

Une approche basée sur la programmation par contraintes pour accompagner les initiatives agroécologiques durables de petites exploitations agricoles*

Margot Challand^{1,2} Philippe Vismara^{2,3} Dimitri Justeau-Allaire⁴ Stéphane de Tourdonnet¹

¹ ABSys, Univ Montpellier, CIHEM, Cirad, INRAE, Institut Agro Montpellier, Montpellier, France

² MISTEA, Univ Montpellier, INRAE, Institut Agro Montpellier, Montpellier, France

³ LIRMM, Univ Montpellier, CNRS, Montpellier, France

⁴ AMAP, Univ Montpellier, Cirad, CNRS, INRAE, IRD, Montpellier, France

{margot.challand, philippe.vismara, stephane.de-tourdonnet}@supagro.fr dimitri.justeau@ird.fr

Résumé

L'objectif des Nations Unies de développer une agriculture durable nécessite, en particulier, d'accompagner les petites exploitations dans leur transition agroécologique. Cette transition implique souvent de complexifier l'agrosystème et d'augmenter le nombre de cultures pour favoriser la biodiversité et les services écosystémiques. Dans cet article, nous introduisons un modèle flexible basé sur la programmation par contraintes pour résoudre le problème d'allocation des cultures. Ce problème prend en entrée un calendrier de culture et vise à allouer les cultures tout en respectant plusieurs contraintes. Nous avons montré qu'il est possible de modéliser à la fois les contraintes agroécologiques et opérationnelles au niveau d'une petite exploitation. Des expérimentations menées sur une micro-ferme biologique ont montré qu'il est possible de combiner ces contraintes pour concevoir des scénarios de culture très différents et que notre approche peut s'appliquer à des situations réelles. Les résultats prometteurs de cette étude illustrent le potentiel des outils basés sur la programmation par contraintes pour relever les défis des petites exploitations agricoles dans le contexte de la transition vers une agriculture durable.

1 Introduction

L'agriculture actuelle fait face à des défis majeurs, notamment en matière de sécurité alimentaire et de durabilité des systèmes alimentaires. Dans ce contexte,

l'agroécologie se profile comme un levier de changement, visant à instaurer des systèmes alimentaires locaux durables. Cependant, malgré la reconnaissance des principes agroécologiques, leur mise en pratique reste un défi, nécessitant le développement d'outils spécifiques [1], notamment pour l'allocation temporelle et spatiale des cultures. Actuellement, les outils disponibles ne répondent pas pleinement aux besoins des petites exploitations [2], qui jouent pourtant un rôle vital dans la production alimentaire mondiale. Les vergers-maraîchers, systèmes agroforestiers alliant arbres fruitiers et cultures maraîchères, représentent une réponse prometteuse aux enjeux agricoles contemporains. Du fait de leurs fortes propriétés agroécologiques, ces systèmes peuvent limiter les externalités négatives des systèmes agricoles tout en maintenant des niveaux élevés de production agricole par unité de surface. Cependant, l'élaboration annuelle des plans de culture de vergers-maraîchers diversifiés par les maraîchers reste complexe, notamment en raison de la multiplicité des contraintes opérationnelles, pédoclimatiques et agroécologiques à prendre en compte. Cet article propose d'utiliser la programmation par contraintes pour modéliser et résoudre le problème d'allocation des cultures dans des petites exploitations diversifiées. Il s'agit d'une première étape vers le développement d'un outil opérationnel, avec une phase de validation participative prévue avec des acteurs de terrain. L'objectif est de fournir des alternatives pour une planification des cultures maraîchères intégrant des contraintes agroéco-

*Cet article est un résumé de celui publié à IJCAI 2023 : <https://doi.org/10.24963/ijcai.2023/657>

logiques, afin de promouvoir une agriculture durable

2 Modélisation

On considère une micro-ferme composée de planches de cultures et un calendrier de cultures décrivant sur plusieurs mois l'ensemble des plantes à cultiver. Chaque culture est caractérisée par sa famille botanique, l'intervalle de temps pendant lequel elle sera cultivée au champ et ses caractéristiques spécifiques telles que les besoins en lumière, les exigences de soins et de surveillance, ainsi que les interactions avec d'autres espèces. Le problème d'allocation des cultures consiste à trouver une allocation de cultures réalisable où chaque culture est affectée à une planche de culture de manière à interdire les chevauchements temporels et à respecter diverses contraintes opérationnelles, agroécologiques et pédoclimatiques. Ces contraintes incluent des délais de retour entre les cultures de la même famille, l'interdiction des interactions négatives entre les cultures, la dilution spatiale des cultures de la même espèce, la compatibilité des planches de cultures avec les besoins spécifiques des cultures, et le regroupement des cultures identiques sur des planches adjacentes.

Si la version de base du problème d'allocation de cultures peut être résolue en temps polynomial en le réduisant à un problème de coloration de graphe d'intervalles, l'ajout des contraintes supplémentaires le rend NP-complet. Pour résoudre ce problème, une approche de programmation par contraintes (CP) est proposée où les contraintes sont exprimées de manière déclarative et flexibles. Le modèle CP définit une variable de décision pour chaque culture – dont le domaine est l'ensemble des planches de cultures – et des contraintes pour garantir une allocation réalisable et optimale selon les objectifs des maraîchers. Une implémentation de ce modèle a été réalisée avec Choco-solver, un solveur CP open-source en Java.

3 Expérimentation

Le modèle a été testé sur le cas réel d'une micro-ferme biologique de 1 hectare composée de 80 planches de cultures. Pour l'étude, nous avons utilisé le calendrier de cultures créé par les maraîchers pour l'année 2022, comprenant 77 cultures de légumes à cultiver sur différentes périodes. Trois scénarios avec des ensembles de contraintes contrastées ont été établis pour étudier la possibilité d'explorer des plans de culture prenant en compte diverses contraintes de types agroécologiques, opérationnelles et pédoclimatiques. Ces trois scénarios ont pour objectif de (i) favoriser les interactions positives entre les cultures, (ii) d'appliquer des rotations culturales et un effet dilution des cultures et (iii)

de simplifier la gestion des cultures en tenant compte des exigences opérationnelles des agriculteurs, tout en satisfaisant les contraintes pédoclimatiques.

Les résultats montrent que les deux derniers scénarios ont été résolus instantanément par le solveur, tandis que pour le premier scénario, la preuve d'optimalité n'a pas été obtenue dans le temps imparti malgré l'usage d'un portfolio en parallèle. Les trois scénarios ont fourni des solutions différentes du plan de culture qui avait été conçu par les maraîchers. Par exemple, dans le premier scénario, aucune paire de cultures avec des interactions négatives n'a été allouée à des planches de cultures adjacentes, alors que cette situation existait dans le plan de culture des maraîchers. Ces résultats montrent que le modèle proposé permet d'explorer différentes options de planification de culture tout en tenant compte de diverses contraintes.

4 Discussion et conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un modèle basé sur la Programmation par Contraintes pour aider les petites exploitations agricoles à planifier leurs cultures de manière efficace. Contrairement aux méthodes traditionnelles, notre approche prend en compte une grande variété de cultures et de contraintes, ce qui en fait un outil flexible et adapté aux besoins spécifiques des petites exploitations agricoles diversifiées.

En utilisant une étude de cas réelle d'une ferme agroécologique, nous avons montré que ce modèle permet de générer des plans de culture alternatifs et diversifiés, favorisant ainsi des systèmes alimentaires durables. Cependant, nous soulignons la nécessité de rendre cette approche accessible et adaptable à différentes situations agricoles, en la confrontant à d'autres cas d'études, afin d'offrir aux petites exploitations agricoles la possibilité d'explorer des plans de culture innovants tout en gérant les contraintes opérationnelles incontournables.

Références

- [1] M. Duru, O. Therond, G. Martin, R. Martin-Clouaire, M.-A. Magne, E. Justes, E.-P. Journet, J.-N. A., S. Savary, J.-E. Bergez, and J.-P. Sarthou. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services : a review. *Agro-nomy for Sustainable Development*, 35, 10 2015.
- [2] J. Schöning, P. Wachter, and D. Trautz. Crop rotation and management tools for every farmer ? : The current status on crop rotation and management tools for enabling sustainable agriculture worldwide. *Smart Agricultural Technology*, 3 :100086, 2023.