

Optimiser la connectivité des paysages écologiques

François Hamonic^{1,2}, Yann Vaxès¹, Basile Couëtoux¹, Cécile Albert²

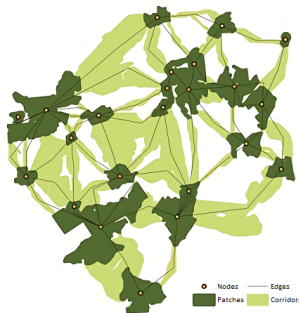
¹ Université d'Aix-Marseille, CNRS, Laboratoire d'Informatique et Systèmes
{francois.hamonic, yann.vaxes, basile.couetoux}@lis-lab.fr

² Université d'Aix-Marseille, Université d'Avignon, CNRS, IRD, IMBE
cecile.albert@imbe.fr

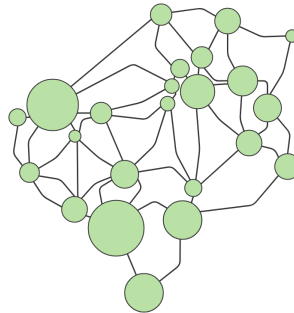
Mots-clés : *modélisation, graphes, programmation linéaire en nombres entiers.*

1 Contexte

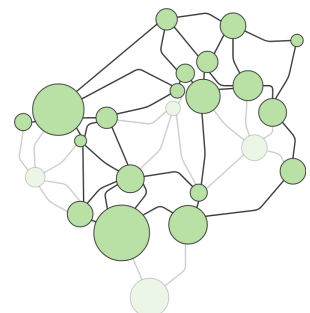
Dans un contexte d'expansion urbaine et agricole, certaines zones d'habitat naturel sont menacées. Le concept de *connectivité paysagère*, introduit dans [4], mesure la capacité des individus à se déplacer entre les zones d'habitat. L'importance de préserver cette connectivité pour la survie des espèces a été clairement établie dans [2]. Les organismes de protection de l'environnement disposent d'un budget limité pour protéger et/ou restaurer la qualité des paysages écologiques. Comment alors choisir les éléments du paysage à protéger pour préserver au maximum sa connectivité ? Une approche étudiée en écologie [1] consiste à modéliser le paysage sous la forme d'un graphe $G = (V, E)$ dont les sommets sont les zones d'habitats (appelés *patches*) et les arêtes sont les voies de circulation des individus entre les patches. Chaque sommet u du graphe est muni d'une pondération $w(u)$ qui représente l'importance du patch (en aire ou en nombre d'individus). Chaque arête uv du graphe a une pondération $l(uv)$ qui représente la difficulté pour passer de u à v . Plusieurs fonctions ont été proposées pour calculer un indice de connectivité à partir d'un graphe muni de ces pondérations. Parmi elles, l'indice de connectivité ECA [3] est celui qui explique le mieux les observations expérimentales des écologues. Cet indice est basé sur la probabilité $P(s \rightsquigarrow t)$ qu'a un individu de survivre au trajet de s à t . Cette probabilité est fonction de la distance dans le graphe entre s et t mesurée en prenant $l(uv)$ comme longueur de l'arête uv . On peut alors se poser le problème d'optimisation combinatoire suivant : étant donné $M \subseteq V$ un ensemble de sommets menacés de destruction, c_v le coût de protection du sommet v et B le budget disponible, trouver un ensemble $P \subseteq M$ de sommets à protéger avec $\sum_{v \in P} c_v \leq B$ qui maximise $ECA(G')$ où G' est le sous-graphe de G induit par le sous-ensemble $(V \setminus M) \cup P$ des sommets préservés.



(a) paysage écologique [2]



(b) modélisation par un graphe



(c) modélisation du paysage dégradé

FIG. 1 – Exemple de graphe paysager

Une approche par programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) a été récemment proposée dans [5]. Elle fait intervenir un très grand nombre de variables entières qui limite

la taille des instances traitées. Pour cette raison les auteurs de [5] proposent une approche probabiliste pour diminuer la taille des modèles en préservant une garantie de performance. Néanmoins, jusqu'à aujourd'hui, les écologues résolvent le problème de manière gloutonne, en choisissant à chaque étape de protéger le patch menacé dont la suppression fait le plus fortement chuter la valeur de ECA.

2 Contributions

Nous avons montré, par réduction depuis DENSEST K -SUBGRAPH, que ce problème est NP-Difficile pour tout indice de connectivité pour lequel la contribution d'une paire de patchs est une fonction décroissante de leur distance (e.g. ECA). Cela reste vrai même lorsque les coûts de protection sont unitaires. Par ailleurs, nous proposons un modèle alternatif, linéaire, basé sur les marches aléatoires avec des pertes proportionnelles à la difficulté de transiter d'un patch à un autre. Les variables de décisions de ce modèle représentent le nombre de fois qu'une arête est empruntée lors d'une marche aléatoire. La fonction objectif est la somme sur l'ensemble des patchs t du nombre d'individus qui réussissent à atteindre t à partir des autres patchs. Ce modèle présente plusieurs avantages par rapport au modèle existant. Du point de vue pratique, les seules variables entières de ce modèle sont celles qui représentent les décisions de protection des patchs alors que le modèle de [5] introduit plusieurs variables entières supplémentaires pour chaque paire de patchs. Du point de vue écologique, alors que ECA ne prend en compte que la longueur du plus court chemin dans le graphe paysager, notre modèle capture aussi la diversité des chemins possibles entre deux sommets donnés. Par ailleurs, notre modèle permet de prendre en compte certaines caractéristiques des déplacements d'individus à travers les paysages écologiques. En particulier, le fait que les individus ont souvent tendance à continuer dans la même direction plutôt qu'à faire demi-tour. L'absence de prise en compte de la mémoire à court terme des individus a jusqu'ici freiné le développement de modèles basés sur les marches aléatoires dans le domaine de l'étude des paysages écologiques.

Nous avons implémenté un programme basé sur cette modélisation ainsi que les différentes approches mentionnées précédemment : algorithme glouton, PLNE basé sur ECA. Nous présentons des résultats numériques qui permettent de comparer de manière expérimentale les temps de calcul et la qualité des résultats obtenus. Sur la base de ces expérimentations, la prochaine étape de notre travail consistera à faire valider la pertinence de ce modèle par la communauté des chercheurs en écologie spécialisés dans l'étude des paysages.

Références

- [1] Andrew Fall, Marie-Josée Fortin, Micheline Manseau, and Dan O'Brien. Spatial graphs : Principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems*, 10(3) :448–461, 2007.
- [2] Deborah A. Rudnick, Sadie J Ryan, Paul Beier, Samuel A. Cushman, Fred Dieffenbach, Clinton W Epps, Leah R. Gerber, Joel N. Hartter, Jeffrey S. Jenness, Julia A. Kintsch, Adina M. Merenlender, Ryan Mitchel Perkl, Damian V. Preziosi, and Stephen C. Trombulak. The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. *Issues in Ecology*, 16 :1–20, 2012.
- [3] Santiago Saura, Christine Estreguil, Coralie Mouton, and Mónica Rodríguez-Freire. Network analysis to assess landscape connectivity trends : Application to european forests (1990–2000). *Ecological Indicators*, 11 :407–416, 2011.
- [4] Philip D. Taylor, Lenore Fahrig, Kringen Henein, and Gray Merriam. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68 :571–573, 1993.
- [5] Yexiang Xue, Xiaojian Wu, Dana Morin, Bistra Dilkina, Angela Fuller, J. Andrew Royle, and Carla P. Gomes. Dynamic optimization of landscape connectivity embedding spatial-capture-recapture information. In *31st AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 4552–4558, 2017.