



**HAL**  
open science

## Unifier les stratégies de sélection de réserve avec la programmation par contraintes et les graphes

Dimitri Justeau-Allaire, Philippe Birnbaum, Xavier Lorca

### ► To cite this version:

Dimitri Justeau-Allaire, Philippe Birnbaum, Xavier Lorca. Unifier les stratégies de sélection de réserve avec la programmation par contraintes et les graphes. JFPC 2019 - Actes des 15es Journées Franco-phones de Programmation par Contraintes, Jun 2019, Albi, France. p. 27-29. hal-02160264

**HAL Id: hal-02160264**

**<https://imt-mines-albi.hal.science/hal-02160264>**

Submitted on 20 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Unifier les stratégies de sélection de réserve avec la programmation par contraintes et les graphes.

Dimitri Justeau-Allaire<sup>1,2,3\*</sup> Philippe Birnbaum<sup>1,2,3</sup> Xavier Lorca<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CIRAD, UMR AMAP, F-34398 Montpellier, France

<sup>2</sup> Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC), 98800 Noumea, New Caledonia

<sup>3</sup> AMAP, Univ Montpellier, CIRAD, CNRS, INRA, IRD, Montpellier, France

<sup>4</sup> ORKID, Centre de Génie Industriel, IMT Mines Albi

Campus Jarlard, 81013 Albi cedex 09, France

{dimitri.justeau-allaire,philippe.birnbaum}@cirad.fr xavier.lorca@mines-albi.fr

## Résumé

Concilier la conservation des habitats naturels avec le développement socioéconomique constitue aujourd'hui un défi majeur. Le problème de sélection de réserve se propose d'y répondre avec une approche systématique. Cependant, les modèles existants se focalisent sur des variantes précises du problème et ne permettent pas de prendre en compte l'ensemble des contraintes auxquelles les gestionnaires peuvent être confrontés. Dans un article présenté à CP 2018 [4], nous avons montré comment la programmation par contraintes (CP) et la modélisation basée sur les graphes permet d'agréger les différents aspects du problème dans un modèle unique et flexible, puis nous avons validé ce modèle sur un cas d'utilisation en Nouvelle-Calédonie. Nous résumons ici cet article, et introduisons les perspectives qu'il ouvre dans le domaine de l'aide à la décision pour la conservation de la nature.

## 1 Le problème de sélection de réserve

Le problème de *sélection de réserve*<sup>1</sup> a été introduit entre le milieu des années 1970 et le début des années 1980 (cf. [8] pour une revue historique sur le sujet). C'est un problème combinatoire qui s'applique dans un espace géographique maillé  $\mathcal{P}$ , généralement selon une grille carrée. L'objectif est de mettre en évidence une zone qui répond à un ensemble de contraintes écologiques et socioéconomiques, avec ou sans optimisation. Cette zone est composée de réserves, chacune compo-

sée d'un ensemble de cellules connectées selon un voisinage défini dans la maille. Un exemple est fourni dans la Figure 1 et deux voisinages dans une grille carrée sont illustrés dans la Figure 2.

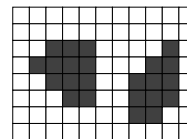


FIGURE 1 – Exemple de solution au problème de sélection de réserve : deux réserves.

On distingue deux catégories de contraintes : les contraintes de couverture et les contraintes spatiales.

**Contraintes de couverture** L'espace géographique  $\mathcal{P}$  est caractérisé par un ensemble de caractéristiques spatiales  $\mathcal{F}$ . Pour chaque caractéristique  $j \in \mathcal{F}$ , une valeur numérique  $v_{ji}$  (binaire, quantitative ou probabiliste) est définie pour chaque cellule  $i \in \mathcal{P}$ . Les caractéristiques spatiales peuvent représenter l'occupation du sol (e.g. écosystèmes), la biodiversité (e.g. espèces observées), ou des valeurs socioéconomiques (e.g. zones exploitables). Les contraintes de couverture s'appliquent sur ces caractéristiques et permettent de définir les seuils de couverture minimaux et/ou maximaux que la zone doit couvrir pour chacune d'elles.

**Contraintes spatiales** Les contraintes spatiales permettent de contrôler la configuration spatiale de la zone à délimiter, selon les attributs définis par

\*Papier doctorant : Dimitri Justeau-Allaire<sup>1,2,3</sup> est auteur principal.

1. Aussi connu comme *conception de réserve*, ou *planification systématique de la conservation* [5].

Williams et al. [9] : *nombre de réserves* (i.e. de zones connectées), *surface des réserves*, *surface totale*, distance entre les réserves, connectivité dans les réserves, forme des réserves et zones tampon autour des réserves. Dans le cadre de ce travail nous nous sommes limités aux contraintes représentées en italique, les autres feront l'objet de travaux futurs.



(a) Voisinage 4-connecté. (b) Voisinage 8-connecté.

FIGURE 2 – Deux voisinages dans une grille carrée (en gris : voisinage de  $x$ ).

## 2 Un modèle CP unifié

Nous avons proposé un modèle CP permettant d'intégrer les contraintes de couverture et les contraintes spatiales de manière transparente. Dans ce modèle, chaque cellule  $i$  de la maille est représentée par une variable booléenne  $b_i$ . La cellule  $i$  est dans la zone à délimiter si et seulement si  $b_i = 1$ . Ces variables sont les variables de décision du modèle et il est possible d'y exprimer directement les contraintes de couverture via des contraintes de flot ou des contraintes de couverture par ensembles. Afin d'exprimer les contraintes spatiales, nous avons introduit  $G = (\mathcal{P}, E)$ , un graphe spatial non dirigé qui représente la maille. Un sommet est associé à chaque cellule  $i \in \mathcal{P}$  et  $E$  est défini tel qu'il existe une arête  $(u, v)$  si et seulement si  $u$  et  $v$  sont adjacents selon le voisinage choisi. A partir de  $G$  nous avons défini la variable graphe  $g = (v, e) \in [\emptyset, G]$ , chaînée avec les variables de décision de manière à ce que  $b_i = 1 \Leftrightarrow i \in v \wedge (i, j) \in e \Leftrightarrow b_i = b_j = 1$ . La variable  $g$  permet alors d'exprimer les contraintes de connectivité et celles sur la taille des réserves via ses composantes connexes. Ce modèle a été implémenté avec le solveur Choco [7] et son extension Choco-graph [2] qui permet l'utilisation de variables graphes.

## 3 Cas d'utilisation : fragmentation forestière au sud de la Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie est un archipel tropical situé dans la région du Pacifique Sud. C'est un point chaud de la biodiversité [6] dont la flore se caractérise par un taux d'endémisme exceptionnellement élevé. Malheureusement, les forêts néo-calédoniennes ne sont pas épargnées par la déforestation et elles sont menacées par la fragmentation, qui fragilise les communautés végétales et animales. Pour notre cas d'utilisation,

nous nous sommes basés sur une étude d'Ibanez et al. conduite dans le sud de la Nouvelle-Calédonie [3]. Celle-ci visait à mieux comprendre l'impact de la fragmentation sur les communautés d'arbres dans une zone où la biodiversité est menacée par l'extraction du nickel, un des pilier de l'économie néo-calédonienne.

En concertation avec les écologues à l'origine de cette étude, nous avons considéré un scénario fictif basé sur des données réelles. Dans celui-ci, il est question de protéger une zone qui couvre 223 espèces d'arbres, au moins 340ha de forêt, qui est formée d'au plus deux réserves d'au moins 300ha et dont la surface totale n'excède pas 1000ha. Afin de minimiser les coûts d'établissement et de gestion, nous avons cherché à minimiser la surface totale de la zone à protéger. La meilleure solution obtenue (sans preuve d'optimalité) est illustrée dans la Figure 3.

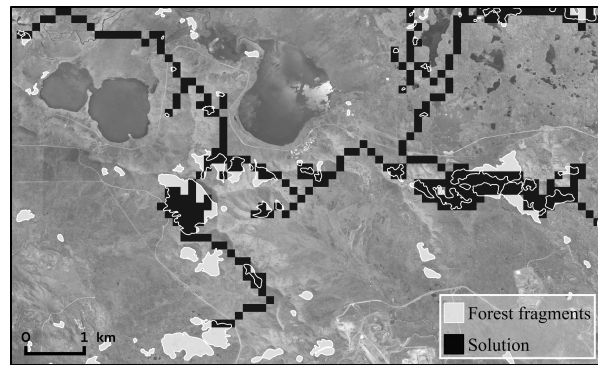


FIGURE 3 – Meilleure solution obtenue dans le cas d'utilisation : environ 496ha, 1 réserve.

## 4 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons introduit le premier modèle CP permettant d'aborder le problème de sélection de réserve en combinant des contraintes spatiales et de couverture. Nous avons montré que cette technique permet d'unifier les différents aspects du problème dans un modèle à partir duquel nous avons pu traiter un cas d'étude basé sur des données réelles. Ce travail a été présenté aux autorités néo-calédoniennes et ouvre différentes perspectives en matière d'aide à la décision pour la conservation de la nature. Parmi celles-ci, les priorités pour nos travaux futurs concernent la modélisation de contraintes spatiales complexes (e.g. zone tampon) et la généralisation du modèle en un problème de partitionnement. Cette approche permettrait ainsi d'exprimer des contraintes sur des zones correspondant à différents niveaux de protection, en accord avec les lignes directrices de l'IUCN pour la gestion des aires protégées [1].

## Références

- [1] Nigel DUDLEY : *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. IUCN, 2008.
- [2] Jean-Guillaume FAGES, Charles PRUD'HOMME et Xavier LORCA : Choco Graph Documentation, février 2018.
- [3] Thomas IBANEZ, Vanessa HEQUET, Céline CHAMBREY, Tanguy JAFFRÉ et Philippe BIRNBAUM : How does forest fragmentation affect tree communities? A critical case study in the biodiversity hotspot of New Caledonia. *Landscape Ecology*, 32(8) :1671–1687, août 2017.
- [4] Dimitri JUSTEAU-ALLAIRE, Philippe BIRNBAUM et Xavier LORCA : Unifying Reserve Design Strategies with Graph Theory and Constraint Programming. In John HOOKER, éditeur : *Principles and Practice of Constraint Programming*, Lecture Notes in Computer Science, pages 507–523. Springer International Publishing, 2018.
- [5] C. R. MARGULES et R. L. PRESSEY : Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783) :243–253, mai 2000.
- [6] Norman MYERS, Russell A. MITTERMEIER, Cristina G. MITTERMEIER, Gustavo A. B. DA FONSECA et Jennifer KENT : Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772) :853–858, février 2000.
- [7] Charles PRUD'HOMME, Jean-Guillaume FAGES et Xavier LORCA : *Choco Documentation*. 2017.
- [8] Sahotra SARKAR : Complementarity and the selection of nature reserves : Algorithms and the origins of conservation planning, 1980–1995. *Archive for History of Exact Sciences*, 66(4) :397–426, juillet 2012.
- [9] Justin C. WILLIAMS, Charles S. REVELLE et Simon A. LEVIN : Spatial attributes and reserve design models : A review. *Environmental Modeling & Assessment*, 10(3) :163–181, septembre 2005.