

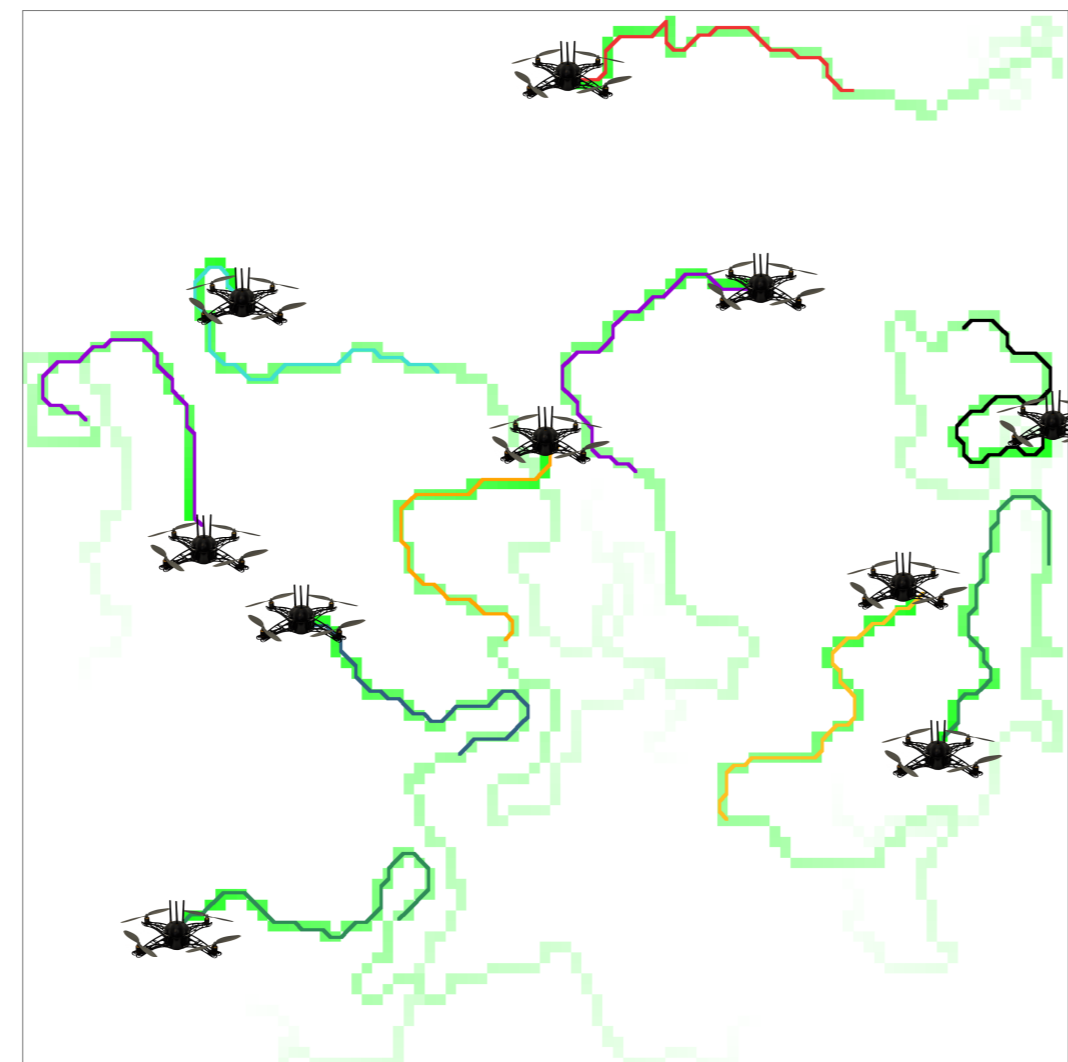
Résumé — À travers l'utilisation d'attracteurs chaotiques solutions d'équations différentielles ordinaires, nous mettons en évidence que l'utilisation de mécanismes chaotiques peut contribuer à l'amélioration de la *diversification* de métaheuristiques sous réserve de trouver un système dynamique adapté au problème considéré. Nous nous inté-

ressons ici à la diversification d'un algorithme de type colonie de fourmis pour un problème de couverture de zone par un essaim de drones autonomes. Nous montrons que les performances de couverture sont améliorées à l'aide des mécanismes chaotiques issus du système de Ma et du système de Rössler.

Abstract — Solution of differential equations systems can be chaotic attractors. We show that the use of these chaotic mechanisms permits to enhance the diversification of metaheuristics. We applied our approach to the problem of coverage using a swarm of UAVs where the diversification of an ant colony algorithm is enhanced by chaos.

1 Définition du problème

Nous nous intéressons à la coordination de drones autonomes à l'aide d'une métaheuristique : le **principe de colonie de fourmis** [1]. Les fourmis déposent des phéromones au sol pour aider les autres fourmis de la colonie. Ces phéromones, répulsives pour les autres membres de la colonie, s'évaporent avec le temps. Ce mécanisme oriente de fait les autres fourmis pour qu'elles aillent visiter d'autres zones. Cependant dans ce type d'algorithme, lorsqu'il n'y a pas de phéromones pour guider les fourmis, leur comportement est généralement aléatoire. Nous cherchons à améliorer les performances d'une méthode de colonie de fourmis pour couvrir une zone, et ceci avec une meilleure diversification en remplaçant l'aléatoire par un mécanisme chaotique.



10 drones réalisant la couverture d'une zone en déposant des phéromones.

2 Modèle n°1 Aléatoire

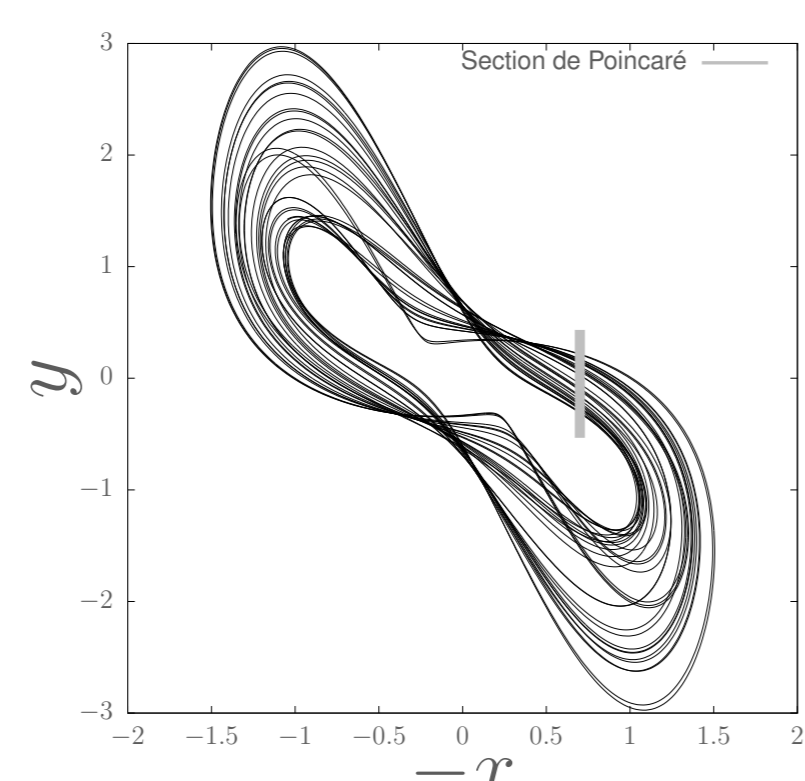
Dernière action	Probabilité d'action		
	Gauche (L)	Avant (A)	Droite (R)
Gauche (L)	0.70	0.30	0
Avant (A)	0.10	0.80	0.10
Droite (R)	0	0.70	0.30

Modèle de Kuiper et Nadjm-Tehrani [2].

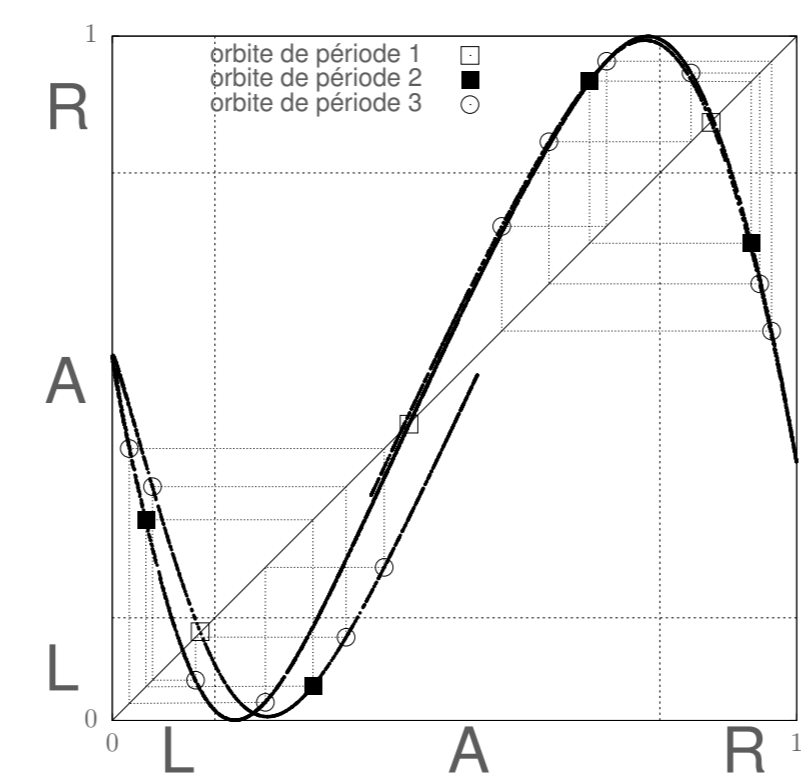
La vitesse des drones est constante et ils partent tous d'une même base située en bas au centre de la zone à couvrir. Ils peuvent aller :
 — à gauche (45° sur la gauche);
 — tout droit;
 — à droite (45° sur la droite).
 Dans leurs travaux, Kuiper et Nadjm-Tehrani [2] ont introduit un modèle de mobilité aléatoire où la prochaine action dépend de la précédente (cf. le tableau ci-contre).

3 Modèle n°2 MAMM

Nous avons utilisé le système de Ma parce que l'application de premier retour de son attracteur chaotique présente des propriétés dynamiques qui reproduisent celles du modèle aléatoire : les mêmes transitions sont autorisées. Les orbites indiquent des virages et des lignes droites. Pour plus de détail sur l'attracteur du système de Ma, voir [3].



Attracteur solution du système de Ma (voir [3] pour les paramètres).



Application de premier retour avec les orbites.

4 Modèle n°3 MAMM2

Par rapport au modèle précédent, nous avons modifié la partition pour obtenir des orbites qui permettent moins de virages et plus de lignes droites: la partition est indiquée en section 6. Le tableau ci-dessous indique les modifications induites par ce changement de partition entre MAMM et MAMM2.

Période	Symbole MAMM	Action	Symbole MAMM2	Action
1	L	Virage serré	A	Ligne droite
1	A	Ligne droite	A	Ligne droite
1	R	Virage court	A	Ligne droite
3	LLA	Boucle	LAA	Virage Large
3	RRA	Boucle	RAA	Virage Large

La partition de MAMM2 entraîne plus de lignes droites et moins de virages que celle de MAMM.

5 Modèle n°4 CROMM

Nous avons utilisé le système de Rössler pour produire un autre modèle de mobilité. L'application de premier retour avec sa partition est donnée en section 6. Cette partition fait que les orbites de l'attracteur entraînent un certain type de virage et une ligne droite tout en **supprimant la symétrie gauche-droite** (voir [4] pour le détail de la partition et les paramètres du système de Rössler).

Références

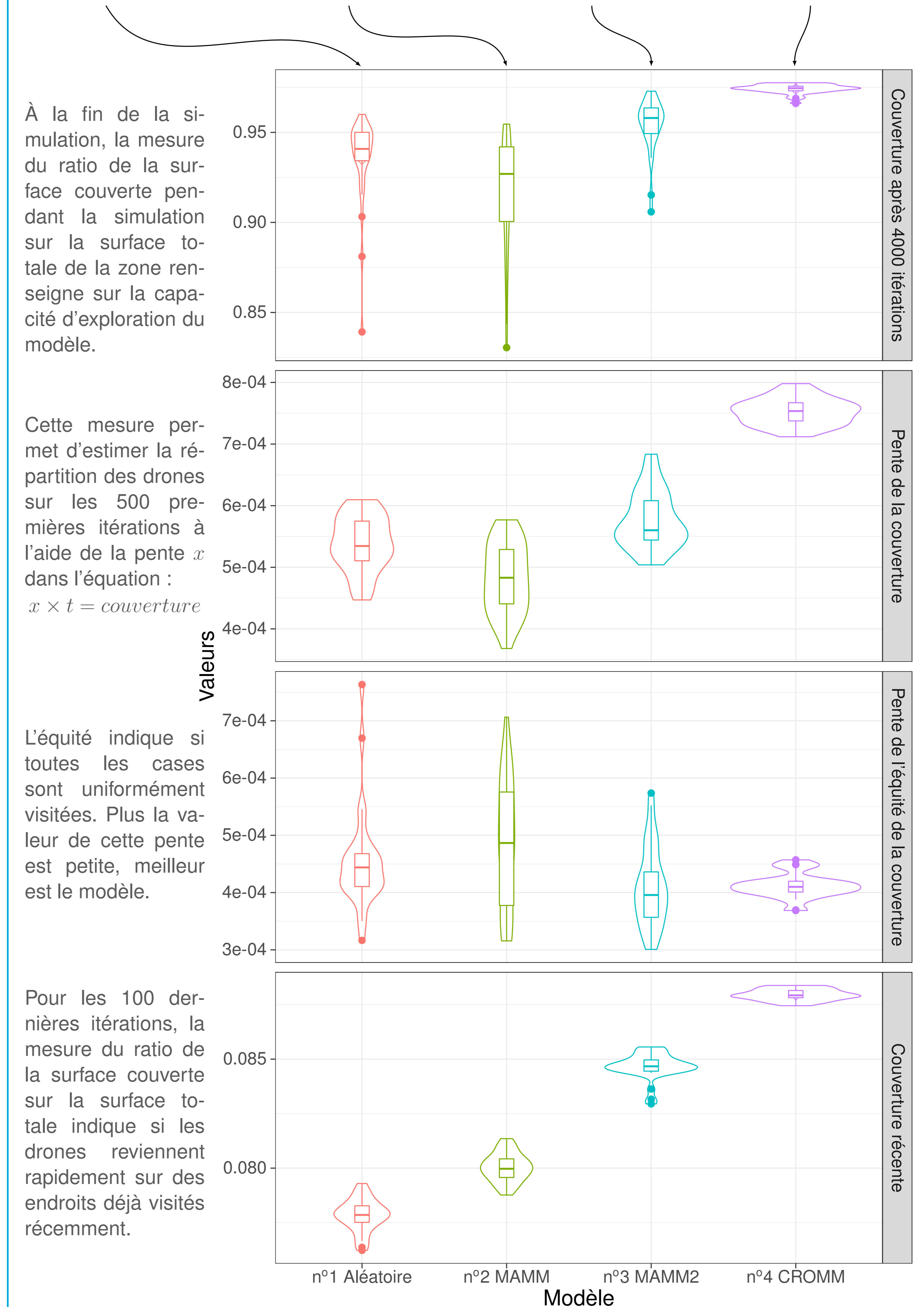
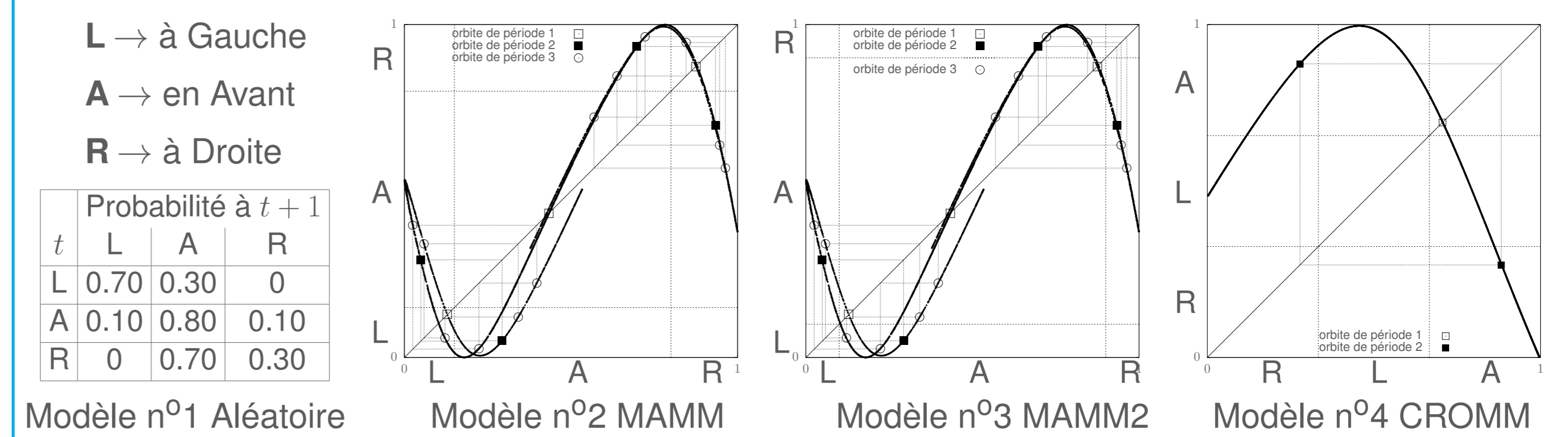
[1] Marco DORIGO. « Optimization, learning and natural algorithms ». Thèse de doct. Politecnico di Milano, Italy, 1992.
 [2] Erik KUIPER et Simin NADJM-TEHRANI. « Mobility Models for UAV Group Reconnaissance Applications ». Dans : *2006 International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC'06)*. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), juil. 2006. DOI : 10.1109/icwmc.2006.63.
 [3] Martin ROSALIE. « Lois de composition de surfaces branchées pour la description d'attracteurs chaotiques bornés par des tores de genre élevé ». Thèse de doct. Université de Rouen, nov. 2014.
 [4] Martin ROSALIE, Grégoire DANOY, Serge CHAUMETTE et Pascal BOUVRY. « From Random Process to Chaotic Behavior in Swarms of UAVs ». Dans : *Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications - DIVANet'16*. 2016, p. 9–15. ISBN : 978-1-4503-4506-4. DOI : 10.1145/2989275.2989281.

Contact Martin ROSALIE ☎ +352 46 66 44 5751
 SNT, Université du Luxembourg ✉ martin.rosalie@uni.lu
 Campus Belval, L-1359 Luxembourg 🌐 https://martinrosalie.gforge.uni.lu

Remerciements Ces résultats ont été obtenus grâce aux équipements de Calcul Haute-Performance de l'Université du Luxembourg (pour plus de détails, voir le site <http://hpc.uni.lu>).

6 Comparaison des modèles de mobilité

Nous réalisons 30 simulations pour 10 drones volant à 1m/s sur une zone de 100m × 100m pour chacun des modèles. Les moyennes, les écarts-types et les estimations de la distribution des valeurs des mesures de l'efficacité de la couverture par les drones sont détaillés ci-dessous.



Conclusion

Nous avons réalisé la partition d'applications de premier retour d'attracteurs chaotiques pour construire des modèles de mobilité à travers :
 — l'utilisation de la position des points périodiques;
 — la modification des proportions allouées à chaque action;
 — l'organisation relative des actions.

Contrairement à un modèle aléatoire, l'utilisation d'un système dynamique garantit la réalisation d'une séquence donnée (par exemple LAA) car elle correspond à une orbite périodique : nous sommes donc sûr que ce motif exploratoire va être réalisé. La combinaison du modèle **CROMM** avec un algorithme de colonie de fourmis a été réalisée et a donné d'excellents résultats; nous avons nommé ce modèle **CACOC** pour **Chaotic Ant Colony Optimization for Coverage** [4].