Concours marocain : *Corrigé 2003* *Maths 2, PSI*

Maths-MPSI
Mr Mamouni : *myismail@altern.org*

$1^{\text{ére}}$ Partie

1) Pour cela il faut montrer que Φ est linéaire, ce qui simple en vérifiant l'égalité $\Phi(P+\lambda Q)=\Phi(P)+\lambda\Phi(Q)\quad \forall (P,Q)\in E^2; \forall\lambda\in\mathbb{R}$ et que $\Phi(P)\in E_n\quad \forall P\in E_n$, en effet : soit $P\in E_n$ donc $\deg P\leq n$ donc $\deg(\Phi(P))=\deg(((X^2-1)P')')=\deg(((X^2-1)P'))-1=$ $2+\deg P'-1=\deg P\leq n$, donc $\Phi(P)\in E_n$ et donc Φ induit un endomorphisme Φ_n de E_n .

2) Ecrire la matrice de $\Phi_n(1)=0, \Phi_n(X)=2X,\ldots,\Phi_n(X^k)=((X^2-1)kX^{k-1})'=k(X^{k+1}-X^{k-1})'=k(k+1)X^k-k(k-1)X^{k-2},\ldots,\Phi_n(X^n)=n(n+1)X^n-n(n-1)X^{n-2}$. Donc

$$M=\mathcal{M}_{\mathcal{B}}(\Phi_n)=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & & \dots & 0\\ 0 & 2 & \ddots & \ddots & & & \vdots\\ \vdots & & \ddots & & (k-1)k & \ddots & \\ & & \ddots & k(k+1) & \ddots & \ddots & 0\\ & & & \ddots & \ddots & \ddots & (n-1)n\\ & & & & \ddots & \ddots & 0\\ 0 & \dots & & & \dots & 0 & n(n+1) \end{pmatrix}$$

3) $\lambda\in\mathbb{R}$ est une valeur propre de $\Phi_n \iff M-\lambda I_n$ non inversible, or $M-\lambda I_n$ est une matrice triangulaire, donc serait non inversible si l'un des ses termes diagonaux $(\lambda-k(k+1))_{0\leq k\leq n}$ est nul, c'est à dire $\lambda\in\{0,2,\ldots,k(k+1),\ldots,n(n+1)\}$, Ainsi Φ_n est un endomorphisme de E_n qui admet $n+1=\dim E_n$ valeurs propres distinctes donc diagonalisable.

4) a) $\mu_k=k(k+1)$, Soit $P(X)=a_0+a_1X+\ldots+a_nX_n\in E_n$ po
, en notant $Y=(a_i)_{0\leq i\leq n}\in\mathcal{M}_{n+1,1}(\mathbb{R})$ l'équation $\Phi_n(P)$
s'écrit matriciellemnt $MY=\mu_kY$ ou bien $Y\in$ Ker$(M-\mu_k$
$M-\mu_kI_n$ est une matrice triangulaire supérieure dont un seu
est nul, donc de rang égal à $n-1$ et par suite dim Ker$(M-\mu_kI$
on peut donc conclure que les solutions de l'équation $\Phi_n(P)$
sont tous proportionnels, et parmi ces solution il n'y a bien sû
seul un unique polynôme unitaire P_k tel que : $\Phi_n(P_k)=\mu_kP$

b) Posons $\deg P_k=p$, donc $P_k(X)=a_0+a_1X+\ldots+a_pX$
$a_p\neq 0$, $\Phi_n(P_k)=\mu_kP_k\Longrightarrow (X^2-1)P_k“+2XP_k'=\mu_kP_k$, e
tifiant dans cette égalité les coefficient de la plus grande pu
qui est X^p on trouve $a_p(p(p-1))+2p)=a_p\mu_k$ qui devient p
$a_p\neq 0,\quad p(p+1)=k(k+1)$ ou bien $k^2-p^2=p-k$. Si $p\neq$
égalité devient aprés simplification par $p-k$, $k+p=-1$ ce
impossible, donc $\deg P_k=p=k$.

5) La symétrie, bilinéarité et positivité ne posent aucun probléme. J
notion de définie qui mérite un peu de rédaction, soit $P\in E$
$(P|P)=0$ donc $\int_{-1}^{1}P^2(t)dt=0$, ainsi P^2 est une fonction contin
sitive d'intégrale nulle sur $[-1,1]$ donc $P^2=0$ et aussi $P=0$ sur
on a donc un polynôme P qui admet une infinité de racines donc

6) Pour tout $(P,Q)\in E^2$ on a : $(\Phi(P)|Q)=\int_{-1}^{1}\left((t^2-1)P'(t)\right)'Q$
$\left[(t^2-1)P'(t)Q(t)\right]_{t=-1}^{t=1}-\int_{-1}^{1}(t^2-1)P'(t)Q'(t)dt=$

$\left(\left[P(t)(t^2-1)Q'(t)\right]_{t=-1}^{t=1} - \int_{-1}^{1} P(t)\left((t^2-1)Q'(t)\right)' dt\right) = (P|\Phi(Q))$, on a procédé à deux reprises par une intégration par parties.

7) Pour tout couple (k,k') d'entiers naturels tel que $k \neq k'$, on a $(\Phi(P_k)|P_{k'}) = (P_k)|\Phi(P_{k'})) \Longrightarrow \mu_k(P_k|P_{k'}) = \mu_{k'}(P_k|P_{k'}) \Longrightarrow (\mu_k - \mu_{k'})(P_k|P_{k'}) \Longrightarrow (P_k|P_{k'}) = 0$, car
$k \neq k' \Longrightarrow \mu_k = k(k+1) \neq \mu_{k'} = k'(k'+1)$.

8) a) D'aprés la question précédente la famille $(P_0, P_1, \ldots, P_n)$ est othogonale, en plus tous ses éléments sont des polynômes non nuls car unitaires, donc c'est une famille libre, et elle est de carinal $n+1 = \dim E_n$ donc c'est une base de E_n, pour en construire une base orthonormée $(R_0, R_1, \ldots, R_n)$, comme la famille est déjà orthogonale il suffit de normaliser ses éléments en le divisant par sa norme, c'est à dire prendre $R_k = \dfrac{P_k}{||P_k||}$.

b) Soit $P \in E_n, \|P\| = 1$, donc $P = \sum_{k=0}^{n} a_k R_k$ avec $\sum_{k=0}^{n} a_k^2 = 1$ car $(R_0, R_1, \ldots, R_n)$ est une b.o.n de E_n, d'autre part $\forall \quad 0 \leq k \leq n$ on a :

$\Phi_n(R_k) = \Phi_n\left(\dfrac{P_k}{||P_k||}\right) = \dfrac{\Phi_n(P_k)}{||P_k||} = \dfrac{\mu_k P_k}{||P_k||} = \mu_k R_k$, ainsi

$\Phi_n(P) = \Phi_n\left(\sum_{k=0}^{n} a_k R_k\right) = \sum_{k=0}^{n} a_k \Phi_n(R_k) = \sum_{k=0}^{n} a_k \mu_k(R_k)$, comme $(R_0, R_1, \ldots, R_n)$ est une b.o.n de E_n alors $\|\Phi_n(P)\| = \sqrt{\sum_{k=0}^{n} a_k^2 \mu_k^2} \leq \mu_n \sqrt{\sum_{k=0}^{n} a_k^2} = \mu_n$ donc

$|||\Phi_n||| = \sup\{\|\Phi_n(P)\|; P \in E_n, \|P\| = 1\} \leq \mu_n$.

Inversement : $\|R_n\| = 1$ donc $\|\Phi_n(R_n)\| = \mu_n \leq |||\Phi_n||| = \sup\{\|\Phi_n(P)\|; P \in E_n, \|P\| = 1\}$ d'où l'égalité .

2éme Partie

1) a) $L_k = \dfrac{1}{2^k k!} U_k = \dfrac{1}{2^k k!} V_{k,k} = \dfrac{1}{2^k k!}[(X^2-1)^k]^{(k)}$, donc deg
deg $\left([(X^2-1)^k]^{(k)}\right) = \deg(X^2-1)^k - k = 2k - k = k$, le
cient dominant de L_k est obtenu en dérivant k fois la plus
puissance de $(X^2-1)^k$ qui est X^{2k}, or $(X^{2k})^{(k)} = (2k$
$1)\ldots(k+1)X^k = \dfrac{(2k)!}{k!}X^k$, donc le coefficient dominant de
$\dfrac{1}{2^k k!}\dfrac{(2k)!}{k!} = \dfrac{(2k)!}{2^k(k!)^2}$.

b) Soit $k \in \mathbb{N} \quad \left((X^2-1)^k\right)^{(k)} = \left((X-1)^k(X+1)^k\right)^{(k)} =$
$\sum_{p=0}^{k} \mathcal{C}_k^p \left((X-1)^k\right)^{(p)} \left((X+1)^k\right)^{(k-p)}$ (*), or 1 est une rac
$(X-1)^k$ de multiplicité k donc $\left((X-1)^k\right)^{(p)}(X=1) =$
tout $0 \leq p \leq k-1$, donc en remplaçant dans (*) X par 1, on
$L_k(1) = \dfrac{1}{2^k k!}\mathcal{C}_k^k \left((X-1)^k\right)^{(k)}(X=1)\left((X+1)^k\right)^{(0)}(X=1)$

c) Du fait que la dérivée d'un polynôme pair est impair et
$(X^2-1)^k$ est pair, alors sa dérivée k-ème est impaire si k im
elle est paire si k est pair, on peut donc conclure que la pa
polynôme L_k est la même que celle de k .

d) $L_k(-1) = L_k(1)$ si k pair et $L_k(-1) = -L_k(1)$ si k impair .

2) a) $V_{p,q} = ((X^2-1)^p)^{(q)}$, or 1 et -1 sont des racine de $(X^2 -$
multiplicité p, donc pour $q < p$ alors $((X^2-1)^p)^q(1) = V_p$
de même $V_{p,q}(-1) = 0$.

b) Si $q > 2p$, on est dans la situation où l'ordre de la dérivée
le degré donc $V_{p,q} = 0$.

c) En effectuant la première intégration par partie on a que $\forall$(
$\mathbb{N}^2$ tel que :$p \neq q$ en supposant par exemple $p > q$; $(U_p$
$\int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^p\right)^{(p)} \left((t^2-1)^q\right)^{(q)} dt =$
$\left[\left((t^2-1)^p\right)^{(p-1)} \left((t^2-1)^q\right]^{(q)}\right]_{t=-1}^{t=1} - \int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^p\right)^{(p-1)} \left((t^2 -\right.$
$= 0 - \int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^p\right)^{(p-1)} \left((t^2-1)^q\right)^{(q+1)} dt = -\int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^{p}\right.$

car $\left((t^2-1)^p\right)^{(p-1)}(t=1) = \left((t^2-1)^p\right)^{(p-1)}(t=-1) = 0$.
En En effectuant une deuxième intégration par partie on aura $(U_p|U_q) = \int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^p\right)^{(p-2)} \left((t^2-1)^q\right)^{(q+2)} dt$, et ainsi de suite jusqu'à avoir $(U_p|U_q) = (-1)^p \int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^p\right)^{(0)} \left((t^2-1)^q\right)^{(q+p)} dt = 0$ car $\left((t^2-1)^q\right)^{(q+p)} = 0$ puisque l'ordre de dérivée qui est ici $q+p$ dépasse le degré qui est ici $2q$, notez bien qu'on a supposé au départ $p > q$, le raisonnement sera pareil si l'on suppose $q > p$.

3) On déduit de ce qui précède que pour tout $k \in \mathbb{N}$, la famille $(U_0, U_1, \ldots, U_k)$ est une famille orthogonale donc la famille $(L_0, L_1, \ldots, L_k)$ est une famille orthogonale or $\forall\, 0 \leq p \leq k; \deg L_p = p \leq k$, donc c'est une famille orthogonale de E_k, tous ses éléments sont non nuls donc est libre et comme sont cardinal est $k+1 = \dim E_k$ alors c'est une base orthogonale de E_k.

4) a) Soit $n \in \mathbb{N}$, $n \geq 2$; $k \in \{0, 1, \ldots, n-2\}$, on a : $(XL_n|L_k) = \int_{-1}^{1} tL_n(t)L_k(t)dt = \frac{1}{2^n n! 2^k k!} \int_{-1}^{1} t\left((t^2-1)^n\right)^{(n)} \left((t^2-1)^k\right)^{(k)}(t)dt$
$= \frac{1}{2^n n! 2^k k!} \int_{-1}^{1} \left((t^2-1)^n\right)^{(n)} t\left((t^2-1)^k\right)^{(k)}(t)dt = (L_n|XL_k)$.
Or L_n est orthogonal à tous les $(L_i)_{0\leq i\leq n-1}$ qui forment une base de E_{n-1} donc sera orthogonal à tout élément de XL_k qui est un polynôme de degré $k+1 \leq n-1$, d'où $(XL_n|L_k) = 0$.

b) D'aprés les questions précédentes L_{n+1}, L_n, L_{n-1} est une base de l'orthogonal de E_{n-2} dans E_{n+1}, et d'aprés la question précédente XL_n est un élément de E_{n+1} orthogonal à tous les $(L_k)_{0\leq k\leq n-2}$ qui forment une base de E_{n-2}, donc XL_n est un élément de l'orthogonal de E_{n-2} dans E_{n+1} et va alors s'écrire comme combinaison linéaire de L_{n+1}, L_n, L_{n-1}.
Soit $(a,b,c) \in \mathbb{R}^3$ tel que : $XL_n = aL_{n+1} + bL_n + cL_{n-1}$, d'autre part $\deg L_k = k$ donc $a \neq 0$ et alors $L_{n+1} = (\alpha_n X + \beta_n)L_n + \gamma_n L_{n-1}$ avec $(\alpha_n = \frac{1}{a}, \beta_n = -\frac{b}{a}, \gamma_n = -\frac{c}{a}) \in \mathbb{R}^3$

5) a) $\forall n \in \mathbb{N}\quad (X^2-1)W_n' = (X^2-1)(X^2-1)^{n'} = (X^2-1)2nX(X^2-1)^{n-1} = 2nXW_n$.

b) En dérivant $(n+1)$-fois l'expression précèdente, on
aprés avoir utilisé la formule de Leibniz : $((X^2-1)W_n')$
$2n\,(XW_n)^{n+1}$ qui devient
$\sum_{p=0}^{n+1} \mathcal{C}_{n+1}^p (X^2-1)^{(p)} (W_n')^{(n+1-p)} = 2n \sum_{p=0}^{n+1} \mathcal{C}_{n+1}^p X^{(p)} W_n^{(n+1-p)}$, o
$1)^{(p)} = 0$ pour $p \geq 3$ et $X^{(p)} = 0$ pour $p \geq 2$, on obtient donc
$W_n^{(n+2)} + (n+1)2XW_n^{(n+1)} + n(n+1)W_n^{(n)} = 2nXW_n^{(n+1)} +$
$1)W_n^{(n)}$ ou bien $\Phi_n(W_n) = (X^2-1)W_n^{(n)''} + (n+1)2XW$
$n(n+1)W_n^{(n)} = 2nXW_n^{(n)'} + 2n(n+1)W_n^{(n)}$, ou encore $\Phi_n($
$(X^2-1)W_n^{(n)''} + 2XW_n^{(n)'} = n(n+1)W_n^{(n)}$ or par définition
$W_n^{(n)} = n!2^n L_n$ et comme Φ_n est linéaire alors : $\Phi_n(L_n) = n(n$

c) D'aprés la question 4.a il existe un unique polynôme unitaire
que :
$\Phi_n(P_n) = n(n+1)P_n$, et d'aprés la question précédente $\frac{L}{\text{co}(}$
aussi un polynôme unitaire tel que : $\Phi_n\left(\frac{L_n}{\text{co}(L_n)}\right) = n(n+1)$
donc $P_n = \frac{L_n}{\text{co}(L_n)}$ et on peut en conclure que pour tout
il existe $a_n \in \mathbb{R}^*$ tel que $L_n = a_n P_n$, avec $a_n = \text{co}($
$L_n = \frac{1}{2^n n!}\left((X^2-1)^n\right)^{(n)}$, donc :
$a_n = \text{co}(L_n) = \frac{1}{2^n n!} \times$coefficient de $(X^{2n})^{(n)} = \frac{1}{2^n n!}$ (2
$\frac{(2n)!}{2^n (n!)^2}$.

6) a) $\forall k \in \mathbb{N}$ on a $(X|L_kL_k') = \int_{-1}^{1} tL_k(t)L_k'(t)dt = \frac{1}{2}\left[tL_k^2(t)\right]$
$\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} L_k^2(t)dt$
$= 1 - \frac{1}{2}\|L_k\|^2$ car $L_k(1) = 1, L_k(-1) = \mp 1$.

b) Soit $k \geq 1$, $\deg L_k = k$, posons $L_k = a_kX^k + \ldots + a$
$XL_k' = ka_kX^k + \ldots + a_1X, kL_k = ka_kX^k + \ldots + ka_0$, en

la différence on obtient que : $XL_k' - kL_k$ est un polynôme de degré $\leq k-1$, c'est à dire $XL_k' - kL_k \in E_{k-1}$.
D'autre part L_k est orthogonal à tout polynôme de degré $\leq k-1$, en particulier à $XL_k' - kL_k$, donc $(XL_k' - kL_k|L_k) = 0$ ou bien $(XL_k'|L_k) = k(L_k|L_k) = k\|L_k\|^2$, mais ceci pour $k \geq 1$, pour $k=0$ l'égalité est triviale puisque L_0 est un polynôme constant. Donc on conclut que : $\forall k \in \mathbb{N}, (XL_k'|L_k) = k\|L_k\|^2$.

c) Pour tout $k \in \mathbb{N}$, on a : $\|L_k\|^2 = \frac{1}{k}(XL_k'|L_k) = \frac{1}{k}\int_{-1}^1 tL_k'(t)L_k(t)dt = \frac{1}{k}\int_{-1}^1 tL_k(t)L_k'(t)dt = \frac{1}{k}(X|L_kL_k') = \frac{1}{k}\left(1 - \frac{1}{2}\|L_k\|^2\right)$, ce qui donne $(2k+1)\|L_k\|^2 = 2$, d'où $\|L_k\|^2 = \sqrt{\frac{2}{2k+1}}$.

d) D'aprés la question 5.5. L_k est un polynôme de degré k de coefficient dominant $\frac{(2k)!}{2^k(k!)^2}$, donc $(k+1)L_{k+1} = (k+1)\frac{(2k+2)!}{2^{k+1}(k+1)!^2}X^{k+1} + \ldots + \alpha_0 = (k+1)2(k+1)\frac{(2k+1)!}{2^{k+1}(k+1)!^2}X^{k+1} + \ldots + \alpha_0 = \frac{(2k+1)!}{2^k(k)!^2}X^{k+1} + \ldots + \alpha_0$ et $(2k+1)XL_k = (2k+1)\frac{(2k)!}{2^k(k!)^2}X^{k+1} + \ldots + \beta_0 = \frac{(2k+1)!}{2^k(k!)^2}X^{k+1} + \ldots + \beta_0$, en faisant la différence on a bien $(k+1)L_{k+1} - (2k+1)XL_k$ est un polynôme de degré $\leq k$, d'autre part d'aprés la question 4.a XL_k est orthogonal à E_{k-2}, et L_{k+1} aussi, donc $\forall k \in \mathbb{N}^*$, $(k+1)L_{k+1} - (2k+1)XL_k$ est un polynôme de degré $\leq k$, orthogonal à E_{k-2}, et par suite s'écrit sous la forme :
$(k+1)L_{k+1} - (2k+1)XL_k = \alpha L_{k-1} + \beta L_k$ avec $\alpha = \frac{((k+1)L_{k+1} - (2k+1)XL_k|L_{k-1})}{\|L_{k-1}\|^2} = -\frac{(2k+1)}{\|L_{k-1}\|^2}(XL_k|L_{k-1}) = -\frac{(2k+1)}{\|L_{k-1}\|^2}\int_{-1}^1((t^2-1)^k)^{(k)}tL_{k-1}dt$, moyennant des intégration par parties successives où tout les crochets sont nul puisque $\left[((t^2-1)^k)^{(p)}\right]_{t=-1}^{t=1}$ $\forall p < q$ vu que -1 et 1 sont des racines de $(t^2-1)^k)$ de multiplicité k on a : $\alpha = -\frac{(2k+1)}{\|L_{k-1}\|^2}(-1)^k\int_{-1}^1(t^2-1)^k(tL_{k-1})^{(k)}dt$. Or tL_{k-1} est un polynôme de degré k donc $(tL_{k-1})^{(k)} = k!\,\mathrm{co}(tL_{k-1}) = k!\,\mathrm{co}(L_{k-1}) = k!\frac{(2k)!}{2^k(k!)^2}$, donc $\alpha = \frac{(2k+1)}{\|L_{k-1}\|^2}(-1)^{k+1}k!\frac{(2k)!}{2^k(k!)^2}\int_{-1}^1(t^2-1)^kdt$
$= (-1)^{k+1}\frac{(2k+1)!}{2^{k-1}k!(2k-1)}I_k$ où $I_k = \int_{-1}^1(t^2-1)^kdt$, dit intégrale de Wallis, on montre par récurrence que : $(-1)^{k+1}\frac{(2k+1)!}{2^{k-1}k!(2k-1)}I_k = (2k+1)$.
De même $\beta = \frac{((k+1)L_{k+1} - (2k+1)XL_k|L_k)}{\|L_k\|^2} = -\frac{(2k+1)XL_k|L_k)}{\|L_k\|^2} = -\frac{1}{\|L_k\|^2}\int_{-1}^1 tL_k^2(t)dt = 0$ car la fonction $t \mapsto tL_k^2(t)$ est i sur $[-1,1]$ donc son intégrale est nulle, donc on conclut $\forall k \in \mathbb{N}, (k+1)L_{k+1} = (2k+1)XL_k - kL_{k-1}$.

3

$3^{\text{éme}}$ Partie

1) a) Pour tout $Q \in E_n$, $Q_n(t)Q(t)$ est un polynôme de degré in à $2n+1$ car $\deg Q \leq n; \deg Q_n = n+1$, or la métho d'ordre $2n+1$ donc $\mathcal{E}(QQ_n) = 0$ c'est à dire : $\int_{-1}^1 Q_n(t)Q($
$\sum_{i=0}^n \lambda_i Q_n(x_i)Q(x_i) = 0$ car les x_i sont des racines de Q_n.

b) D'aprés la question précédente $\dfrac{Q_n}{\|Q_n\|}$ est un polynôme de deg orthogonal à E_n, or l'orthogonal de E_n dans E_{n+1} est de dim 1, et R_{n+1} est aussi un polynôme de degré $n+1$ orthogona donc $\dfrac{Q_n}{\|Q_n\|}$ et R_{n+1} sont proportionnels, comme ils sont u les deux alors $\dfrac{Q_n}{\|Q_n\|} = \pm R_{n+1}$.
On peut alors dire de $x_0, x_1, \ldots, x_n$ sont les racines de R_{n+1}.

c) Pour tout $k \in \{0, 1, \ldots, n-2\}$, $\mathcal{L}_k$ est un polynôme de inférieur à n, or la méthode est d'ordre $2n+1$ donc $\mathcal{E}(\mathcal{L}$
c'est à dire : $\int_{-1}^1 \mathcal{L}_k dt = \sum_{i=0}^n \lambda_i \mathcal{L}_k(t)(x_i) = \lambda_k$, car $\mathcal{L}_k(x_i)$
$i \neq k$ et $\mathcal{L}_k(x_k) = 1$.
En effet $Q_n(X) = \prod_{i=0}^n (X - x_i)$, donc $Q_n'(X) = \sum_{i=0}^n \prod_{j \neq i}(X - x$
$Q_n'(x_k) = \prod_{j \neq k}^n (x_k - x_j) = \left(\dfrac{Q_n(X)}{X - x_k}\right)(X = x_k)$, d'où $\mathcal{L}_k(x$
Ainsi $\lambda_k = \int_{-1}^1 \mathcal{L}_k(t)dt$.

Rappel : Si $f_0, f_1, \dots, f_n$ sont des fonctions dérivables alors $\prod_{i=0}^{n} f_i$ est aussi dérivable, avec : $\left(\prod_{i=0}^{n} f_i\right)' = \sum_{i=0}^{n} f_i' \prod_{j\neq i}^{n} f_j$.

d) Pour tout $k \in \{0, 1, \dots, n-2\}$, $\mathcal{L}_k^2$ est un polynôme de degré inférieur à $2n$, or la méthode est d'ordre $2n+1$ donc $\mathcal{E}(\mathcal{L}_k^2) = 0$ c'est à dire : $\int_{-1}^{1} \mathcal{L}_k^2 dt = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i \mathcal{L}_k^2(t)(x_i) = \lambda_k$, car $\mathcal{L}_k(x_i) = 0$ si $i \neq k$ et $\mathcal{L}_k(x_k) = 1$.

2) a) Pour tout $Q \in E_n$, posons $P = Q - \sum_{i=0}^{n} Q(x_i)\mathcal{L}_i$, on a : $\forall k \in \{0, 1 \dots, n\}$

$P(x_k) = Q(x_k) - \sum_{i=0}^{n} Q(x_i)\mathcal{L}_i(x_k) = 0$ car $\mathcal{L}_k(x_i) = 0$ si $i \neq k$ et $\mathcal{L}_k(x_k) = 1$, ainsi P est alors un polynôme de degré inférieur à n qui admet $n+1$ racines distinctes, donc nul, d'où $Q = \sum_{i=0}^{n} Q(x_i)\mathcal{L}_i$.

b) Pour tout $Q \in E_n$, $\int_{-1}^{1} Q(t)dt = \int_{-1}^{1} \sum_{i=0}^{n} Q(x_i)\mathcal{L}_i(t)dt = \sum_{i=0}^{n} Q(x_i) \int_{-1}^{1} \mathcal{L}_i(t)dt = \sum_{i=0}^{n} Q(x_i)\lambda_i$, donc $\mathcal{E}(Q) = 0$, d'où la méthode est exacte pour les polynômes de degré $\leq n$.

c) - $x_0, x_1, \dots, x_n$ sont les $n+1$ racines distinctes de Q_n R_{n+1}, tous deux polynômes de degré $n+1$, donc sont prop tionnels, (utiliser la décompostion en facteur irréducti d'un polynôme).
Or R_{n+1} est orthogonal à tous les polynômes de de inférieur à n, donc Q_n aussi, d'où $\int_{-1}^{1} Q_n(t)Q(t)dt = 0$.

- On a donc $\int_{-1}^{1} P(t)dt = \int_{-1}^{1} Q_n(t)Q(t)dt + \int_{-1}^{1} R(t)dt$ $\int_{-1}^{1} R(t)dt = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i R(x_i)$, parceque R est un polynôme degré inférieur à n, et la méthode est exacte pour les p lynômes de degré $\leq n$, or $P(x_i) = Q_n(xi)Q(x_i) + R(x_i)$ $R(x_i)$, donc $\int_{-1}^{1} P(t)dt = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i P(x_i)$, d'où $\mathcal{E}(P) = 0$.

d) Conclusion directe de la question précèdente.

$\boxed{\text{Fin.}}$