définie positive, pour toute matrice colonne $X \in \mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R})$ on a $\left(x + \frac{{}^t V X'}{a} \right)^2 \geq 0$ et ${}^t X' (aS' - V {}^t V) X' \geq 0$ donc ${}^t X S X \geq 0$. De plus si ${}^t X S X = 0$ on a une somme nulle de réelles positives donc chaque terme est nulle. En particulier ${}^t X' (aS' - V {}^t V) X' = 0$ et donc $X' = 0$ car $aS' - V {}^t V$ est définie positive on trouve alors $x = 0$ en reportant dans $\left(x + \frac{{}^t V X'}{a} \right)^2 = 0$. Donc $X \neq 0 \Rightarrow {}^t X S X > 0$ et S est définie positive.
- Si S est définie positive alors $a > 0$ car pour $X = \begin{pmatrix} 1 \\ (0) \end{pmatrix}$, ${}^t X S X = a$ d'après le calcul précédent (avant la division par a) et $aS' - V {}^t V$ est définie positive car pour toute matrice non nul $X' \in \mathcal{M}_{n-1,1}(\mathbb{R})$

$${}^t X' (aS' - V {}^t V) X' = a^2 {}^t X S X > 0 \text{ en prenant } X = \begin{pmatrix} 0 \\ X' \end{pmatrix}$$

4d)

- Si S est définie positive la question précédente donne par une récurrence évidente que toutes les S_i sont définies positives et tous les a_i positifs pour $i < n$. Enfin $a_n > 0$ comme valeur propre de la matrice S_n définie positive.
- Réciproquement si les (a_i) sont tous strictement positifs $S_n = (a_n)$ est définie positive. S_n est définie positives et $a_{n-1} > 0$ donc S_{n-1} est définie positive et par récurrence si S_{i-1} est définie positive S_i est définie positive car $a_{i-1} > 0$.

4e) Si $S = \begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & f \\ e & f & c \end{pmatrix}$ on a $a_1 = a, V_1 = \begin{pmatrix} d \\ e \end{pmatrix}, S'_1 = \begin{pmatrix} b & f \\ f & c \end{pmatrix}$ d'où

$$S_2 = \begin{pmatrix} ab - d^2 & af - de \\ af - de & ac - e^2 \end{pmatrix}$$

S est donc définie positive si et seulement si $a > 0$ et S_2 définie positive . Donc en utilisant **II 4b** si et seulement si $a > 0, ab - d^2 > 0$ et $\det(S_2) > 0$ or $\det(S_2) = (ab - d^2)(ac - e^2) - (af - de)^2 = a \det(S)$

S est définie positive si seulement si $a > 0$, $\begin{vmatrix} a & d \\ d & b \end{vmatrix} > 0$, $\begin{vmatrix} a & d & e \\ d & b & f \\ e & f & c \end{vmatrix} > 0$