RSTE
Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

Optimisation de trajectoire de traque des Dahalo

Tsimitamby B. [1, 3], Sambatra E. J. R. [1, 3], Ramanantsoa H. [1], Andrianirina C. B. [2, 3]

[1]Direction de l'Ecole du Génie Industriel, Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana

[2]Institut Supérieur des Sciences et Technologies de l'Université de Mahajanga

[3]Ecole Doctorale Thématique « Energies Renouvelables et Environnement »

de l'Université d'Antsiranana

Correspondant : TSIMITAMBY Briand/ Enceinte SECREN IST ANTSIRANANA, BP : 509/ tsimitamby@ist-antsiranana.mg

Résumé :

Cet article s'intéresse à l'optimisation de l'estimation de trajectoire de poursuite des Dahalo lorsqu'ils transportent des zébus volés. L'approche proposée, dans des études antérieures, estime l'itinéraire possible des Dahalo de façon probabiliste et génère des trajectoires liées aux itinéraires choisis. Lors du développement de cet algorithme, la direction du lieu de vol vers le lieu de régularisation des papiers n'a pas été prise en compte ; ce qui implique certaines divergences de la trajectoire par rapport au lieu de blanchiment. Cette situation augmente le nombre de trajets, l'énergie consommée et le risque de perdre les traces des malfaiteurs. Par ailleurs, le Drone n'atteint pas forcement le point limite (lieu de blanchiment) et la stratégie de commande fait en sorte qu'il retourne à la base après exécution des tâches ou en cas d'insuffisance d'autonomie énergétique. L'étude a été menée dans le District de Miandrivazo, région Menabe, un des districts où le vol de zébus est omniprésent selon les enquêtes que nous avons menées durant le premier semestre de l'année 2016 dans la province de Tuléar. Cette zone cible a été modélisée sous forme d'un réseau cellulaire géolocalisé et classifié en fonction de sa nature. Ceci s'articule principalement autour de l'eau ou de la forêt puisque qu'ils font partie intégrante des passages obligés des Dahalo. Après extraction des coordonnées GPS de ces points de passage, un algorithme d'estimation de trajectoire avait été développé.

Ce papier propose un algorithme optimisé en privilégiant les cellules qui ont la même direction que le point de blanchiment et prévoie le retour à la base en cas de traque ou de limite énergétique. Les trajectoires générées sont prévues être embarquées dans un Drone pour minimiser la durée de poursuite, l'énergie consommée et surtout les risques engendrés par les confrontations imprévisibles.

Mots clés : *Trajectoire, Dahalo, Automate cellulaire, Tracking, Optimisation*

Abstract :

This article focuses on the optimization of the estimation of the Dahalo tracking trajectory when transporting rustled cattle. The proposed approach, in previous studies, estimates the possible Dahalo route in a probabilistic way and generates trajectories related to the chosen routes. During the development of this algorithm, the direction of the place of rustling towards the place of regularization of the papers was not taken into account; which implies from time to time the divergence of the trajectory with respect to this place of whitening. This situation increases the number of journeys, the energy consumed and the risk of losing the traces of these rustlers. In addition, the Drone does not necessarily reach this limit point (the places of whitening) and the control strategy makes it return to the base after executing the tasks or in case of insufficient energy autonomy. The study was conducted in the Miandrivazo District, Menabe Region, one of the districts where zebus rustling is omnipresent according to the surveys, we conducted during the first half of 2016 in the province of Tulear. This target area has been modeled as a geolocated cellular network and classified according to its nature. This is mainly around the water or the forest since they are an integral part of the forced passages of the Dahalo. After extracting the GPS coordinates of these points of passage, a trajectory estimation algorithm was developed.

This paper proposes an optimized algorithm by favoring cells that have the same direction as the limit point or the whitening point, and forsees the return to the base in case of stalking or energy limit. The generated trajectories will be planned to be embedded in a Drone to minimize the duration of pursuit, the energy consumed and especially the risks engendered by unpredictable confrontations.

Keywords : *Trajectoire, Dahalo, Automate cellulaire, Tracking, Optimisation.*

I. INTRODUCTION

A Madagascar, 80% de la population dépendent du secteur agricole [1] et les zébus restent encore un de leurs outils incontournables pour la production. Ces derniers temps, ces animaux sont victimes d'un vol massif, de quelques têtes à plusieurs centaines, alors qu'un zébu perdu représente une énorme perte pour un ménage [2] [3]. Selon une enquête socio-économique que nous avons effectuée durant le premier semestre de l'année 2016, dans la circonscription de la Gendarmerie de la Province de Tuléar, 5654 vols de zébus sont enregistrés, et seuls 2529 (moins de 45%) sont repris. Avec une moyenne de prix d'un zébu estimé à 1 600 000 Ariary, les pertes financières totales s'élèvent à 4 046 400 000 Ariary en six mois (environ 21 000 000 Ariary par vol) [2]. Ce bilan est déplorable pour un pays comme Madagascar dont 75% de la population vivent avec moins de 1,90$ (environ 7 000 Ariary) par jour [1]. Plusieurs solutions ont été déjà entreprises par l'Etat pour éradiquer ce vol de zébus. Sur le plan militaire : lancement des opérations militaires (Opérations Tandroka, Fahalemana, Tsy mitsitsy, Tsy minday mody, Coup d'arrêt, Pleine lune, Opération de 26 juin, Bonne

année, …) et la mise en place de l'Unité Spéciale Anti-Dahalo (USAD). Sur le plan social, la mise en place de Dinabe et sur le plan politique, l'amnistie des Dahalo repentis (« Dahalo miova fo ») [2] [4].

Malheureusement, la situation reste toujours non maîtrisée, l'attaque fait plusieurs victimes et la récupération des zébus volés se solde à des confrontations meurtrières. Face à cette situation, une analyse de comportement dynamique des Dahalo lors du transport des zébus volés, l'identification de leur point de passage lors de l'acheminement du lieu de vol vers le point de blanchiment et l'estimation de leur trajectoire ont été fait dans [2] [5] [6] [7]. Selon [2], les Dahalo se dirigent sur un point unique lorsqu'ils transportent les zébus volés mais la façon dont ils empruntent leurs chemins est quasi-aléatoire. Ils passent sur des points stratégiques appelés passages obligés. Ces points peuvent être des points d'eau, des forêts ou montagnes.

Ces choix de parcours sont liés aux risques et à la possibilité de nourrir le bétail. [5] nous a permis de détecter et ou localiser les zébus volés avant la poursuite. [6] nous a fourni les éléments indispensables en vue de modéliser la zone cible sous forme d'un réseau cellulaire géolocalisé, puis classifier cette zone en fonction de sa nature (point d'eau, couverture végétale, montagne) et géolocaliser les différents points de passage probables lors du transport. Dans [7], l'algorithme d'estimation des trajectoires des Dahalo lors de l'acheminement a été développé. Les trajectoires prélevées sont prévues être embarquées dans un Drone afin d'accélérer la recherche lors de la poursuite et de minimiser les pertes humaines lors de l'attaque.

Lors de l'estimation des trajectoires, plusieurs paramètres n'avaient pas été pris en compte tels que la direction du point de blanchiment par rapport au lieu du vol, la position géographique du couple Dahalo-bétail avant la poursuite, l'autonomie énergétique du Drone et le retour à la base en cas de fin de mission ou limite énergétique. L'omission de ces paramètres peut augmenter de façon considérable le coût de recherche.

Pour remédier à cela, nous proposons dans ce papier un algorithme d'optimisation d'estimation de ces trajectoires. Pour ce faire, cet article se divise en quatre parties. La première partie relate l'ensemble de l'approche méthodologique. La seconde partie résume les études préliminaires. La troisième partie rapporte les optimisations faites à l'algorithme d'estimation de trajectoire et la quatrième présente les résultats de simulation.

II. METHODOLOGIE

Cet article respecte les démarches suivies dans [7] mais lors du développement des algorithmes, d'autres paramètres sont intégrés dans le programme en vue de

l'optimisation. Aussi, les zones d'applications sont différentes.

L'étude commence d'abord par :

- l'analyse des comportements en déplacement des Dahalo ; cette dernière porte l'intérêt sur la reconnaissance de la nature des passages obligés, leur vitesse de déplacement et la façon dont ils empruntent leur chemin. Il s'agit d'un travail d'enquête sur terrain.

- puis la collecte des coordonnées géographiques de ces passages obligés. Les positions géographiques de ces passages obligés sont obtenues en modélisant la zone cible sous forme d'automate cellulaire ensuite en analysant la Teinte et l'élévation de chaque cellule du réseau cellulaire et enfin l'extraction des coordonnées géographiques de ces passages obligés.

- ensuite l'évaluation de leur position géographique avant la poursuite.

- et enfin le parcours des chemins probables et son optimisation.

III. ETUDES PRELIMINAIRES

Les éléments qui ont permis de développer les algorithmes proviennent des études préliminaires dans [2]. La figure 1 montre les étapes parcourues avant l'optimisation de l'algorithme.

L'étape 1 est un recensement de données basé sur des enquêtes sur terrain en interrogeant des autorités militaires et civils mais aussi des villageois dans la partie sud de l'île. Cette enquête nous a permis de savoir la direction des Dahalo, leur vitesse moyenne de déplacement et leurs passages obligés lorsqu'ils transportent des zébus volés.

L'étape 2 consiste à créer un modèle numérique du terrain cible. Ce dernier commence par la délimitation de la zone cible puis la segmentation en plusieurs cellules et en fin la génération du modèle proprement dit. Ce modèle intègre les coordonnées géographiques de chaque cellule, les couleurs primaires RGB (Red Green Blue) et autres. Cette modélisation a été faite avec le trio Quickmap, PickCell et netGen du Lab STICC, développées par l'Université de Bretagne Occidentale. Quickmap est un navigateur de carte géographique. Il permet de cadrer une zone cible. PickCell est un outil de segmentation de la zone géographique et NetGen est un outil de génération du réseau cellulaire.

L'étape 3 consiste à classifier l'environnement géographique en fonction de sa nature. La zone cible a été classifiée en eau ou couverture végétale puisqu'ils constituent les passages obligés des Dahalo lors du transport des zébus volés. Cette étape a été faite en analysant la valeur de la

Teinte de chaque cellule du réseau cellulaire.

L'étape 4 traite l'extraction des coordonnées géographiques des passages obligés. Chaque cellule est identifiée par son numéro qui est par la suite associé à une coordonnée géographique, à des couleurs primaires RGB, une vitesse de vent, etc.…

L'étape 5 estime l'itinéraire probable des Dahalo à partir du lieu du vol jusqu'au point de blanchiment. Il est à noter à ce niveau que l'un des principaux objectifs de ce papier vise à optimiser cet itinéraire.

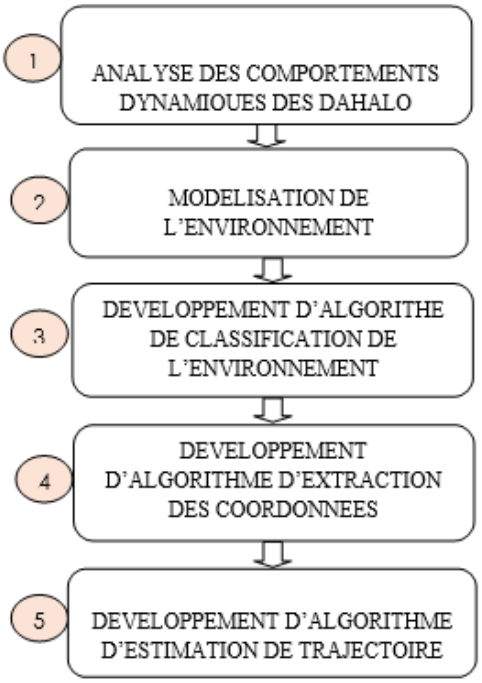


Figure 1 : Résumé de l'étude préliminaire

La zone étudiée (Figure 2) appartient à la région Menabe, une partie du District de Miandrivazo et Belon'i Tsiribihina puisque Menabe fait partie des régions où le nombre de vol des zébus est très élevé selon l'enquête effectuée en 2016 [2].

Figure 2 : Extrait de la zone étudiée

Le tableau 1 montre la statistique de vol de zébus dans la circonscription de la Gendarmerie de Tuléar durant le premier semestre de l'année 2016 [2].

Tableau 1 : Statistique des vols de zébus durant le premier semestre de l'année 2016 dans les quatre Régions de la circonscription de la Gendarmerie nationale de Toliary [2]

Région	DISTRICT	Nvol	Nvol (%)	Nvolc (%)	Zvol	Zret	ηret (%)	Zv
ATSIMO ANDREFANA	ANKAZOABO SUD	12	35,29	35,29	843	327	38,79	70,
	BEROROHA	11	32,35	67,65	204	52	25,49	18,
	SAKARAHA	6	17,65	85,29	416	3	0,72	69,
	BENENITRA	3	8,82	94,12	20	10	50,00	6,6
	AMPANIHY OUEST	2	5,88	100	6	6	100	3,0
	TOLIARA I	0	0	100	0	0	0	0
	TOLIARA II	0	0	100	0	0	0	0
	MOROMBE	0	0	100	0	0	0	0
	BETIOKY SUD	0	0	100	0	0	0	0
	Sous -Total	**34**			**1489**	**398**	**26,73**	**43,**
ANDROY	AMBOVOMBE	10	47,62	47,62	153	121	79,08	15,
	BEKILY	7	33,33	80,95	479	290	60,54	68,
	TSIHOMBE	3	14,29	95,24	8	8	100	2,6
	BELOHA	1	4,76	100,00	1	1	100	1,0
	Sous -Total	**21**			**641**	**420**	**65,52**	**30,**
ANOSY	BETROKA	13	81,25	81,25	491	329	67,01	37,
	TOLAGNARO	2	12,50	93,75	61	0	0	30,
	AMBOASARY ATSIMO	1	6,25	100	40	36	90,00	40,
	Sous -Total	**16**			**592**	**365**	**61,66**	**37,**
MENABE	MIANDRIVAZO	45	37,19	37,19	706	298	42,21	15,
	MAHABO	31	25,62	62,81	576	373	64,76	18,
	MANJA	12	9,92	72,73	688	113	16,42	57,
	MAHABO/MANDABE	12	9,92	82,64	235	173	73,62	19,
	BELO/TSIRIBIHINA	10	8,26	90,91	334	80	23,95	33,
	MORONDAVA	9	7,44	98,35	379	308	81,27	42,
	MARERANO BEROROHA	2	1,65	100	14	1	7,14	7,0
	Sous -Total	**121**			**2932**	**1346**	**45,91**	**24,**
TOTAL		**192**			**5654**	**2529**		

Nvol : Nombre de vols de zébus

Nvolc : Nombre de vols de zébus cumulés

Zvol : Nombre de zébus volés

Zret : Nombre de zébus retournés (repris)
Zvolm : Moyenne de zébus par vol

IV. OPTIMISATION

L'algorithme développé dans [7] détermine les futures destinations de façon probabiliste. A chaque passage d'un point à l'autre, il détermine d'abord la nature de la cellule destination suivante (eau ou forêt) à partir d'une valeur de probabilité générée aléatoirement selon la loi uniforme dans l'intervalle [0 1], et compte le nombre de cellule future destination puis génère encore aléatoirement selon toujours cette loi uniforme, un nombre aléatoire. Le numéro de la cellule qui correspond au rang de l'intervalle qui contient la valeur générée fait l'objet de la future destination. Les figures 3, 4 et 5 illustrent cette explication. Le modèle de l'automate cellulaire choisi est de type Moore1. Ce modèle comporte 3 voisins au moins et 8 au plus. Les cellules Gi avec i varie de 1 à 5 de la figure 3 représentent la couverture végétale et les cellules Bj avec j varie de 1 à 3 représentent l'eau. Le point R représente la cellule référence qui est le point de départ. Il a la même couleur que les cellules G, donc c'est une couverture végétale. Sur la cellule R, il y 2 valeurs de probabilités affectées ; la probabilité de passer vers G (ProbG) ou B (ProbB) comme l'illustre la figure 4. Ces deux valeurs peuvent être représentées dans un intervalle comme le montre la figure 5. P1 représente la valeur générée aléatoirement. Dans notre exemple, P1 est entre ProbB et ProbG donc la future destination est de type couverture végétale.

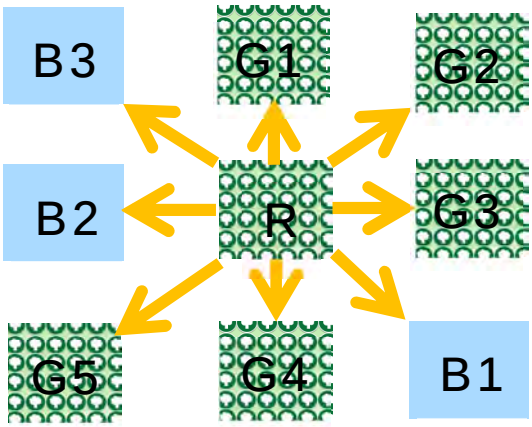


Figure 3 : Extrait des cellules du réseau cellulaire

Figure 4 : Affectation des valeurs de probabilité dans la cellule référence

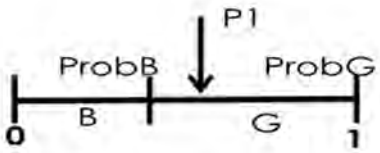


Figure 5 : Subdivision en intervalle selon la valeur de probabilité

Dans notre exemple, il y a 5 cellules de type couverture végétale, par conséquent, on doit en choisir une comme la destination suivante. Dans le cas général, l'algorithme compte le nombre de cellules destinataires probables, subdivise l'intervalle [0 1] en k segment(s) (k correspond au nombre des cellules futures destinataires ; dans notre cas k=5), et génère encore une fois un

nombre aléatoire entre 0 et 1 selon toujours cette loi uniforme. Le numéro de cellule qui correspond au numéro de segment contenant la valeur générée constitue la destination suivante, comme le montre la figure 6. Soit P2, la valeur générée, on voit sur la figure 6 qu'il se trouve dans le segment numéro 3 donc la cellule numéro 3 est la future destination

1er Constat :

Si k>3 ; il y a trop de destinations probables, et les k cellules ont les mêmes chances d'être la prochaine destination. Cette situation entraine à 90%, la divergence des trajectoires du point de départ (lieu du vol) au point limite (point de blanchiment). Ceci augmente le nombre de trajets et évidemment la consommation énergétique.

Ce nouvel algorithme propose d'introduire la notion des cellules privilégiées. Ces dernières sont déterminées par rapport à leur direction sur les 4 points cardinaux. Dans notre cas, la direction du point limite par rapport au point de référence détermine si une cellule est privilégiée ou non. Le tableau 2 liste les positions privilégiées par rapport à sa direction selon notre hypothèse.

Tableau 2 : Positions privilégiées des cellules par rapport à sa direction sur les 04 points cardinaux et les positions intermédiaires

Direction du point limite	Positions privilégiées
Nord	Nord, Nord-Ouest, Nord-Est
Sud	Sud, Sud-Est, Sud-Ouest
Est	Est, Nord-Est, Sud-Est
Ouest	Ouest, Sud-Ouest, Nord-Ouest
Nord-Est	Nord, Est, Nord-Est
Sud-Est	Sud, Est, Sud-Est
Sud-Ouest	Sud, Ouest, Sud-Ouest,
Nord-Ouest	Nord, Ouest, Nord-Ouest

Les directions du point limite sont obtenues en comparant ses abscisses et ses ordonnées par rapport à l'abscisse et l'ordonnée de la cellule référence.

Le tableau 3 définit une la direction du point limite par rapport au point de référence. Xa et Ya sont les coordonnées du point de référence ; Xb et Yb sont celles du point limite.

Tableau 3 : Directions du point limite par rapport au point de référence

Condition	Direction
(Xa < Xb) && (Ya = Yb)	Est (E)
(Xa < Xb) && (Ya < Yb)	Nord-Est (NE)
(Xa < Xb) && (Ya > Yb)	Sud-Est (SE)
(Xa = Xb) && (Ya > Yb)	Sud (S)
(Xa = Xb) && (Ya < Yb)	Nord (N)
(Xa > Xb) && (Ya = Yb)	Ouest (O)
(Xa > Xb) && (Ya < Yb)	Nord-Ouest (NO)
(Xa > Xb) && (Ya > Yb)	Sud-Ouest (SO)

La figure 7 illustre le principe de base de la prise de décision.

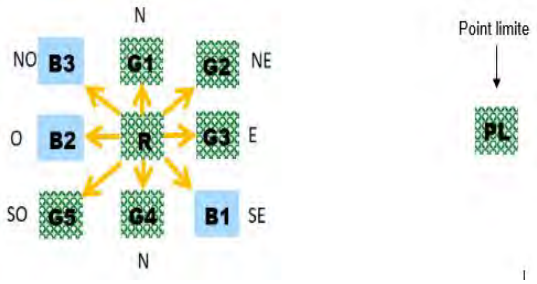


Figure 7 : Orientation du point limite (PL) par rapport au point de référence (R)

Sur cette figure, par rapport à la cellule référence (R), le point limite (PL) est à l'Est. Selon le tableau 2, les cellules privilégiées sont les cellules qui ont les orientations suivantes {Est, Nord-Est, Sud-Est}. Dans l'exemple de la figure 7, les cellules privilégiées sont {G2, G3, B1}. Dans la prise de décision, la probabilité allouée à des cellules privilégiées est largement supérieure à celles des non privilégiées. Dans notre cas, nous leur avons attribué 90% de chance d'être futur destinataire.

En se référant aux exemples précédents, la future destination est la couverture végétale, et k=5. On cherche ensuite les cellules privilégiées parmi les k cellules. Par rapport à la figure 7, les cellules privilégiées sont les cellules ayant les orientations {NE, E} puisque {SE} est de type eau. Les cellules privilégiées sont donc G2 et G3. On attribue 90% de chance à ces dernières cellules et 10% seulement pour G1, G4, G5.

Cette loi d'affectation des chances sous forme de probabilités est explicitée comme suit :

ProbPV : 0.9 ➔ Probabilité des points privilégiés

ProbPNV : 0.1 ➔ Probabilité des points non privilégiés

Dans notre cas, il y a 2 cellules privilégiées et 3 non privilégiées. Le principe, c'est d'attribuer les 90% de chance sur les k1 cellules privilégiées et les 10% de chance sur les k2 cellules non privilégiées. Chacune des cellules a toujours une chance d'être la future destinataire mais le pourcentage des chances n'est pas le même. Ce principe permet de faire converger rapidement les trajectoires sur le point limite et réduit plus de 90% le nombre de trajet et le temps de simulation.

Dans notre exemple : k= 5 ; k1= 2 ; k2=3 ; k=k1 +k2

2ème Constant :

Sur l'algorithme précédent, le Drone s'arrête lorsqu'il atteint le point limite alors que dans la réalité, le Drone doit retourner à la base en cas de détection ou localisation des zébus volés ou en cas de limite énergétique. Cela pourra réduire le coût de recherche (itinéraires, consommation énergétique, …).

Pour améliorer l'algorithme précédent, ce papier propose une fonction qui évalue la

consommation énergétique nécessaire pour retourner à la base à chaque foi qu'il atteint une destination. Lorsqu'il atteint la limite énergétique, il retourne directement à la base en faisant un vol d'oiseau.

Cette condition est déterminée par le rapport de l'autonomie énergétique restante et l'autonomie énergétique nécessaire qui est déduite à partir des formules suivantes :

$$\text{RapportAutonomie} = \frac{\text{AutonomieRestante}}{\text{AutonomieNecessaire}}$$

$$\text{AutonomieNecessaire} = \frac{\text{DistancePositionActuelle}}{\text{Vitesse du Quadcopter}}$$

$$\text{AutonomieRestante} = \text{AutonomieTotale} - \text{AutonomieConsomee}$$

$$\text{AutonomieConsomee} = \frac{\text{DistanceParcourueTotale}}{\text{Vitesse du Quadcopter}}$$

$$\text{DistanceParcourueTotale} = \sum \text{DistanceParcourue}$$

Le Drone retourne à la base si l'Autonomie nécessaire est égale l'Autonomie restante majorée de 10%.

<u>3ème Constat</u> :

L'algorithme précédent commence la recherche à partir du lieu de vol. Il ne prend pas en compte le laps de temps entre le début de fuite des Dahalo et le début de poursuite des forces de l'ordre. Ce nouvel algorithme prend en compte cette information avant la poursuite. Il estime la position actuelle des malfaiteurs avant d'effectuer la recherche et se dirige d'abord vers le point détecté. Il effectue la recherche à partir de ce point.

Cette estimation se fait en calculant le rapport entre la distance de toutes les cellules par rapport au lieu du vol et la distance parcourue durant le début de transport et la poursuite et aussi distance effectuée par le Drone pour atteindre le point estimé.

$$R = \frac{D_{Ci}}{D_{Tp}} \quad (6)$$

$$D_{Tp} = D_e + D_D \quad (7)$$

$$D_e = V_D Duree \quad (8)$$

$$D_D = V_D\, T_Q \quad (9)$$

$$T_Q = \frac{Duree}{V_Q} \quad (10)$$

R : Rapport de distance (entre toutes les cellules par rapport au lieu du vol et le début de transport et la poursuite et aussi celle effectuée par le Drone pour atteindre le point estimé)

$R > 1$ Signifie que les Dahalo ne dépassent pas encore les cellules i.

D_{Ci} : Distance de cellule de rang i

D_{Tp} : Distance totale parcourue pendant la durée qui sépare le début de fuite et le début de poursuite et aussi la distance effectuée par le Drone pour atteindre le point estimé

D_e: Distance effectuée par les Dahalo pendant le laps de temps du début de transport et du début de poursuite

D_D : Distance effectuée par les Dahalo pendant le temps de vol du Quadcopter, du lieu de vol vers la future position actuelle.

V_D : Vitesse de déplacement des Dahalo

T_Q : Temps nécessaire par le Drone pour atteindre la position actuelle

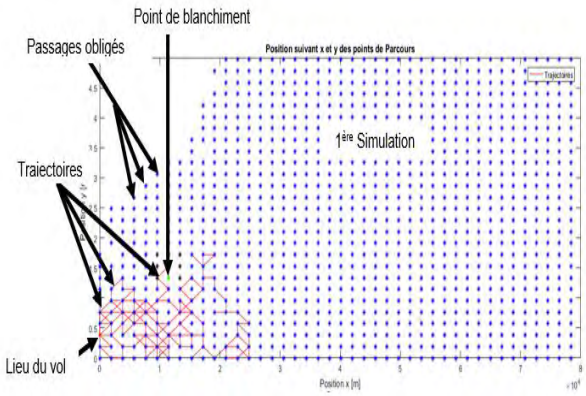
V_Q : Vitesse du Quadcopter

$Duree$: Durée qui sépare le début de fuite et le début de poursuite

V. RESULTATS

Les figures 8, 9, 10 et 11 présentent les résultats de 4 simulations successives, dans le park Kirindy Mitea (coordonnées géographiques : -20.739726, 44.172005) [7].

Sur ces figures, le Drone effectue trop de parcours pour atteindre le point limite, souvent les trajectoires divergent du point limite alors que dans la réalité, bien que les parcours soient aléatoires, elles ne doivent pas quitter trop loin les directions du point limite. Le nouvel algorithme prévoit ce cas. Les figures 12, 13 et 14 présentent les résultats de l'algorithme optimisé.



Figue 8 : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 1)

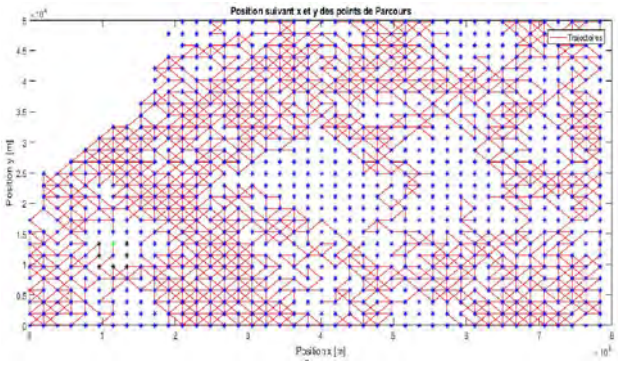


Figure 9 : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 2)

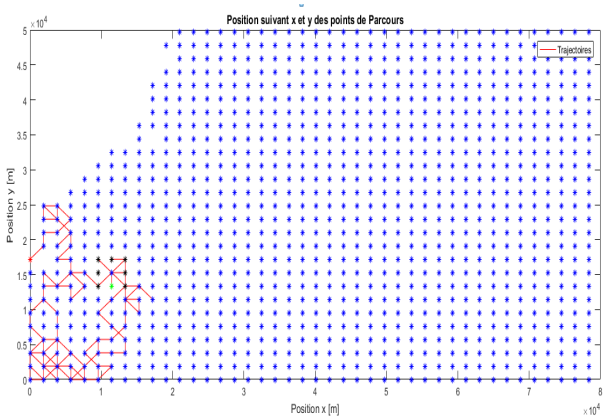


Figure 10: Probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 3)

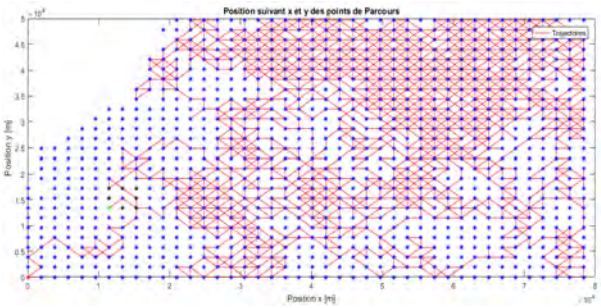


Figure 11 : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 4)

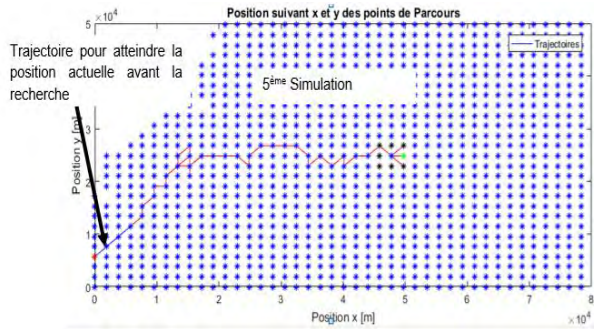


Figure 12 : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme optimisé (simulation 5)

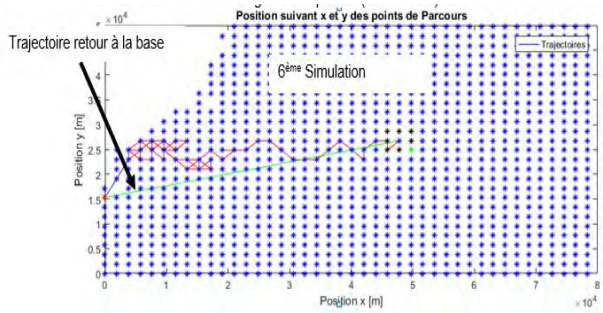


Figure 13 : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme optimisé (simulation 6)

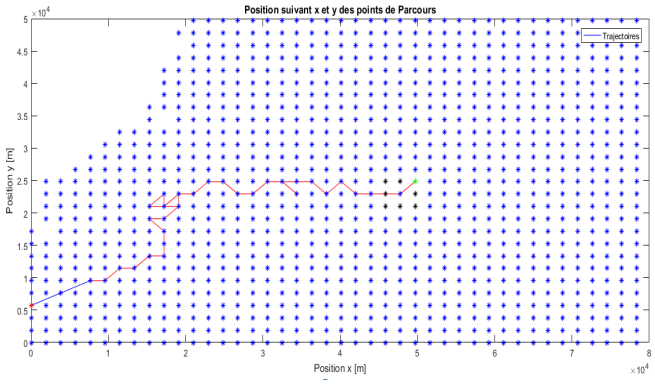


Figure 14 a : Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme optimisé (simulation 7)

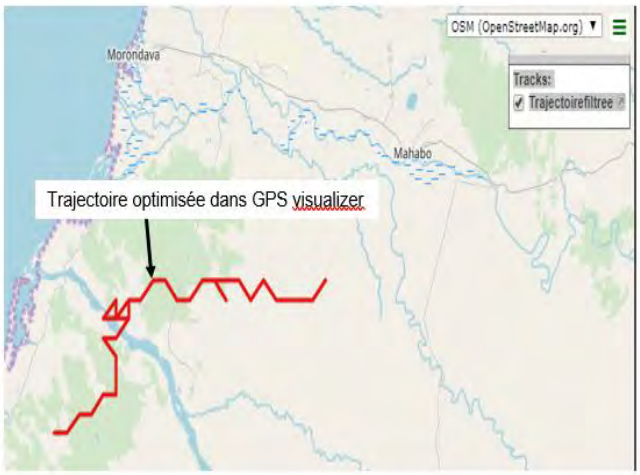


Figure 14 b: Trajectoires probables des Dahalo dans le parc Kirindy Mitea après estimation de l'algorithme optimisé reportés dans « GPS visualizer » (simulation 7)

Sur chaque figure, les points bleus représentent les passages obligés après projection sur les repères cartésiens, le point rouge représente le lieu du vol (point de départ) et le point vert représente le point limite. Les segments de droites (lignes rouges) représentent les trajectoires.

Sur les figures 12, 13 et 14, les lignes bleues représentent la trajectoire vers la position estimée pour commencer la poursuite, la

ligne verte représente la trajectoire de retour à la base. On voit sur les figures 12, 13, 14 que l'algorithme optimisé est très efficace puisque les trajectoires convergent plus ou moins directement sur le point de blanchiment.

Les figures 15 et 17 représentent les résultats de simulation non optimisés dans notre zone d'étude (Entre Miandrivazo et Belo Tsiribihina). Les figures 18 et 19 représentent les résultats optimisés de notre zone d'étude.

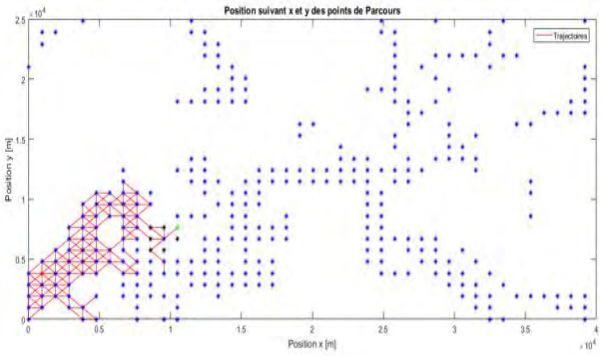


Figure 15 : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 1)

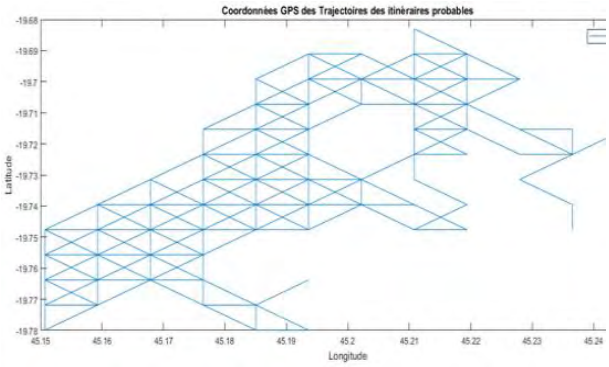


Figure 16 : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme non optimisé reportés dans les coordonnées GPS (simulation 1)

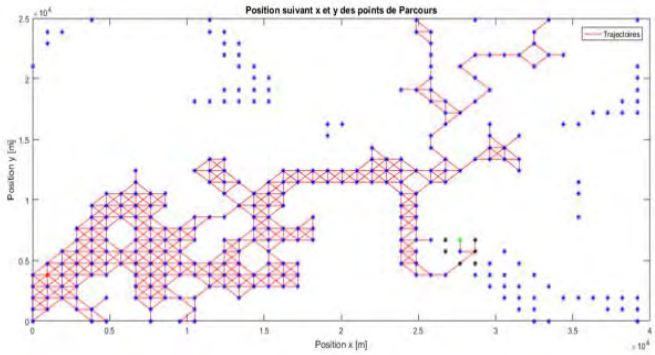


Figure 17 a : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme non optimisé (simulation 2)

Figure 17 b : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme non optimisé reportés dans « GPS visualizer » (simulation 2)

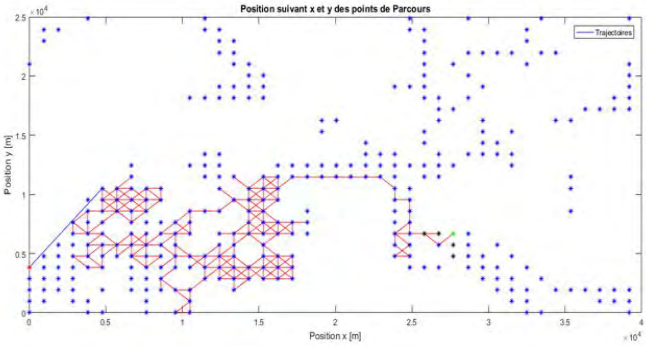


Figure 18 a : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme optimisé (simulation 3)

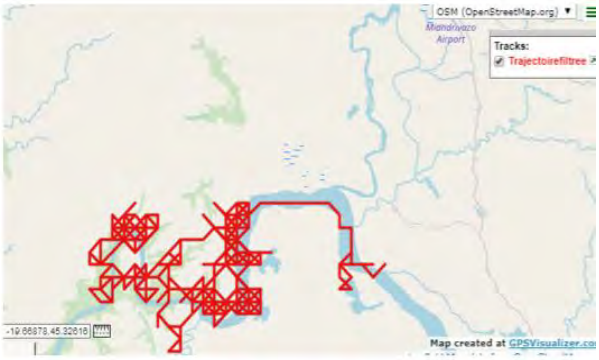


Figure 18 b: Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme optimisé reportés dans « GPS visualizer » (simulation 3)

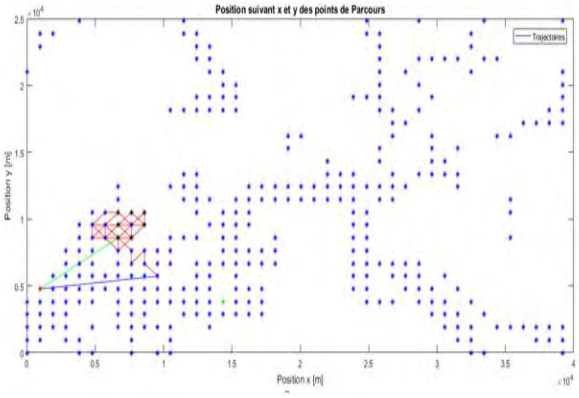


Figure19 : Trajectoires probables des Dahalo dans la zone d'étude après estimation de l'algorithme optimisé (simulation 4)

Les figures 14 b, 17 b et 18 b représentent les trajectoires importées dans GPS Visualizer. Il a été constaté que, pour l'algorithme dans [7], 9 sur 10 simulations divergent et pour l'algorithme optimisé, les 10 simulations convergent toujours. Ce dernier accélère la recherche et minimise le coût. Le temps de simulation de l'algorithme optimisé est dix fois moins que l'algorithme dans [7].

Sur l'algorithme non optimisé, le Drone s'arrête en arrivant sur le point limite alors que dans la réalité, il devrait retourner à la base après l'identification des malfaiteurs ou en cas de limite énergétique. La ligne verte représente la trajectoire du Drone lors de retour à la base. Dans cet exemple, nous avons pris un cas de retour à la base à cause de l'insuffisance énergétique.

Toujours sur cet algorithme non optimisé, le Drone commence la recherche à partir du lieu de vol, le nouvel algorithme commence la recherche à partir d'un point estimé. Ce point est déduit en fonction du temps qui sépare le début de transport des zébus effectués par les Dahalo et la poursuite. La ligne bleue représente la destination vers la position actuelle avant de faire la recherche.

VI. CONCLUSION

Cette contribution optimise les trajectoires de Drone pour localiser les zébus transportés par les Dahalo après le vol. L'optimisation se fait en privilégiant certaines cellules par rapport à ses orientations sur les points cardinaux. Elle prend en compte la vérification de l'autonomie énergétique restante à chaque point de passage pour prendre la décision de continuer la mission ou de retourner à la base. Aussi, elle intègre l'évaluation de la distance parcourue par les voleurs de zébus pendant la durée qui sépare le début de

transport des zébus et la poursuite effectuée par les forces de l'ordre.

Les résultats montrent qu'en privilégiant certaines cellules, les trajectoires convergent plus ou moins directement sur le point limite. Lorsque le Drone est en état de limite énergétique, il retourne directement à la base pour éviter des désastres. Le Drone joint d'abord la position estimée et puis effectue la recherche à partir de ce point. L'ensemble de ces éléments minimise le coût de recherche. Le plan de vol que nous avons établis peut être exploité dans d'autres domaines d'identification, de surveillance et de géolocalisation. On remarque qu'en privilégiant certaines cellules, la trajectoire converge trop rapide sur le point limite ce qui réduit la chance de trouver les zébus volés. Une autre solution pourra être projetée en cherchant des compromis entre l'ancien et le nouvel algorithme. Pour assurer l'identification, une prise de vue aérienne doit être faite par le Drone et ce dernier doit l'envoyer à la station de base pour étudier la ressemblance entre l'objet recherché et l'image prise.

1. Références

[1] Mondiale, B. (2019, Avril 13). Madagascar - Vue d'ensemble. Consulté le Août 4, 2019, sur La Banque Mondiale : https://www.banquemondiale.org/fr/country/madagascar/overview

[2] B. Tsimitamby, E. J. (2016). Rapport intermédiaire d'évaluation de thèse: Comportement dynamique des voleurs de zébus dans la partie sud de Madagascar. Toliara.

[3] Tarabey. (mai 2012). Enquête sur les bandits du Grand du Sud.

[4] Pellerin, M. (2017). Madagascar face à la criminalité multiforme. Ifri.

[5] B. Tsimitamby, E. J. (2018). Conférence des 3 IST: Localisation automatique d'un groupe d'individus aux comportements dynamiques aléatoires. Antananarivo.

[6] B. Tsimitamby, B. P. (2018). Rapport intermédiaire:Identification de points stratégiques de parcours des Dahalo par une analyse cellulaire. Brest.

[7] B. Tsimitamby, E. J. (2019). Estimation des trajectoires des Dahalo par une analyse cellulaire. Conférence des 3 ISts 2019 .

[8] Renée. (2006). Statistique et probabilités pour l'ingéniieur. Dunod 2ème édition.

[9] Charly. (2017, aôut 14). Le Phénomène Dahalo. Consulté le avril 27, 2019, sur Journal d'évasion: http://www.journaldevasion.com/les-zebus-23-le-phenomene-dahalo/

[10] Leymarie, P. (janvier 1989). Opération « sécurité intégrée » contre les voleurs de zébus.

[11] S. Mohammed, E. F. (2004). Reconnaissance d'objet en imagérie aérienne. RIST Vol 14 N°02 .