Problème de contrôle:la gestion sylvicole

loubna Taleb

11 Avril 2024

1 Contrôle

1.1 Variables de contrôle

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

1. θ : 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 V1=[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 V2= [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 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 forme un quintuplet :
$$C_f = [C_{f1}, C_{f2}, C_{f3}, C_{f4}, C_{f5}]$$

1.2 choix de la composition objective

Soit $C_f \in [0, 1]$, nous avons choisi de travailler sur cette intervalle $L = [0, 0.1, 0.2, \ldots, 0.9, 1]$. Ainsi, je vais créer un fichier qui combine toutes les combinaisons possibles pour 5 espèces.Donc , on peu écrire :

$$L = [0, 0.1, 0.2, \ldots, 0.9, 1], \quad \text{donc} \quad \text{card}(L) = 11$$

$$\text{Ainsi, } L^5 = \{(C_{f1}, C_{f2}, C_{f3}, C_{f4}, C_{f5}) \,|\, \forall i \in [1, 5], C_{fi} \in L\}$$

Ce qui nous donne au final :

$$\text{card}(L^5) = \text{card}(L)^5 = 11^5 = 161051$$

Grâce à un script Python, nous sélectionnons toutes les combinaisons dont la somme est égale à 1. Ainsi, nous trouvons 860 combinaisons possibles.

Soit $V3 = L^5_{\sum \xi_i = 1}$, où ξ_i représente la proportion pour chaque espèce. Ceci désigne l'ensemble de toutes les combinaisons possibles dont la somme est égale à 1.

Donc, C_f peut prendre la forme de n'importe quelle combinaison possible dans V^3.

Puisque les interventions n'ont pas lieu tous les ans, on définit par la suite T_{inv} qui représente les années d'intervention grâce aux périodes des nb_{inv} interventions. On pose θ_k le nombre d'années entre la k-ième intervention et celle qui la précède, et tel que $\theta_k \in \{5, 10, 15, 20\}$:

$$T_{\text{inv}} = \left\{ \sum_{k=1}^{l} \theta_k \,|\, \forall l = 1, \ldots, nb_{\text{inv}} \right\}$$

Donc, on peut définir $w(t_{\text{inv}})$ la variable caractérisant l'intervention pour la surface terrière objective et la composition cible ou bien objective, et qui aura lieu l'année $t_{\text{inv}} \in T_{\text{inv}}$:

$$w(t_{\text{inv}}) = (G_{\text{obj}}(t_{\text{inv}}), C_f(t_{\text{inv}})) \in W$$

$W = V2 \times I = [0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9] \times V^3$
e.g., $w(t_{\text{inv}}) = (0.5, [0.5, 0.5, 0, 0, 0])$

On définit ensuite la variable $v(t_{\text{inv}})$ caractérisant l'intervention avec le type d'éclaircie, la surface terrière objective et la composition cible, et qui aura lieu l'année $t_{\text{inv}} \in T_{\text{inv}}$:

$$v(t_{\text{inv}}) = (t_p(t_{\text{inv}}), w(t_{\text{inv}})) \in V$$

$V = [0, 0.5, 1] \times W$
Pour finir, le contrôle est défini pour $\forall t \in [0, T]$:

$$u(.) = (\theta_k, v(.)) \in ([5, 10, 15, 20] \times V)^{nb_{\text{inv}}}$$

et donc on peut écrire :

$$u(t) = \begin{cases} v(t) = (t_p(t), G_{\text{obj}}(t), C_f(t)) & \text{pour } t \in T_{\text{inv}}, \\ \varnothing & \text{sinon.} \end{cases}$$

1.3 Caractéristiques de l'intervention

Pour effectuer la coupe des arbres, il est nécessaire de respecter certaines contraintes relatives à la surface terrière choisie initialement, à la composition ciblée, et au processus de coupe. Afin de définir l'ensemble des arbres coupés $C(t)$, je me suis appuyé sur le fichier d'application de l'intervention ainsi que sur le rapport de Michelle et sur ses codes développés pour l'algorithme génétique.

1. La première condition est que $t \in T_{\text{inv}}$.
2. Si la surface terrière est exprimée en pourcentage, il faut la transformer en m^2/ha, donc $G_{\text{obj}}(t) = G(t) \times \left(\frac{\text{pourcentage de } G_{\text{obj}}}{100}\right)$.
3. $G_{\text{obj}}(t) > 0$.
4. $G_{\text{obj}}(t) \leq G(t)$.
5. $\sum_{i \in \text{Esp}} C_{fi} = 1$.
6. Sélectionner l'espèce dont $C_{\text{esp}}^{\text{réel}} - C_{\text{esp}}^{\text{cible}} \geq 0$, où $C_{\text{esp}}^{\text{réel}}$ est la composition réelle durant l'intervention.
7. Processus de la coupe :
   (a) La surface terrière coupée durant l'intervention, $G_{\text{coupée}}$, doit satisfaire $G_{\text{coupée}} \leq G(t) - G_{\text{obj}}(t)$. On s'arrête si et seulement si $\exists j \in C(t)$ tel que $\sum_{i \in C(t) \setminus \{j\}} G_i(t) > G(t) - G_{\text{obj}}(t)$.
   (b) On coupe les arbres dans l'ordre croissant d'un score α, tel que pour l'arbre i, le score $\alpha_i(t)$ est attribué comme suit :

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

   Où $C_{\max}(t)$, $C_i(t)$, et $C_{\min}(t)$ indiquent respectivement les circonférences maximale, de l'arbre i, et minimale pendant l'intervention de l'année $t \in T_{\text{inv}}$.
   (c) Si $\exists k \in \text{pop}(t) - C(t)$ tel que $\left\| C^{\text{réel}}(t) - C_f \right\| > \epsilon \approx 0.05$, et si inclure k dans $C(t)$ selon l'ordre prévu enfreint la condition 7a, alors on sélectionne le suivant, $k+1$, parmi $\text{pop}(t) - C(t)$ qui satisfait la condition 7a.

(d) Soit $N_{\text{coupée}}$ le nombre d'espèces coupées jusqu'à un instant donné et N_{cible} le nombre d'espèces qu'on souhaite conserver après l'intervention.

Si $N_{\text{coupée}} < N_{\text{cible}}$, alors continuez à couper selon l'ordre croissant de α_i jusqu'à violer la condition 7a.

(e) Si $t_p = 0.5$, dans ce cas, l'ancienne méthode consistait à couper aléatoirement selon une distribution de probabilité uniforme. Afin de guider les gestionnaires forestiers vers l'atteinte de la composition cible, j'ai opté pour classer les arbres en fonction de la différence entre la composition réelle et la composition cible. L'arbre choisi pour être coupé est celui dont cette différence, mesurée en norme, est la plus petite. Ainsi, on peut formuler cela comme suit :

$$i = \underset{i \in \text{pop}(t) - C(t)}{\text{argmin}} \left\| C_f^{\text{réel}} - C_f^{\text{cible}} \right\|,$$

sous réserve que les autres conditions de coupe soient respectées.

Ainsi, on peut caractériser l'ensemble des arbres coupés $C(t)$ pendant l'intervention $t \in T_{\text{inv}}$ comme suit :

$$C(t) = \begin{cases} \{i \in \text{pop} \,|\, i \text{ satisfait } 7a, 7b, 7c, 7d \text{ et } 7e\} & \text{si } t \in T_{\text{inv}}, \text{ et } 2, 3, 4, \text{ et } 5 \\ \varnothing & \text{sinon.} \end{cases}$$

2 Exemple du nouveau génome

Pour le nouveau génome, si on fixe le nombre d'espèces à 5, on aura 8 gènes. Si on fixe la durée de la simulation à $T = 80$ ans, il pourrait y avoir au plus une intervention tous les 5 ans, ce qui permettrait d'avoir 16 interventions durant les 80 ans (toutefois, on peut fixer tous les gènes à 0 pour les périodes sans interventions).

Ainsi, le nouveau génome, en adoptant la composition fixée ci-dessus, est donné par :

$$Y^j = (\theta_k^j, tp_k^j, G_{\text{obj}k}^j, C_{fk}^j)_{k=0,1,\ldots,16}$$

où $C_{fk}^j = [C_{f1}^j, C_{f2}^j, C_{f3}^j, C_{f4}^j, C_{f5}^j]$ et $Y^j \in ([5, 10, 15, 20] \times V)^{\text{nb\_inv}}$.

2.1 Exemple de Cross-over

Pour le cross-over, je le fais par quintuplet pour ne pas violer la condition de la somme des proportions égale à 1,

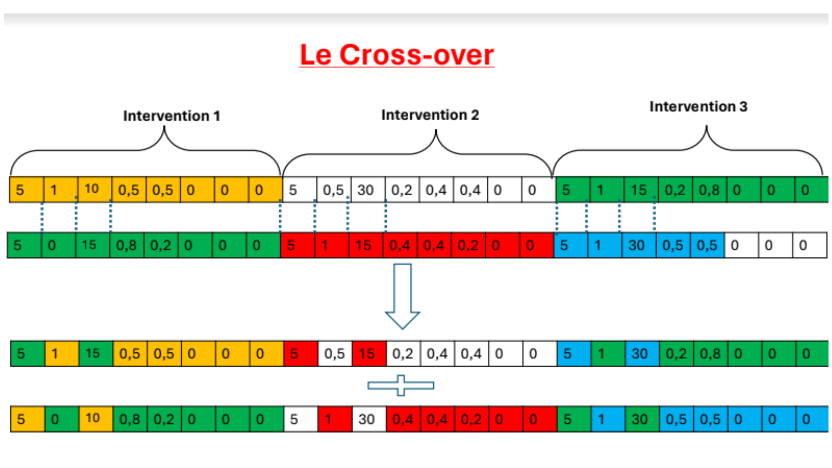

Figure 1: Un crossover pour 3 interventions

2.2 Exemple de mutation:

Pour la mutation dans l'exploration du meilleur génome, nous avons choisi d'appliquer une mutation de ± 10 pour 2 espèces si $N_{\text{esp}} \geq 2$. Dans le cas où $N_{\text{esp}} = 1$ (le cas des monospécifiques ou bien d'une coupe totale), j'ai choisi de muter de -0.1 pour le vecteur $[1, 0, 0, 0, 0]$ (à titre d'exemple) et d'ajouter $+0.1$ sur un gène choisi aléatoirement dans le vecteur $[0, 0, 0, 0, 0]$.et pour explorer l'espace du contrôle possibles localement.

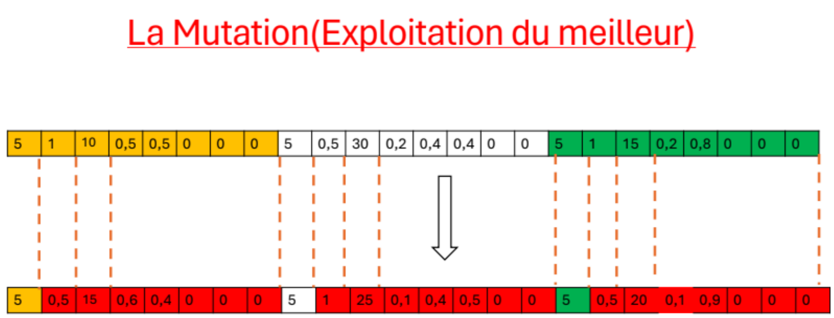

Figure 2: Une mutation pour 3 interventions