

Politiques de maintenance conditionnelle pour des systèmes à composants dépendants

Estelle Deloux

UTT, ICD

6 Novembre 2014



Plan

- 1 Introduction
 - Contexte
 - Objectif des travaux
 - Description du système
- 2 Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique par processus Trivariate Reduction Gamma-Lévy (TRGL)
- 3 Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy
- 4 Conclusions et perspectives



Contexte

Nombreux travaux sur les modèles de maintenance pour des **systèmes mono-composant**

Systèmes multi-composants :

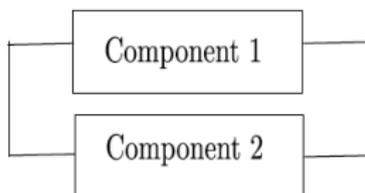
- Modèles proposés avec dépendance stochastique entre les composants → La plupart par des lois de durées de vie
- Politique de maintenance → type "classique"



Objectif des travaux

- Modéliser la dégradation par un processus stochastique multivarié avec dépendance stochastique entre les composants
- Proposer des règles de décision pour grouper les actions de maintenance afin de bénéficier de la dépendance entre les composants

Description du système



- Structure du système: 2 composants en parallèle
- Dégradation de chaque composant: processus Gamma
- Prise en compte des dépendances stochastiques et économiques



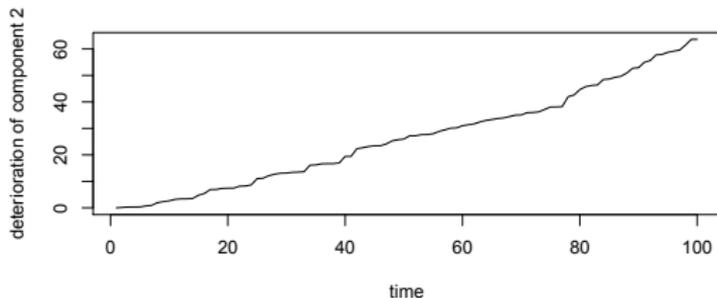
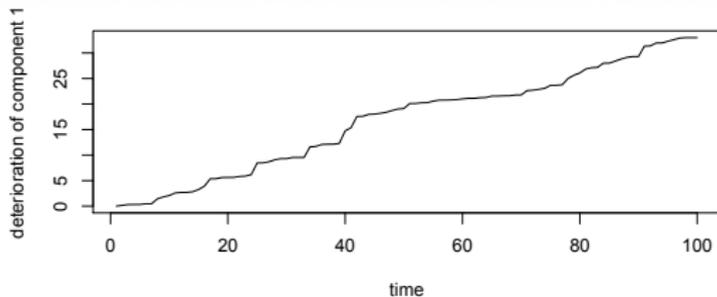
Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique par processus Trivariate Reduction Gamma-Lévy (TRGL)
 - Modèle de défaillance
 - Politiques de maintenance
- 3 Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy
- 4 Conclusions et perspectives

Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique

- 2 composants: modèle de dégradation : processus Gamma
- Modélisation de la dépendance par un processus Gamma-Lévy bivarié: réduction trivarié (Sophie Mercier et Michel Roussignol)
 - $(Y_t^{(i)})_{t \geq 0}$: processus Gamma indépendants de paramètres $(\alpha_i, 1)$.
 - $$\begin{cases} X_t^1 = (Y_t^{(1)} + Y_t^{(3)})/b_1 \\ X_t^2 = (Y_t^{(2)} + Y_t^{(3)})/b_2 \end{cases}$$
 où $b_1 > 0$ et $b_2 > 0$
 - Le processus $(X_t)_{t \geq 0} = (X_t^{(1)}, X_t^{(2)})_{t \geq 0}$ est alors un processus Gamma-Lévy de paramètres marginaux (a_1, b_1, a_2, b_2) avec
$$\begin{cases} a_1 = \alpha_1 + \alpha_3 \\ a_2 = \alpha_2 + \alpha_3 \end{cases}$$

Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique



Modèle de défaillance

- Composants en parallèle \rightarrow système en panne si $X_t^{(1)} \geq L_1$ et $X_t^{(2)} \geq L_2$
- Dès qu'un composant tombe en panne ($X_t^{(i)} < L_i$) la charge de l'autre augmente \rightarrow augmentation de sa vitesse de dégradation

Politiques de maintenance

- Critère de coût:

$$C_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C(t)}{t}$$

- Coût cumulatif

$$C(t) = \sum_{i=1}^2 (C_p^i N_p^i(t) + C_c^i N_c^i(t) + C_{insp}^i N_{insp}^i(t) + C_d D_p(t))$$

- Avec prise en compte d'un coût commun si les 2 composants sont remplacés en même temps

$$C(t) = \sum_{i=1}^2 (C_p^i N_p^i(t) + C_c^i N_c^i(t) + C_{insp}^i N_{insp}^i(t) + C_d D_p(t) - C_r N_g(t))$$

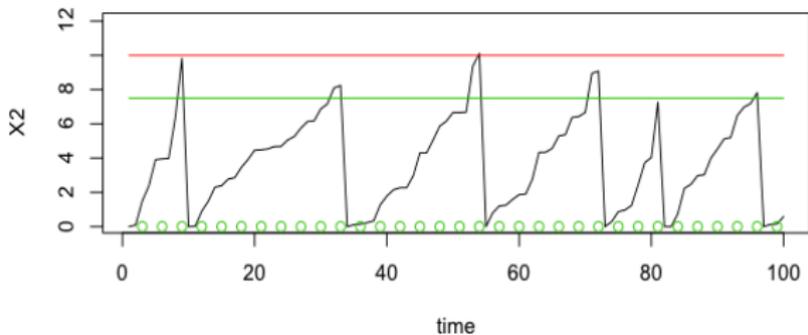
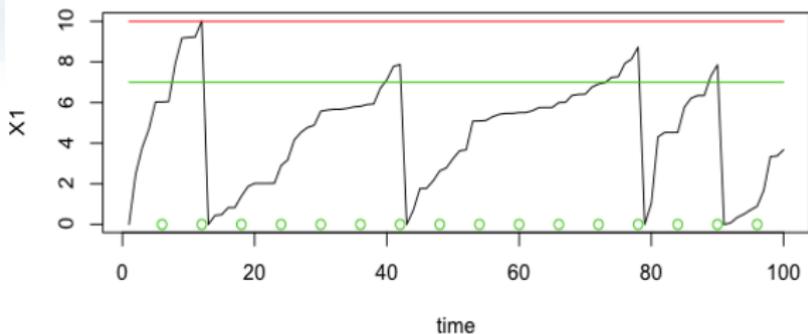


Politiques de maintenance

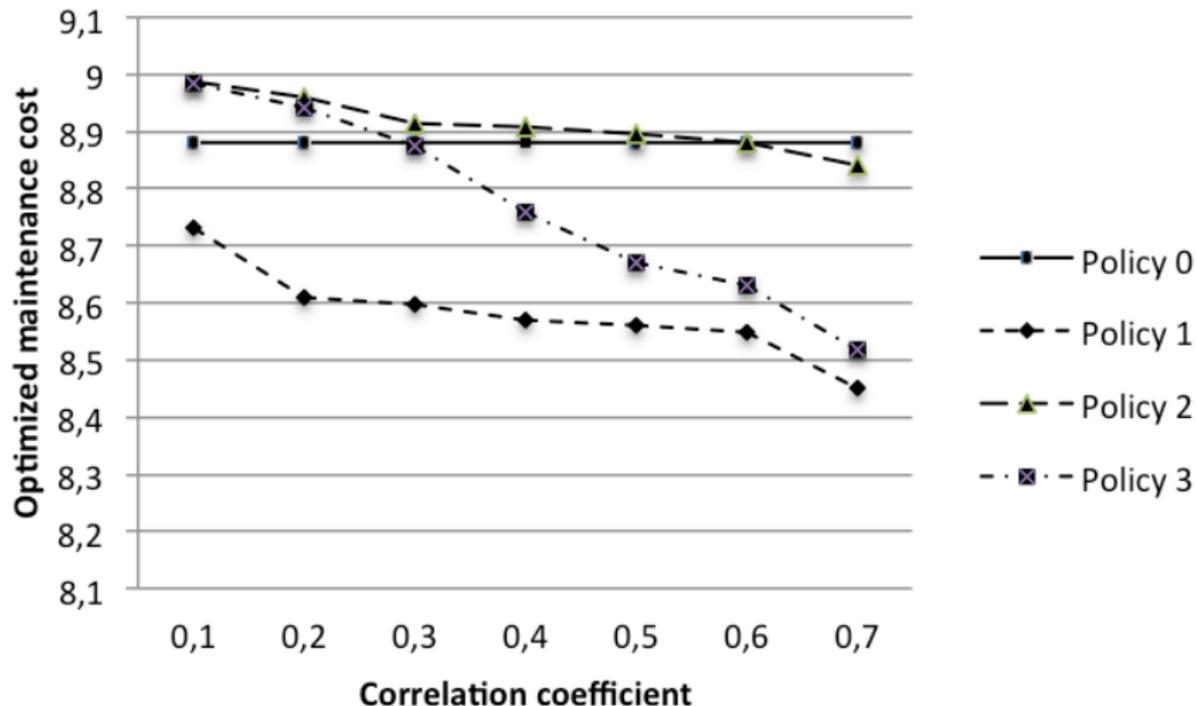
4 politiques de maintenance sont comparées:

- Politique de maintenance conditionnelle avec **2 périodes d'inspections** et **2 seuils de remplacement** préventif sans dépendance économique (politique 0)
- Politique de maintenance conditionnelle avec **2 périodes d'inspections** et **2 seuils de remplacement** préventif avec dépendance économique (politique 1)
- Politique de maintenance conditionnelle avec **1 période d'inspection** et **1 seuil de remplacement** préventif avec dépendance économique (politique 2)
- Politique de maintenance conditionnelle avec **1 période d'inspection** et **2 seuils de remplacement** préventif avec dépendance économique (politique 3)

Politiques de maintenance



Résultats numériques





Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique par processus Trivariate Reduction Gamma-Lévy (TRGL)
- 3 Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy
 - Politiques de maintenance
 - Proposition d'une nouvelle politique de maintenance
 - Résultats numériques
 - Paramètres d'entrée
- 4 Conclusions et perspectives

Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy

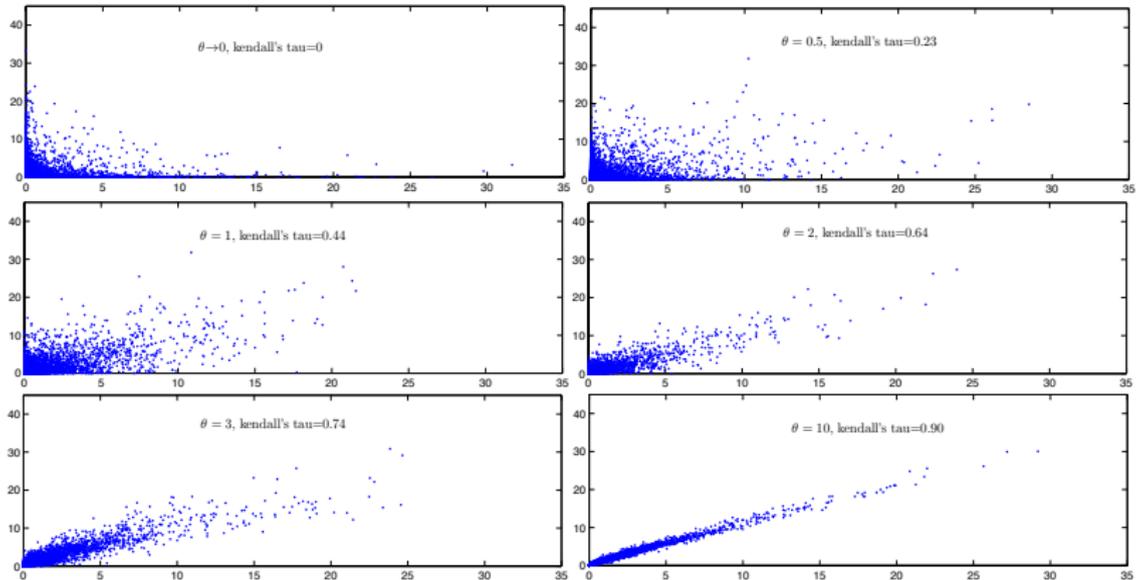
$$X_t^1 = \sum_{i=1}^{\infty} U_1^{(-1)}(\Gamma_i) \mathbb{1}_{[0,t]}(v_i)$$

$$X_t^2 = \sum_{i=1}^{\infty} U_2^{(-1)}(C(\Gamma_i)) \mathbb{1}_{[0,t]}(v_i)$$

où

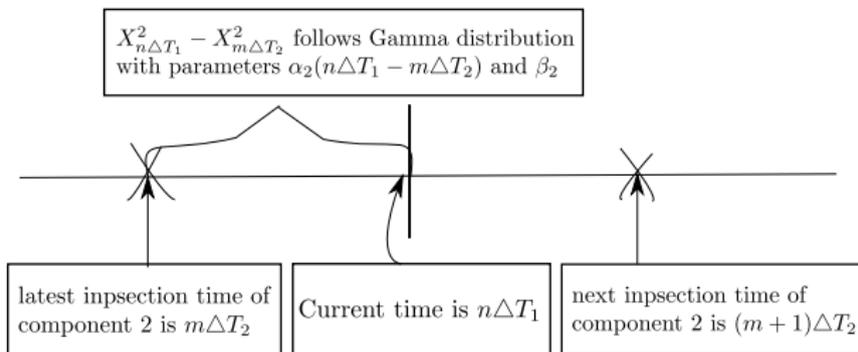
- $U^{-1}()$: mesure de Lévy inverse, pour le processus Gamma, $U^{-1}(\Gamma_i) = E_1^{-1}(\Gamma_i/\alpha)/\beta$
- $\{\Gamma_i\}_{i \geq 1}$: dates de saut qui suivent un processus de poisson
- $\{v_i\}_{i \geq 1}$: séquence de variables aléatoires i.i.d. suivant une loi uniforme

Corrélation pour différentes valeurs de θ



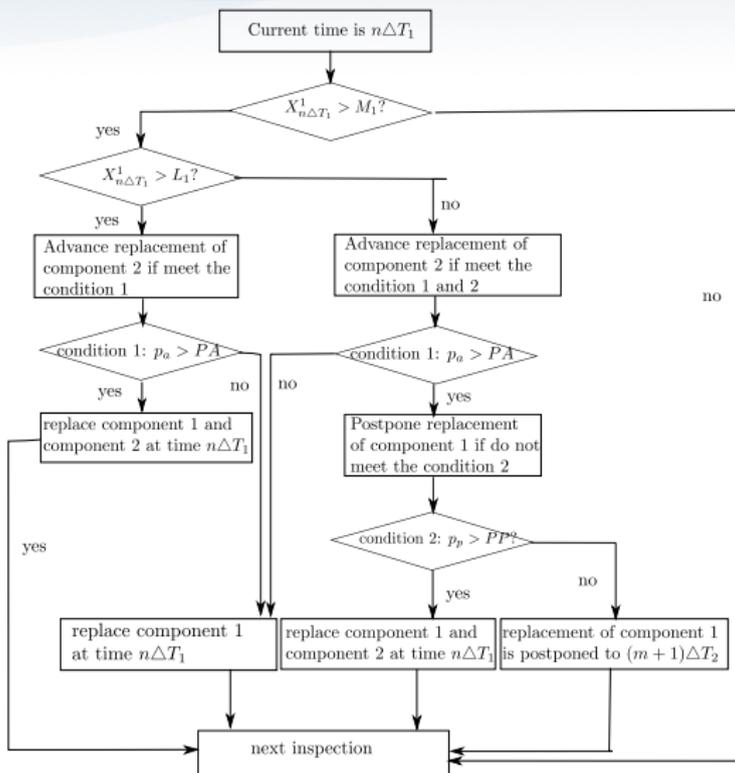
10000 increments on $[0,0.1]$ for two-dimensional Gamma process where the margins are: $\alpha_1=7/5, \beta_1=1/5$, $\alpha_2=9/5, \beta_2=1/5$

Proposition d'une nouvelle politique de maintenance: avec opportunités de grouper les actions de maintenance

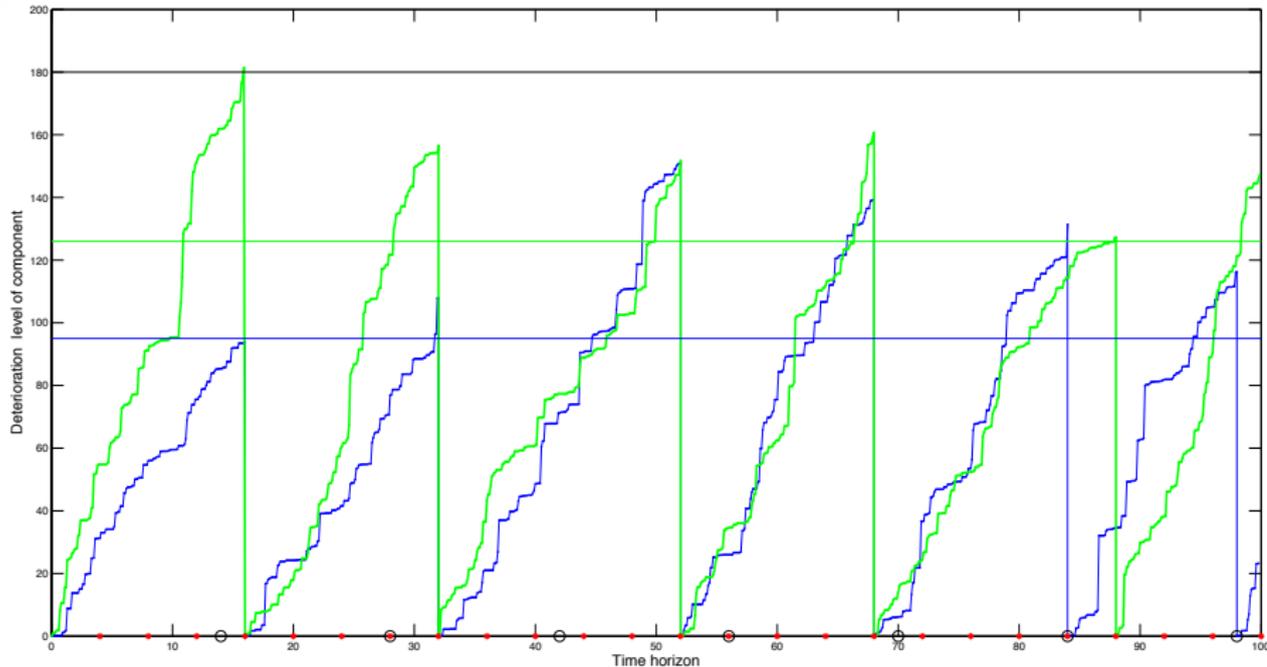


- remplacement groupé à $n\Delta T_1$ si $p_a = P(X_{n\Delta T_1}^2 > M_2 | X_{m\Delta T_2}^2)$ est élevé
- remplacement groupé à $(m+1)\Delta T_2$ si $p_p = P(X_{(m+1)\Delta T_2}^1 > L | X_{m\Delta T_2}^2)$ est faible

Règle de décision



Un exemple de maintenance groupée





Politiques de maintenance "classiques"

Politiques de maintenance conditionnelle

- politique 1: Politique de maintenance conditionnelle avec **2 périodes d'inspections** et **2 seuils de remplacement** préventif sans dépendance économique
- politique 2: Politique de maintenance conditionnelle avec **1 période d'inspection** et **1 seuil de remplacement** préventif avec dépendance économique
- politique 3: Politique de maintenance conditionnelle avec **1 période d'inspection** et **1 seuil de remplacement** préventif avec dépendance économique

politique 4: Politique de maintenance basée sur l'âge

Input

Paramètres de dégradation des composants

	α	β	θ	L
composant 1:	7/5	1/5	10	180
composant 2:	9/5	1/5	10	180

Paramètres de coût

$c_p^i (i = 1, 2)$	$c_c^i (i = 1, 2)$	c_{insp}	c_u	c_d
20	100	1	5	10

Valeurs optimales

Valeurs optimales pour la politique 0

c_r	\bar{C}	$\Delta T_1/\Delta T_2$	M_1/M_2	PA/PP	LC_1/LC_2
0	2,8218	6 / 4	116 / 122	0.6 / 0.1	19.87 / 15.89
1	2,8047	6 / 4	116 / 122	0.5 / 0.1	19.85 / 15.92
2	2,7928	6 / 4	116 / 122	0.5 / 0.1	19.85 / 15.92
3	2,7143	∞ / 4	90 / 126	0.1 / 0.1	16.43 / 16.40
5	2,5975	∞ / 4	90 / 126	0.1 / 0.1	16.43 / 16.40

Valeurs optimales pour la Politique 1

\bar{C}	ΔT_1	ΔT_2	M_1	M_2	LC_1/LC_2
2,8313	6	4	116	122	19.96 / 15.86



Valeurs optimales

Avec un faible coût commun

	set-up cost	\bar{C}	<i>lifecycle</i> 1/2
politique 0	1	2.8047	19.85 / 15.92
politique 2	1	2.8225	19.96 / 15.86
politique 3	1	2.8412	19.73 / 15.90
politique 4	1	2.7936	18.00 / 14.00

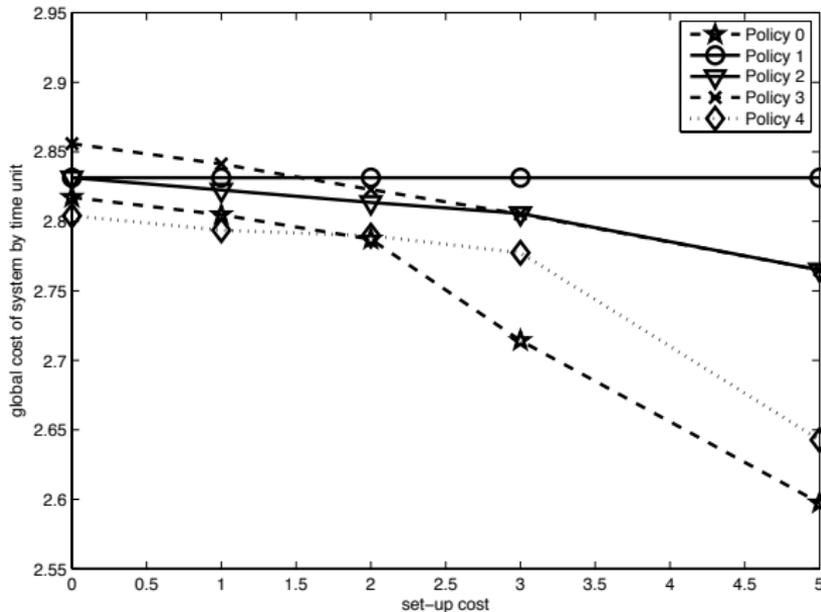


Valeurs optimales

Avec un fort coût commun

	set-up cost	\bar{C}	<i>lifecycle</i> 1/2
politique 0	5	2.5975	16.43 / 16.40
politique 2	5	2.7651	15.02 / 15.00
politique 3	5	2.7651	15.02 / 15.00
politique 4	5	2.6427	15.00 / 15.00

Performances des différentes politiques de maintenance





Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique par processus Trivariate Reduction Gamma-Lévy (TRGL)
- 3 Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy
- 4 Conclusions et perspectives



Conclusions

- Proposition de politiques de maintenance pour un système à 2 composants se dégradant graduellement avec la prise en compte de différentes dépendances stochastiques:
 - Modélisation de la dégradation en présence de dépendance stochastique par processus Trivariate Reduction Gamma-Lévy
 - Modélisation de la dépendance par la copule de Clayton-Lévy
- Proposition d'une nouvelle politique de maintenance prenant en compte les dépendances économiques



Perspectives

- Etudier la sensibilité de nos modèles
- Comparer l'impact de la dépendance stochastique sur la politique de maintenance
- Etudier des systèmes plus complexes



utt

université de technologie
Troyes

Introduction

TRGL

CGL

Conclusions et perspectives

Merci pour votre attention