

Variante I-C

Les 44 fonctions de base de l'élément générique élargi

Elément de référence

- Fonctions réciproques de α_j , $i=1,2,3,4$, notées $\text{inv}\alpha[i]$

Thèse p. 50

$$\text{inv}\alpha[1][\{x_, y_, z_\}] := \{x, y, z\}$$

$$\text{inv}\alpha[2][\{x_, y_, z_\}] := \{y, z, 1 - x - y - z\}$$

$$\text{inv}\alpha[3][\{x_, y_, z_\}] := \{z, 1 - x - y - z, x\}$$

$$\text{inv}\alpha[4][\{x_, y_, z_\}] := \{1 - x - y - z, x, y\}$$

- Fonctions réciproques de ϕ_i , $i=1,2,3,4$, notées $\text{inv}\phi[i]$

Thèse p. 50

$$\text{inv}\phi[1][\{vx_, vy_, vz_\}] := \{vx, vy, vz\}$$

$$\text{inv}\phi[2][\{vx_, vy_, vz_\}] := \{vy, vz, -vx - vy - vz\}$$

$$\text{inv}\phi[3][\{vx_, vy_, vz_\}] := \{vz, -vx - vy - vz, vx\}$$

$$\text{inv}\phi[4][\{vx_, vy_, vz_\}] := \{-vx - vy - vz, vx, vy\}$$

- Polynômes de référence

Thèse p. 56-57, fonctions $\text{pt}(i,j)$

Thèse, p. 131- 134, subroutine UT44(16,...), fonctions 1 à 16

$$\text{pt}[1, 0][\{x_, y_, z_\}] := (1 - x - y - z) (1 + x + y + z - 2 (x^2 + y^2 + z^2 + x y + y z + z x))$$

$$\text{pt}[1, 1][\{x_, y_, z_\}] := x (1 - x - y - z) \left(1 - x - \frac{1}{2} (y + z) \right)$$

$$\text{pt}[1, 2][\{x_, y_, z_\}] := \text{pt}[1, 1][\{y, z, x\}]$$

$$\text{pt}[1, 3][\{x_, y_, z_\}] := \text{pt}[1, 1][\{z, x, y\}]$$

$$\text{pt}[i_, j_][\{x_, y_, z_\}] := \text{pt}[1, j][\text{inv}\alpha[i][\{x, y, z\}]]$$

$$\text{Do}[\text{Do}[\text{ut}[4 i + j - 3] = \text{pt}[i, j], \{j, 0, 3\}], \{i, 1, 4\}]$$

- Polynômes par morceaux, de référence

Thèse p. 75-76, fonctions $w(i,j)$

Thèse, p. 131- 134, subroutine UT44(28,...), fonctions 17 à 28

$$\text{wt}[1, 1][\{x_, y_, z_\}] /; x \geq y \ \&\& \ z \geq y := y^2 \left(z - \frac{1}{3} y \right)$$

```

wt[1, 1][{x_, y_, z_} /; x ≥ z && y ≥ z] := z2 (y -  $\frac{1}{3}$  z)

wt[1, 1][{x_, y_, z_}] := x (  $\frac{2}{3}$  x2 - x y - x z + 2 y z )

wt[1, 2][{x_, y_, z_}] := wt[1, 1][{y, z, x}]

wt[1, 3][{x_, y_, z_}] := wt[1, 1][{z, x, y}]

wt[i_ /; i ≥ 2, j_][{x_, y_, z_}] := wt[1, j][inva[i][{x, y, z}]]

Do[Do[ut[3 i + j + 13] = wt[i, j], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}]

```

- Thèse p. 77 à 79, fonctions de référence numéros 29 à 32
Thèse, p. 131- 134, subroutine UT44(32,...), fonctions 29 à 32

```

a3[{x_, y_, z_}] := 3 x2 (1 - x - y - z)

b3[{x_, y_, z_}] := 2  $\frac{x^2 (1 - x - y - z)^2 (y + z - 2 x)}{(1 - 3 x) (y + z - x)}$ 

γ[{x_, y_, z_}] :=  $\frac{2}{(1 - 3 x) (y + z - x)} \left( (8 x + 2 y + 2 z - 5) - x (1 - x - y - z) \left( \frac{3}{1 - 3 x} + \frac{2}{y + z - x} \right) \right)$ 

c1[{x_, y_, z_}] := -  $\frac{x^2 (z - x)^2 (1 - x - y - z)^2}{y (1 - 2 x - z) (y + z - 2 x)} \frac{y - x}{2} \gamma[{x, y, z}]$ 

c2[{x_, y_, z_}] := -  $\frac{x^2 (y - x)^2 (1 - x - y - z)^2}{z (1 - 2 x - y) (y + z - 2 x)} \frac{z - x}{2} \gamma[{x, y, z}]$ 

st10[{x_, y_, z_} /; x == y == z] := 3 x2 (1 - x - y - z)

st10[{x_, y_, z_}] := a3[{x, y, z}] + b3[{x, y, z}] + c1[{x, y, z}] + c2[{x, y, z}]

rt[1, 0][{x_, y_, z_} /; y ≥ x && z ≥ x] := st10[{x, y, z}]

rt[1, 0][{x_, y_, z_} /; x ≥ y && z ≥ y] := st10[{y, x, z}]

rt[1, 0][{x_, y_, z_} /; x ≥ z && y ≥ z] := st10[{z, y, x}]

rt[2, 0][{x_, y_, z_}] := rt[1, 0][inva[2][{x, y, z}]]

rt[3, 0][{x_, y_, z_}] := rt[1, 0][inva[3][{x, y, z}]]

rt[4, 0][{x_, y_, z_}] := rt[1, 0][inva[4][{x, y, z}]]

ut[29] = rt[1, 0];
ut[30] = rt[2, 0];
ut[31] = rt[3, 0];
ut[32] = rt[4, 0];

```

- Thèse p. 80-81, fonctions de référence 33 à 44
Thèse, p. 131- 134, subroutine UT44(44,...), fonctions 33 à 44

```

a4[{x_, y_, z_}] :=  $\frac{4 x^2 (z - x)^2 (1 - x - y - z)}{(1 - y - z) (1 - 2 x - y)}$ 

β[{x_, y_, z_}] :=  $\frac{1}{(1 - x - z) (1 - 3 x)} \left( 4 x - 2 z + x (z - x) \left( \frac{1}{1 - x - z} - \frac{1}{1 - 3 x} \right) \right)$ 

```

```

b4[{x_, y_, z_}] := -  $\frac{2 x^2 (z-x)^2 (1-x-y-z)^2 (y-x)}{y (y+z-2x) (1-2x-z)}$   $\beta[\{x, y, z\}]$ 
st13[{x_, y_, z_} /; x == y == z] := 0
st13[{x_, y_, z_}] := a4[{x, y, z}] + b4[{x, y, z}]
rt[1, 3][{x_, y_, z_} /; y ≥ x && z ≥ x] := st13[{x, y, z}]
rt[1, 3][{x_, y_, z_} /; x ≥ y && z ≥ y] := st13[{y, x, z}]
rt[1, 3][{x_, y_, z_} /; x ≥ z && y ≥ z] := 0
rt[1, 1][{x_, y_, z_}] := rt[1, 3][{y, z, x}]
rt[1, 2][{x_, y_, z_}] := rt[1, 3][{z, x, y}]
rt[i_ /; i ≥ 2, j_][{x_, y_, z_}] := rt[1, j][inva[i][{x, y, z}]]
Do[Do[ut[3 i + j + 29] = rt[i, j], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}]

```

■ Dérivées des fonctions de référence, bloc 1, fonctions 1 à 16, dans la direction $t = (t_1, t_2, t_3)$

```

dut[m_ /; m ≤ 16][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
{t1, t2, t3}. (D[ut[m][{xv, yv, zv}], {{xv, yv, zv}}] /. {xv → x, yv → y, zv → z})

```

■ Dérivées des fonctions de référence, bloc 2, fonctions 17 à 28

```

dwt[1, 1][{t1_, t2_, t3_}, {xv_, yv_, zv_} /; xv ≥ yv && zv ≥ yv] :=
{t1, t2, t3}. (D[y^2 (z -  $\frac{1}{3}$  y), {{x, y, z}}] /. {x → xv, y → yv, z → zv})
dwt[1, 1][{t1_, t2_, t3_}, {xv_, yv_, zv_} /; xv ≥ zv && yv ≥ zv] :=
{t1, t2, t3}. (D[z^2 (y -  $\frac{1}{3}$  z), {{x, y, z}}] /. {x → xv, y → yv, z → zv})
dwt[1, 1][{t1_, t2_, t3_}, {xv_, yv_, zv_}] :=
{t1, t2, t3}. (D[x (  $\frac{2}{3}$  x^2 - x y - x z + 2 y z ), {{x, y, z}}] /. {x → xv, y → yv, z → zv})
dwt[1, 2][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] := dwt[1, 1][{t2, t3, t1}, {y, z, x}]
dwt[1, 3][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] := dwt[1, 1][{t3, t1, t2}, {z, x, y}]
dwt[i_ /; i ≥ 2, j_][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
dwt[1, j][invφ[i][{t1, t2, t3}], inva[i][{x, y, z}]]
Do[Do[dut[3 i + j + 13] = dwt[i, j], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}]

```

■ Dérivées des fonctions de référence, bloc 3, fonctions 29 à 32

```

dst10[{t1_, t2_, t3_}, {xv_, yv_, zv_}] :=
{t1, t2, t3}. (D[a3[{x, y, z}] + b3[{x, y, z}] + c1[{x, y, z}] + c2[{x, y, z}], {{x, y, z}}] /.
{x → xv, y → yv, z → zv});
Limit[Limit[dst10[{t1, t2, t3}, {x, y, z}], y → x], z → x]
-(t1 + t2 + t3) x (-2 + 9 x)
dst10[{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x == y == z] := (t1 + t2 + t3) x (3 (1 - x - y - z) - 1)
drt[1, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; y ≥ x && z ≥ x] := dst10[{t1, t2, t3}, {x, y, z}]

```

```

drt[1, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x ≥ y && z ≥ y] := dst10[{t2, t1, t3}, {y, x, z}]
drt[1, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x ≥ z && y ≥ z] := dst10[{t3, t2, t1}, {z, y, x}]

drt[2, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
  drt[1, 0][invφ[2][{t1, t2, t3}], invα[2][{x, y, z}]]

drt[3, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
  drt[1, 0][invφ[3][{t1, t2, t3}], invα[3][{x, y, z}]]

drt[4, 0][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
  drt[1, 0][invφ[4][{t1, t2, t3}], invα[4][{x, y, z}]]

dut[29] = drt[1, 0];
dut[30] = drt[2, 0];
dut[31] = drt[3, 0];
dut[32] = drt[4, 0];

```

■ Dérivées des fonctions de référence, bloc 4, fonctions 33 à 44

```

dst13[{t1_, t2_, t3_}, {xv_, yv_, zv_}] :=
  {t1, t2, t3}.D[a4[{x, y, z}] + b4[{x, y, z}], {{x, y, z}}] /. {x → xv, y → yv, z → zv}

Limit[Limit[dst13[{t1, t2, t3}, {x, y, z}], y → x], z → x]

0

dst13[{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x == y == z] := 0

drt[1, 3][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; y ≥ x && z ≥ x] := dst13[{t1, t2, t3}, {x, y, z}]
drt[1, 3][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x ≥ y && z ≥ y] := dst13[{t2, t1, t3}, {y, x, z}]
drt[1, 3][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_} /; x ≥ z && y ≥ z] := 0

drt[1, 1][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] := drt[1, 3][{t2, t3, t1}, {y, z, x}]
drt[1, 2][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] := drt[1, 3][{t3, t1, t2}, {z, x, y}]

drt[i_ /; i ≥ 2, j_][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
  drt[1, j][invφ[i][{t1, t2, t3}], invα[i][{x, y, z}]]

Do[Do[dut[3 i + j + 29] = drt[i, j], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}]

```

Elément générique élargi, à 44 paramètres

■ Fonction L, thèse p. 53.

ℓ = partie linéaire de L; invL = fonction réciproque de L

$$\ell = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & x_3 - x_1 & x_4 - x_1 \\ y_2 - y_1 & y_3 - y_1 & y_4 - y_1 \\ z_2 - z_1 & z_3 - z_1 & z_4 - z_1 \end{pmatrix};$$

$L[\{x_, y_, z_}] := \ell \cdot \{x, y, z\} + \{x_1, y_1, z_1\}$

$\text{invL}[\{x_, y_, z_}] := \text{Inverse}[\ell] \cdot \{x - x_1, y - y_1, z - z_1\}$

- **Directions normales déplacées $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$**

- Thèse p. 58**

$v_i = \ell^{-1}(m_i)$ = direction normale déplacée = vecteur normal m_i à la i-ème face transporté sur la i-ème face du tétraèdre de référence.

$\mu_i = \phi_i^{-1}(v_i)$ = direction normale déplacée = vecteur normal m_i à la i-ème face transporté sur la 1-ère face du tétraèdre de référence.

```

a[1] = {x1, y1, z1};
a[2] = {x2, y2, z2};
a[3] = {x3, y3, z3};
a[4] = {x4, y4, z4};

m[1] = (a[3] - a[2]) × (a[4] - a[2]);
v[1] = Inverse[l].m[1];
μ[1] = invφ[1][v[1]];
μ[1] = N[μ[1] / (μ[1][[1]] + μ[1][[2]] + μ[1][[3]])];

m[2] = (a[4] - a[3]) × (a[1] - a[3]);
v[2] = Inverse[l].m[2];
μ[2] = invφ[2][v[2]];
μ[2] = N[μ[2] / (μ[2][[1]] + μ[2][[2]] + μ[2][[3]])];

m[3] = (a[1] - a[4]) × (a[2] - a[4]);
v[3] = Inverse[l].m[3];
μ[3] = invφ[3][v[3]];
μ[3] = N[μ[3] / (μ[3][[1]] + μ[3][[2]] + μ[3][[3]])];

m[4] = (a[2] - a[1]) × (a[3] - a[1]);
v[4] = Inverse[l].m[4];
μ[4] = invφ[4][v[4]];
μ[4] = N[μ[4] / (μ[4][[1]] + μ[4][[2]] + μ[4][[3]])];

```

- **Thèse p. 86, fonctions de base**

- Thèse p. 141-142, subroutine U44**

```
u[n_][{x_, y_, z_}] := ut[n][invL[{x, y, z}]]
```

- **Thèse p. 86, dérivées des fonctions de bas**

- Thèse p. 141-142, subroutine U44**

- **TEST 6**

- base d'interpolation, p. 65, comparer à DU28(28,...), FONCTIONS 1 A 28, p. 112**

```

du[k_Integer][{t1_, t2_, t3_}, {x_, y_, z_}] :=
  dut[k][Inverse[l].{t1, t2, t3}, invL[{x, y, z}]]

```

Tests numériques

Les valeurs numériques calculées ci - dessous ont été comparées avec succès aux valeurs numériques correspondantes calculées avec le programme FORTRAN de la thèse.

■ Élément de référence, valeurs

```
nuage = {{0.1, 0.2, 0.3}, {0.3, 0.1, 0.2}, {0.2, 0.3, 0.1},
         {0.3, 0.3, 0.3}, {0.06, 0.3, 0.3}, {0.3, 0.06, 0.3}, {0.3, 0.3, 0.06}};
```

Bloc 1

```
Flatten[Table[Table[Table[ut[4 i + j - 3][nuage[[k]]], {j, 0, 3}], {i, 1, 4}],
        {k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0.44	0.026	0.048	0.066
0.08	0.009	0.012	0.014
0.18	0.027	0.032	0.011
0.3	0.054	0.018	0.033
0.44	0.066	0.026	0.048
0.3	0.018	0.033	0.054
0.08	0.009	0.014	0.012
0.18	0.032	0.027	0.011
0.44	0.048	0.066	0.026
0.18	0.027	0.011	0.032
0.3	0.018	0.054	0.033
0.08	0.014	0.009	0.012
0.082	0.012	0.012	0.012
0.306	0.045	0.045	0.018
0.306	0.045	0.018	0.045
0.306	0.018	0.045	0.045
0.353872	0.013056	0.05304	0.05304
0.045648	0.00684	0.00684	0.007344
0.30024	0.045	0.04896	0.01116
0.30024	0.04896	0.01116	0.045
0.353872	0.05304	0.013056	0.05304
0.30024	0.01116	0.045	0.04896
0.045648	0.00684	0.007344	0.00684
0.30024	0.04896	0.045	0.01116
0.353872	0.05304	0.05304	0.013056
0.30024	0.045	0.01116	0.04896
0.30024	0.01116	0.04896	0.045
0.045648	0.007344	0.00684	0.00684

Bloc 2

```
Flatten[Table[Table[Table[ut[3 i + j + 13][nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0.00766667	0.00266667	0.00166667
0.02533333	0.01333333	0.00933333
0.00366667	0.00266667	0.0176667
0.00166667	0.0106667	0.00366667
0.00166667	0.00766667	0.00266667
0.0106667	0.00366667	0.00166667
0.02533333	0.00933333	0.01333333
0.00266667	0.00366667	0.0176667
0.00266667	0.00166667	0.00766667
0.00366667	0.0176667	0.00266667
0.0106667	0.00166667	0.00366667
0.00933333	0.02533333	0.01333333
0.018	0.018	0.018
0.00266667	0.00266667	0.0126667
0.00266667	0.0126667	0.00266667
0.0126667	0.00266667	0.00266667
0.008784	0.001008	0.001008
0.0216	0.0216	0.018
0.001152	0.001008	0.01008
0.001008	0.01008	0.001152
0.001008	0.008784	0.001008
0.01008	0.001152	0.001008
0.0216	0.018	0.0216
0.001008	0.001152	0.01008
0.001008	0.001008	0.008784
0.001152	0.01008	0.001008
0.01008	0.001008	0.001152
0.018	0.0216	0.0216

Bloc 3, fonctions numéros 29 à 32

```
Table[Table[ut[28 + i][nuage[[k]]], {i, 1, 4}], {k, 1, Length[nuage]}] // TableForm
```

0.0189055	0.0144389	0.00813333	0.0136676
0.0189055	0.0136676	0.0144389	0.00813333
0.0189055	0.00813333	0.0136676	0.0144389
0.027	0.0132847	0.0132847	0.0132847
0.00565388	0.0169624	0.00482183	0.00482183
0.00565388	0.00482183	0.0169624	0.00482183
0.00565388	0.00482183	0.00482183	0.0169624

Bloc 4, fonctions 33 à 44

```
Flatten[Table[Table[Table[ut[29 + 3 i + j][nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0	0.00064	0.00233167
0	0.00262444	0.00711111
0.00271129	0.00506253	0
0.00505378	0	0.00075
0.00233167	0	0.00064
0	0.00075	0.00505378
0	0.00711111	0.00262444
0.00506253	0.00271129	0
0.00064	0.00233167	0
0.00271129	0	0.00506253
0	0.00505378	0.00075
0.00711111	0	0.00262444
0	0	0
0.00251156	0.00251156	0
0.00251156	0	0.00251156
0	0.00251156	0.00251156
0	0.00130876	0.00130876
0.	0.	0.00096
0.00134895	0.0017493	0
0.0017493	0	0.00134895
0.00130876	0	0.00130876
0	0.00134895	0.0017493
0.	0.00096	0.
0.0017493	0.00134895	0
0.00130876	0.00130876	0
0.00134895	0	0.0017493
0	0.0017493	0.00134895
0.00096	0.	0.

■ Élément de référence, dérivée directionnelle

Bloc 1, fonctions 1 à 16


```
Flatten[Table[Table[dut[4 i + j - 3][{1, 0, 0}], nuage[[k]]], {i, 1, 4}, {j, 0, 3}],
{k, 1, Length[nuage]}, 1] // TableForm
```

-1.26	0.155	-0.16	-0.225
0.96	0.1	0.135	0.145
0.12	0.	-0.04	0.1
0.18	-0.075	0.165	0.
-1.42	-0.065	-0.085	-0.16
1.36	0.075	0.14	0.165
0.02	0.	-0.015	0.025
0.04	-0.04	0.06	0.
-1.34	0.04	-0.225	-0.085
1.18	0.165	0.065	0.16
0.12	0.	-0.075	0.135
0.04	-0.015	0.035	0.
-0.96	-0.11	-0.135	-0.135
1.2	0.195	0.195	-0.09
-0.12	0.	-0.165	0.105
-0.12	-0.165	0.105	0.
-1.1904	0.1588	-0.207	-0.207
0.8544	0.123	0.123	0.1212
0.168	0.	-0.093	0.177
0.168	-0.093	0.177	0.
-1.3536	-0.0812	-0.0486	-0.207
1.3248	0.0462	0.195	0.1212
0.0048	0.	-0.0114	0.0138
0.024	-0.093	0.105	0.
-1.3536	-0.0812	-0.207	-0.0486
1.3248	0.195	0.0462	0.1212
0.024	0.	-0.093	0.105
0.0048	-0.0114	0.0138	0.

```
Flatten[Table[Table[dut[4 i + j - 3][{0, 1, 0}], nuage[[k]]], {i, 1, 4}, {j, 0, 3}],
{k, 1, Length[nuage]}, 1] // TableForm
```

-1.34	-0.085	0.04	-0.225
0.04	0.035	0.	-0.015
1.18	0.165	0.16	0.065
0.12	-0.075	0.	0.135
-1.26	-0.225	0.155	-0.16
0.18	0.165	0.	-0.075
0.96	0.1	0.145	0.135
0.12	-0.04	0.	0.1
-1.42	-0.16	-0.065	-0.085
0.04	0.06	0.	-0.04
1.36	0.075	0.165	0.14
0.02	-0.015	0.	0.025
-0.96	-0.135	-0.11	-0.135
-0.12	0.105	0.	-0.165
1.2	0.195	-0.09	0.195
-0.12	-0.165	0.	0.105
-1.3536	-0.0486	-0.0812	-0.207
0.0048	0.0138	0.	-0.0114
1.3248	0.195	0.1212	0.0462
0.024	-0.093	0.	0.105
-1.1904	-0.207	0.1588	-0.207
0.168	0.177	0.	-0.093
0.8544	0.123	0.1212	0.123
0.168	-0.093	0.	0.177
-1.3536	-0.207	-0.0812	-0.0486
0.024	0.105	0.	-0.093
1.3248	0.0462	0.1212	0.195
0.0048	-0.0114	0.	0.0138

```
Flatten[Table[Table[dut[4 i + j - 3][{0, 0, 1}], nuage[[k]]], {i, 1, 4}, {j, 0, 3}],
{k, 1, Length[nuage]}, 1] // TableForm
```

-1.42	-0.085	-0.16	-0.065
0.02	0.	0.025	-0.015
0.04	0.06	-0.04	0.
1.36	0.165	0.075	0.14
-1.34	-0.225	-0.085	0.04
0.12	0.	0.135	-0.075
0.04	0.035	-0.015	0.
1.18	0.16	0.165	0.065
-1.26	-0.16	-0.225	0.155
0.12	0.	0.1	-0.04
0.18	0.165	-0.075	0.
0.96	0.145	0.1	0.135
-0.96	-0.135	-0.135	-0.11
-0.12	0.	0.105	-0.165
-0.12	0.105	-0.165	0.
1.2	-0.09	0.195	0.195
-1.3536	-0.0486	-0.207	-0.0812
0.0048	0.	0.0138	-0.0114
0.024	0.105	-0.093	0.
1.3248	0.1212	0.0462	0.195
-1.3536	-0.207	-0.0486	-0.0812
0.024	0.	0.105	-0.093
0.0048	0.0138	-0.0114	0.
1.3248	0.1212	0.195	0.0462
-1.1904	-0.207	-0.207	0.1588
0.168	0.	0.177	-0.093
0.168	0.177	-0.093	0.
0.8544	0.1212	0.123	0.123

Bloc 2, fonctions 17 à 28

```
Flatten[Table[Table[Table[dut[3 i + j + 13][{1, 0, 0}, nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0.04	0.05	0.03
-0.08	-0.04	0.
0.06	0.05	0.07
0.03	0.03	0.06
0.	0.03	0.01
-0.03	-0.01	0.
0.04	0.04	-0.04
0.01	-0.01	0.02
0.	0.01	0.05
-0.01	-0.05	0.
0.04	0.01	-0.01
0.08	-0.04	0.08
0.	0.09	0.09
-0.05	-0.05	-0.08
-0.04	-0.03	-0.05
-0.03	-0.05	-0.04
0.1152	0.0324	0.0324
-0.09	-0.09	0.
0.0336	0.0324	0.102
0.0324	0.102	0.0336
0.	0.0324	0.0036
-0.0324	-0.0036	0.
0.024	0.09	-0.09
0.0036	-0.0036	0.0048
0.	0.0036	0.0324
-0.0036	-0.0324	0.
0.0048	0.0036	-0.0036
0.09	-0.09	0.024

```
Flatten[Table[Table[Table[dut[3 i + j + 13][{0, 1, 0}, nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0.05	0.	0.01
-0.04	0.08	0.08
-0.01	0.	-0.05
0.01	0.04	-0.01
0.03	0.04	0.05
0.03	0.06	0.03
-0.08	0.	-0.04
0.05	0.06	0.07
0.01	0.	0.03
-0.01	0.02	0.01
-0.03	0.	-0.01
0.04	0.04	-0.04
0.09	0.	0.09
-0.05	-0.04	-0.03
-0.05	-0.08	-0.05
-0.03	-0.04	-0.05
0.0324	0.	0.0036
-0.09	0.024	0.09
-0.0036	0.	-0.0324
0.0036	0.0048	-0.0036
0.0324	0.1152	0.0324
0.102	0.0336	0.0324
-0.09	0.	-0.09
0.0324	0.0336	0.102
0.0036	0.	0.0324
-0.0036	0.0048	0.0036
-0.0324	0.	-0.0036
0.09	0.024	-0.09

```
Flatten[Table[Table[Table[dut[3 i + j + 13][{0, 0, 1}, nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0.03	0.01	0.
0.04	-0.04	0.04
-0.01	0.01	0.02
0.	-0.03	-0.01
0.01	0.05	0.
0.04	-0.01	0.01
-0.04	0.08	0.08
0.	-0.01	-0.05
0.05	0.03	0.04
0.06	0.07	0.05
0.03	0.03	0.06
0.	-0.08	-0.04
0.09	0.09	0.
-0.04	-0.05	-0.03
-0.05	-0.03	-0.04
-0.08	-0.05	-0.05
0.0324	0.0036	0.
0.024	-0.09	0.09
-0.0036	0.0036	0.0048
0.	-0.0324	-0.0036
0.0036	0.0324	0.
0.0048	-0.0036	0.0036
-0.09	0.09	0.024
0.	-0.0036	-0.0324
0.0324	0.0324	0.1152
0.0336	0.102	0.0324
0.102	0.0324	0.0336
0.	-0.09	-0.09

Bloc 3, fonctions 29 à 32

```
Table[Table[dut[28 + i][{1, 0, 0}, nuage[[k]]], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}] // TableForm
```

0.296975	0.160777	0.161951	0.259796
-0.0513777	0.0525478	-0.00309722	-0.00255873
-0.0553081	0.0484816	-0.00435077	0.140994
-0.21	-0.206604	-0.261047	-0.261047
0.166173	0.278595	0.160249	0.160249
-0.021422	0.0202097	0.0416304	-0.000780635
-0.021422	0.0202097	-0.000780635	0.0416304

```
Table[Table[dut[28 + i][{0, 1, 0}, nuage[[k]]], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}] // TableForm
```

-0.0553081	0.140994	0.0484816	-0.00435077
0.296975	0.259796	0.160777	0.161951
-0.0513777	-0.00255873	0.0525478	-0.00309722
-0.21	-0.261047	-0.206604	-0.261047
-0.021422	0.0416304	0.0202097	-0.000780635
0.166173	0.160249	0.278595	0.160249
-0.021422	-0.000780635	0.0202097	0.0416304

```

Table[Table[dut[28 + i][{0, 0, 1}], nuage[[k]], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}] // TableForm
-0.0513777 -0.00309722 -0.00255873 0.0525478
-0.0553081 -0.00435077 0.140994 0.0484816
0.296975 0.161951 0.259796 0.160777
-0.21 -0.261047 -0.261047 -0.206604
-0.021422 0.0416304 -0.000780635 0.0202097
-0.021422 -0.000780635 0.0416304 0.0202097
0.166173 0.160249 0.160249 0.278595

```

Bloc 4, fonctions 33 à 44

```

Flatten[Table[Table[Table[dut[29 + 3 i + j][{1, 0, 0}], nuage[[k]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
  {k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
0 2.37432 × 10-6 0.0213959
0 0.00356481 -0.0256481
0.0245122 0.0349667 0
0.0313196 0 -0.000454498
0.0232756 0 0.00096
0 -0.00125 -0.0299942
0 -0.0493519 0.0394848
-0.026144 0.0210117 0
0.0129588 0.00182777 0
-0.0017239 0 -0.0250312
0 -0.0285516 0.0133522
-0.0532407 0 -0.0234226
0 0 0
-0.0248211 -0.0248211 0
-0.0228579 0 -0.00122157
0 -0.00122157 -0.0228579
0 0.0325367 0.0325367
0. 0. -0.0346667
0.0324614 0.0335485 0
0.0335485 0 0.0324614
0.0104444 0 0.000894739
0 -0.00111043 -0.0115154
0. -0.0557333 0.
-0.0106067 0.00943165 0
0.0104444 0.000894739 0
-0.00111043 0 -0.0115154
0 -0.0106067 0.00943165
-0.0557333 0. 0.

```

```
Flatten[Table[Table[Table[dut[29 + 3 i + j][{0, 1, 0}, nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0	0.0129588	0.00182777
0	-0.0234226	-0.0532407
-0.0017239	-0.0250312	0
-0.0285516	0	0.0133522
0.0213959	0	2.37432×10^{-6}
0	-0.000454498	0.0313196
0	-0.0256481	0.00356481
0.0349667	0.0245122	0
0.00096	0.0232756	0
0.0210117	0	-0.026144
0	-0.0299942	-0.00125
-0.0493519	0	0.0394848
0	0	0
-0.00122157	-0.0228579	0
-0.0248211	0	-0.0248211
0	-0.0228579	-0.00122157
0	0.0104444	0.000894739
0.	0.	-0.0557333
-0.00111043	-0.0115154	0
-0.0106067	0	0.00943165
0.0325367	0	0.0325367
0	0.0324614	0.0335485
0.	-0.0346667	0.
0.0335485	0.0324614	0
0.000894739	0.0104444	0
0.00943165	0	-0.0106067
0	-0.0115154	-0.00111043
-0.0557333	0.	0.


```
Flatten[Table[Table[Table[dut[29 + 3 i + j][{0, 0, 1}, nuage[[k]]], {j, 1, 3}], {i, 1, 4}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm
```

0	0.00096	0.0232756
0	0.0394848	-0.0493519
0.0210117	-0.026144	0
-0.0299942	0	-0.00125
0.00182777	0	0.0129588
0	0.0133522	-0.0285516
0	-0.0532407	-0.0234226
-0.0250312	-0.0017239	0
2.37432×10^{-6}	0.0213959	0
0.0245122	0	0.0349667
0	0.0313196	-0.000454498
-0.0256481	0	0.00356481
0	0	0
-0.0228579	-0.00122157	0
-0.00122157	0	-0.0228579
0	-0.0248211	-0.0248211
0	0.000894739	0.0104444
0.	0.	-0.0557333
0.00943165	-0.0106067	0
-0.0115154	0	-0.00111043
0.000894739	0	0.0104444
0	0.00943165	-0.0106067
0.	-0.0557333	0.
-0.0115154	-0.00111043	0
0.0325367	0.0325367	0
0.0324614	0	0.0335485
0	0.0335485	0.0324614
-0.0346667	0.	0.

■ Élément générique, valeurs

x1 = 0; y1 = 0; z1 = 0;

x2 = 5; y2 = 2; z2 = 0;

x3 = 0; y3 = 4; z3 = 1;

x4 = 1; y4 = 0; z4 = 3;

nuage = {{0.1 x1 + 0.2 x2 + 0.3 x3 + 0.4 x4,
0.1 y1 + 0.2 y2 + 0.3 y3 + 0.4 y4 , 0.1 z1 + 0.2 z2 + 0.3 z3 + 0.4 z4}}

{{1.4, 1.6, 1.5}}

Valeurs des 44 fonctions de l'élément générique élargi

```

Flatten[Table[Table[Table[u[4 i + j - 3][nuage[[k]]], {j, 0, 3}], {i, 1, 11}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm

```

0.08	0.009	0.012	0.014
0.18	0.027	0.032	0.011
0.3	0.054	0.018	0.033
0.44	0.026	0.048	0.066
0.02533333	0.01333333	0.009333333	0.003666667
0.002666667	0.01766667	0.001666667	0.01066667
0.003666667	0.007666667	0.002666667	0.001666667
0.0144389	0.008133333	0.01366676	0.0189055
0	0.00262444	0.007111111	0.00271129
0.00506253	0	0.00505378	0
0.00075	0	0.00064	0.00233167

■ Élément générique, dérivée directionnelle

Dérivée directionnelle des 44 fonctions de l'élément générique élargi

```

t = {0.25, 0.35, 0.4};
Flatten[Table[Table[Table[du[4 i + j - 3][t, {1.4, 1.6, 1.5}], {j, 0, 3}], {i, 1, 11}],
{k, 1, Length[nuage]}], 1] // TableForm

```

-0.199468	-0.0200605	-0.0265806	-0.0320444
0.0109839	0.00906048	0.01	-0.0192137
0.0653065	0.0257782	-0.0292258	0.0140847
0.123177	-0.0412621	0.0230645	0.0362379
0.0186452	0.00774194	0.00519355	-0.0136452
-0.00979032	-0.0146774	-0.00603226	-0.0073871
-0.0136452	-0.00480645	-0.00979032	-0.00603226
-0.0300886	-0.0329074	-0.0509494	-0.0678401
0	0.00148622	0.00027397	-0.0036661
-0.00998508	0	-0.00959935	0
0.000380809	0	0.000435725	-0.00274377