

# Problème de contrôle:la gestion sylvicole

loubna Taleb

04 Avril 2024

## 1 Introduction

De jour en jour, les effets néfastes du changement climatique sur les écosystèmes s'intensifient. Cela impacte négativement les forêts, qui constituent le moteur du fonctionnement de la Terre, en particulier les arbres qui transforment l'énergie solaire en matière organique.

La gestion forestière, face au changement climatique, représente un enjeu central pour maintenir le bon fonctionnement de l'écosystème. Il est donc nécessaire de trouver une approche de gestion adaptée, prenant en compte à la fois le changement climatique et l'impact des activités humaines sur les forêts à long terme. C'est pour cette raison que la théorie de viabilité apparaît comme le moyen le plus approprié pour identifier les stratégies sylvicoles réalisables dans un système dynamique soumis à un ensemble de contraintes économiques et écologiques.

je vais tenter de poser clairement le problème afin de le résoudre à l'aide de l'algorithme génétique, déjà utilisé et implémenté lors du stage précédent pour certains contrôles. Pour ce faire, je commencerai par définir l'ensemble des paramètres qui caractérisent le problème de contrôle.

## 2 Système de contrôle

Soit  $X$  l'espace d'états des forêts et  $f$  la dynamique qui définit l'évolution des forêts au cours du temps. On peut alors définir une évolution  $x(t) \in X$  qui décrit l'état du système pour tout  $t \in [0, T]$ . Cette évolution peut être influencée par des actions extérieures, appelées contrôles  $u(t)$ , et est gouvernée par la dynamique  $f$ , selon l'équation :

$$x(t+1) = f(x(t), u(t))$$

où  $x \in X$ ,  $t \in [1, T]$  et  $u(t) \in U$ .

$X$  est défini comme l'ensemble des diamètres  $D_i(t)$  et des proportions du houppier  $cs_i(t)$  de tous les arbres de la population  $pop(t)$ , donc on peut écrire :

$$X = \{(D_i(t), cs_i(t)), \forall i \in pop(t)\}$$

et  $f$  est l'ensemble des équations qui définissent la dynamique des forêts, définies par Forceps (Mortalité, Régénération, Croissance).

### 2.1 Contrôle

### 2.2 Variables de contrôle

Les gestionnaires forestiers peuvent travailler avec 4 paramètres pour contrôler la forêt :

1.  $\theta$  : la période de l'intervention, qui peut être définie sur l'ensemble  $\{5, 10, 15, 20\}$  (exprimée en années).
2.  $t_p$  : le type d'éclaircie, qui indique la méthode de coupe des arbres selon les valeurs  $\{0, 1, 0.5\}$  : 0 correspond à une coupe décroissante en termes de circonférence de l'arbre, 1 à une coupe croissante, et 0.5 à une coupe aléatoire.
3.  $G_{obj}$  : la surface terrière restante après l'intervention, définie par l'ensemble  $IG = \{0, 10, 15, 20, 25, 30, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$  (exprimée en % ou en  $m^2/ha$ ).

4.  $C_f$ : la composition cible après l'intervention, c'est-à-dire la proportion de la surface terrière restante cible à laisser à la fin de l'intervention (exprimée en pourcentage %). On souhaite gérer au maximum 5 espèces parmi les espèces choisies dans la simulation, donc on peut définir l'ensemble sous cette forme:

$$C_f = \{C_{f1}, C_{f2}, C_{f3}, C_{f4}, C_{f5}\}$$

tel que  $\forall i \in [1; 5], C_{fi} \in [0, 1]$ , donc on peut écrire:

$$C_f = \{C_{fk} \mid k \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \text{ et } C_{fk} \in [0, 1]\}$$

$$U = \{(\theta, t_p, G_{obj}, C_{f1}, C_{f2}, C_{f3}, C_{f4}, C_{f5}) \in \{5, 10, 15, 20\} \times \{0, 0.1, 1\} \times IG \times [0, 1]^5\}$$

### 2.3 Choix de la composition :

Considérons les vecteurs de proportions suivants définis comme des listes :

$$\begin{aligned} I1 &= [50, 50, 0, 0, 0], \\ I2 &= [20, 80, 0, 0, 0], \\ I3 &= [20, 40, 40, 0, 0], \\ I4 &= [40, 40, 20, 0, 0], \\ I5 &= [25, 25, 25, 25, 0], \\ I6 &= [30, 20, 25, 25, 0], \\ I7 &= [20, 20, 20, 20, 20], \\ I8 &= [20, 30, 10, 20, 20]. \end{aligned}$$

Pour regrouper ces listes dans une collection  $I$  qui définissent toutes les compositions possibles, nous définissons  $I$  comme :

$$I = [I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8]$$

Ainsi, l'ensemble  $U$  est défini par :

$$U = \{(\theta, t_p, G_{obj}, C_f) \in \{5, 10, 15, 20\} \times \{0, 0.1, 1\} \times IG \times I\}$$

### 2.4 L'ensemble des contrôles admissibles : Les contraintes sur le contrôle

Pour déterminer cet ensemble, je me suis basé sur le fichier qui applique l'intervention ainsi que sur le rapport de Michelle et ses codes pour l'algorithme génétique. Commençons par les années d'intervention : Soit  $T_{inv}$  l'ensemble des années d'intervention, dont la longueur est le nombre d'interventions décidé, d'où :

$$T_{inv} = \{t_n = t_0 + n \times \theta_k \mid \forall n \in [0, N] \text{ et } \theta_k \in [5, 10, 15, 20]\}$$

donc, la première condition est que  $t \in T_{inv}$ .

Pour la surface terrière :

1. Transformer tout en  $m^2/ha$  si la surface terrière est exprimée en %,  $G_{obj}(t) = G(t) \times \text{pourcentage de } G_{obj}$ .
2.  $G_{obj}(t) > 0$ .
3. La somme des pourcentages des surfaces terrières de chaque espèce doit être inférieure ou égale à 100 :  $\sum_{i \in \text{nb\_Esp}} \%G_{obji} \leq 100$ .
4.  $G_{obj} \leq G(t0)$ .

5. La somme des pourcentages des surfaces terrières réelles doit toujours être supérieure ou égale à la surface terrière ciblée, sinon on fait des ajustements pour supprimer les espèces qui ne respectent pas cette condition et pour ajuster les pourcentages:

$$NGobj\_ \%_i = \frac{\%G_{réel_i}}{\%G_{corrigé}} \times 100$$

. où  $NGobj\_ \%_i$  est le pourcentage de la nouvelle surface terrière ciblée de l'espèce  $i$ ,  $\%G_{corrigé}$  est la somme des pourcentages de la surface terrière des espèces qui respectent la contrainte, et  $\%G_{réel}$  est la surface terrière restante de l'espèce  $i$  après l'intervention

6. Processus de la coupe:

- (a)  $G_{obj}(t) \leq G(t) - G_{coupée}$  .
- (b)  $G_{ciblée\_espèce}(t) \leq G_{réel}(t)$  . Tel que :  $G_{obj\_espèce}(t)$  est la surface terrière ciblée par les gestionnaires après l'intervention, et  $G_{réel}(t)$  est la surface terrière réelle restante après l'intervention.
- (c) On coupe les arbres dans l'ordre croissant d'un score  $\alpha$ :

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} \frac{1+C_{max}(t)-C_i(t)}{1+C_{max}(t)-C_{min}(t)} & \text{si } t_p = 0, \\ \frac{1+C_{max}(t)+C_i(t)}{1+C_{max}(t)-C_{min}(t)} & \text{si } t_p = 1, \\ \text{PUniforme\_aléatoire} & \text{si } t_p = 0.5. \end{cases}$$

. où  $C_{max}(t), C_i(t)$  et  $C_{min}(t)$ : indiquent les circonférences : maximale , minimale et de l'espèce  $i$  pendant l'année  $t$

7. Finalement, il faut faire l'intervention dans le sens de la minimisation de la différence entre la composition réelle et la composition ciblée:

$$u(t) = \arg \min \left\{ \sum_{esp \in Esp} |\%G_{esp}^{réel} - \%G_{esp}^{ciblée}| \right\}$$

Donc,  $U$  devient :

$$U = \{(\theta, t_p, G_{obj}, C_{fi}) \in [5, 10, 15, 20] \times \{0, 0.1, 1\} \times IG \times IC_f \mid \text{2.4, 1, 2, 3, 4, 5, 6a, 6b, 6c}\}$$

### 3 Les contraintes économiques et écologiques

Comme Michelle a mentionné dans son rapport, il y a 5 contraintes qu'il faut respecter :

- 1. La biomasse doit être supérieure à  $30 \text{ m}^3/ha$  .
- 2. La surface terrière à maintenir doit être supérieure à  $10 \text{ m}^2/ha$  .
- 3. La diversité structurelle, mesurée par le coefficient de Gini, doit se situer dans l'intervalle  $[0.25; 0.75]$  .
- 4. Il doit y avoir au moins deux espèces, donc  $nb\_esp > 2$  .
- 5. Le taux de mortalité doit être inférieur ou égal à 0.25 .

Donc, on peut définir  $K$  comme suit :

$$K = \{x_i(t) = (D_i(t), cs_i(t)) \forall i \in pop \text{ et } t \in T_{inv} \mid \text{1, 2, 3, 4, 5}\}$$

## 4 Le noyau de viabilité

Puisque tous les paramètres sont définis, ce qui nous permet de travailler sur un problème de contrôle , il nous reste à définir le noyau de viabilité(ce qu'on cherche). Ce noyau définit l'ensemble des contrôles satisfaisants à partir de l'état initial  $x_0$ , noté  $V_k(x_0)$  :

$$V_k(x_0) = \{u(\cdot) \in U \mid x(0) = x_0 \text{ et pour tout } t, x(t+1) = f(x(t), u(t)) \in K\}$$

Par conséquent, nous aurons utiliser l'algorithme génétique qui définit l'ensemble des contrôles viables, c'est-à-dire ceux qui respectent les contraintes établies en incluant la composition objective comme un 4 contrôle pour faciliter la décision aux gestionnaires. ce qui nous permettra ensuite de maintenir la fourniture des services écosystémiques forestiers dans le futur.