

# Rapport du projet de programmation stochastique

Maxence Ahlouché  
Martin Carton

Maxime Arthaud  
Thomas Forgione

Korantin Auguste  
Thomas Wagner

27 novembre 2013

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Présentation de l'équipe</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Colonie de scarabées</b>	<b>2</b>
2.1	Chaînes de Markov . . . . .	2
2.2	Temps moyen entre rencontre . . . . .	3
2.2.1	À partir d'un certain point . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Gare de péage</b>	<b>3</b>
3.1	Chaines de Markov . . . . .	3
3.2	Simulation sisyphé . . . . .	4
3.2.1	Cas d'une file . . . . .	4

## 1 Présentation de l'équipe

Cette équipe a été menée par Thomas Wagner, assisté de son Responsable Qualité Korantin Auguste. Les autres membres de l'équipe sont Martin Carton, Maxence Ahlouche, Maxime Arthaud, et Thomas Forgione.

Tous les membres de l'équipe ont été présents à chacune des séances lors de cette UA.

## 2 Colonie de scarabées

Le problème consiste, à partir d'un graphe dont les nœuds représentent des positions et les arêtes contiennent la probabilité pour le scarabée de passer d'une position à l'autre, à calculer les probabilités de présence de chaque scarabée au bout de  $N$  itérations, selon sa position de départ.

Pour cela, on représente le graphe sous la forme de matrice d'adjacence, ou chaque élément de la matrice représente la probabilité de passer d'un nœud à un autre.

Si on met cette matrice à la puissance  $N$ , elle contiendra les probabilités de passer d'un nœud à un autre en exactement  $N$  itérations.

En multipliant cette matrice par un vecteur contenant uniquement des zéros, sauf au nœud de départ (on mettra un 1), on peut obtenir la probabilité pour le scarabée de se trouver à chaque point, au bout d'exactly  $N$  tours. Si cette probabilité est nulle, il est impossible qu'il s'y trouve.

Pour savoir la probabilité que les deux scarabées se rencontrent en un point au bout de  $N$  itérations, il suffit de multiplier les probabilités de présence de chaque scarabée en ce point. Pour savoir leur probabilité de se rencontrer en n'importe quel point, on peut tout simplement sommer les probabilités de rencontre sur chaque point.

De plus, si on calcule  $\lim_{N \rightarrow \infty} A^N$  (une telle limite n'existera que si la chaîne est irréductible, récurrente positive et apériodique, et ça ne sera pas toujours le cas!), le produit du vecteur avec la position de départ par cette matrice nous donnera les probabilités pour le scarabée d'être en chaque position une fois qu'il aura suffisamment voyagé et que sa position de départ n'aura plus d'importance.

### 2.1 Chaînes de Markov

D'après Wikipédia, le problème des scarabées peut aisément être modélisé par des chaînes de Markov. En effet, nos coléoptères se promènent en temps discret dans leur graphe de promenade; de plus, l'état d'un scarabée (autrement dit, sa position dans sa promenade) ne dépend pas du passé, mais uniquement de l'état présent.

La matrice de transition de notre promenade représente les probabilités de passer d'un état aux autres. Par conséquent, la matrice de transition à la puissance  $n$  représente la probabilité de passer d'un état à un autre par un chemin de longueur  $n$ .

On constate qu'on se rapproche beaucoup de la matrice décrite précédemment, de manière si confuse : la matrice d'adjacence du graphe de promenade et la matrice de transition de notre chaîne de Markov sont équivalentes !

## 2.2 Temps moyen entre rencontre

### 2.2.1 À partir d'un certain point

Considérons que les deux scarabées sont sur le même point. On peut donc calculer la probabilité qu'après  $N$  tours, ils finissent encore sur la même case (en sommant le carré des probabilités que chacun se retrouve sur une case).

$U_k$  est la probabilité que les deux scarabées se retrouvent sur la même case après  $k$  tours.  $U_k = pA^k(pA^k)^T$

$V_k$  est la probabilité que les deux scarabées se retrouvent sur la même case après  $k$  tours, sans s'être déjà rencontrés avant.

$$V_k = (1 - U_1) \times (1 - U_2) \times \dots \times (1 - U_{k-1}) \times U_k$$

$V_k$  peut donc se réécrire par récurrence :

$$V_1 = U_1 \quad V_{k+1} = V_k \times \frac{1-U_k}{U_k} U_{k+1}$$

Pour avoir le temps moyen au bout duquel ils vont se rencontrer en partant de ce même point, il suffit de prendre l'espérance de cette suite  $V_k$ .

## 3 Gare de péage

Le but de ce problème est de déterminer si une gare de péage constituée de plusieurs couloir de paiement est efficace. C'est à dire si le temps d'attente ne sera pas trop élevé et si il n'y a aucun couloir ouvert mais inutile. Le nombre de voitures qui arrivent par unité de temps et le temps mis pour payer (sans compter l'attente) suivent des lois de Poisson.

Dans la suite, on notera  $S$  le nombre de files,  $\lambda$  le nombre moyen de voitures entrantes par unité de temps<sup>1</sup> et  $\frac{1}{\mu}$  la durée moyenne du service<sup>2</sup>.

Ce problème donc est celui d'une file d'attente de type  $M/M/S$  (où  $M/M$  représente le fait que les lois d'entrées et sorties suivent des lois de Poisson).

### 3.1 Chaines de Markov

On peut montrer que le temps d'attente converge si et seulement si  $\psi = \frac{\lambda}{S\mu} < 1$ . Il faudra donc ouvrir au moins  $\frac{\lambda}{\mu}$  files.

De plus, le temps d'attente moyen dans le système étant donné par  $T_S = \frac{1}{\mu} \frac{1}{1-\psi}$ , pour le limiter à  $T_{max}$  temps maximum que l'on veut faire attendre les clients il faudra  $\frac{T_{max}\lambda}{\mu T_{max}-1} < S$ .

Or  $\frac{1}{\mu} < \frac{T_{max}}{\mu T_{max}-1}$ , il faudra donc ouvrir au moins  $\frac{T_{max}\lambda}{\mu T_{max}-1}$  files.

---

1. C'est le paramètre de la loi de Poisson régissant l'entrée.

2. C'est à dire le temps moyen que prennent les gens pour payer : le paramètre de la loi de Poisson régissant la sortie

## 3.2 Simulation sisyphé

### 3.2.1 Cas d'une file

Nous avons commencé par simuler un cas plus simple : celui où il n'y a qu'une seule file d'attente.

FIGURE 1 – TODO Modélisation d'une gare de péage avec une seule file

Nous avons représenté une file à l'aide de 4 éléments (voir figure 1) :

- l'élément  $N1$  représente la route d'entrée ;
- l'élément  $N2$  représente la file d'attente ;
- l'élément  $N4$  représente la route de sortie ;
- les éléments  $N3$  et  $N5$  sont des générateurs de nombres aléatoires.