

MODELE HYBRIDE BASE SUR DES RELIGIONS POUR L'OPERATION OPTIMALE DES RETENUES A USAGES MULTIPLES

R. POPA¹, B. POPA²

Apariția foarte recentă a unui algoritm evoluționist bazat pe religii (AEBR), a provocat interesul pentru analiza posibilităților de aplicare a lui în probleme cu semnificație fizică. În acest articol s-a selectat o problemă relativ simplă de operare pe termen lung a unui lac de acumulare cu folosințe multiple abordată prin alte metode (programare dinamică, algoritmul de călăre simulată, algoritmul roitelui de particule) în literatură. Se descrie și se ilustrează formularea ei în contextul AEGR. Comparând rezultatele cu cele obținute prin alte metode, se constată că AEGR este o alternativă robustă și flexibilă de rezolvare, care îmbogățește gama de metode evoluționiste posibil de utilizat în acest gen de probleme de optimizare combinatorială, neliniare și de mari dimensiuni.

The recent issue of a religion-based evolutionary algorithm (RBEA) has generated the interest for analyzing their capabilities to approach some practical problems from the engineering field. In this paper, it has been selected from literature a relative simple problem of a long term operation for a multipurpose reservoir (where it is solved by dynamic programming, simulated annealing algorithm and swarm particle algorithm). The formulation of this problem on the RBEA context is described and illustrated by a numerical example. By comparing results with those obtained through other methods, one concludes that RBEA is a robust and flexible solving alternative, which enriches the evolutionary methods usable for approaching some nonlinear, great dimension, combinatorial optimization problems.

L'apparition très récente d'un algorithme évolutionniste basé sur les religions (AEBR), a provoqué l'intérêt d'analyser ses capacités de résoudre des problèmes pratiques pour les ingénieurs. En cet article, on a choisi comme exemple un problème relativement simple d'optimisation à long terme d'une retenue à usages multiples résolu par d'autres méthodes (la programmation dynamique, l'algorithme de l'endurcissement simulé, l'algorithme de l'essaim de particules) dans la littérature. Ce problème est décrit et formulé dans le contexte de l'AEBR. Par la comparaison des résultats avec celles obtenus par d'autres méthodes, il résulte que l'AEBR est une alternative robuste et flexible de résolution, qui enrichit la gamme de méthodes évolutionnistes étant possible d'être utilisée en ce genre de problèmes d'optimisation combinatoire, non linéaire et de grande dimension.

¹ Prof., dr. ing., Chaire d'hydraulique et machines hydrauliques, Université "Politehnica" de Bucarest, Roumanie, popar@hydrop.pub.ro

² Chef de travaux, dr. ing., Chaire d'hydraulique et machines hydrauliques, Université "Politehnica" de Bucarest, Roumanie, popab_234@yahoo.com

Mots clef: algorithme évolutionniste basé sur les religions, retenue à usages multiples, l'optimisation

1. Introduction

En 2000, Thomsen et. al. [1] ont décrit un modèle spatial hybride qui rassemble des procédures appartenant aux algorithmes génétiques, avec certaines aspects du système multi agent Jihad.

Le système Jihad est proposé durant le même an, [2], comme instrument théorique pour la modélisation des interactions entre des religions artificielles et entre les individus de ces religions. Le but de l'étude en question a été l'investigation des possibilités de modeler le comportement religieux humaine et l'essai du potentiel des concepts religieux d'inspirer la conception des algorithmes de résolution des problèmes d'optimisation.

Dans [1], les auteurs commencent de l'idée de concevoir un système hybride avec deux niveaux différents. La mission du niveau supérieur est de contrôler et développer la structure de la population et sa dynamique, par une version simplifiée du système Jihad. Le niveau inférieur est constitué par des individus qui représentent, chacun, une solution du problème d'optimisation.

Les algorithmes évolutionnistes (AE) du type des algorithmes génétiques (AG), opèrent avec des populations de solutions considérées comme des simples réunions des individus. De l'autre coté, dernièrement on a démontré que différents modèles évolutionnistes qui utilisent des populations structurées, ont des performances supérieures aux AE traditionnelles. En ce contexte on a imposé la suggestion que l'appartenance à des religions différentes peut représenter une modalité pour structurer la population de solutions de l'AE.

Il est unanimement reconnu le rôle des religions dans l'organisation des sociétés humaines. Les concepts essentiels des religions sont transposés en coutumes et demandes influençant la vie des individus. Les coutumes religieuses comprennent des obligations regardant la multiplication, la croyance seulement à la propre religion et la tentative de convertir les non croyants. Les rituels et les rencontres religieuses (le baptême, la confirmation, le mariage, le service divin) sont des moyens concrets de consolider ces règles, de propager et renforcer la religion en question. Toutefois, à part l'impact bénéfique des religions dans la culture et la civilisation humaine, il y a une forte et évidente compétition entre les différentes religions, qui essayent de se renforcer en gagnant des nouveaux adeptes. Ceci peut être achevé par la naissance et l'éducation dans le sein de la propre religion, mais aussi par la conversion libre ou forcée des athées ou des membres d'autres cultes. Cette compétition amène souvent aux agressions ou même aux guerres et on connaît des nombreuses exemples, de l'histoire éloignée,

ou de celle de nos jours, sur le continent européen (récemment, dans l'ancienne Yougoslavie), mais aussi dans le reste du monde (les croisades – dans le passé, le moyen Orient, l'Inde, Sri Lanka et. al. – de nos jours)

Même si ça peut paraître un peu bizarre, le système Jihad aussi bien que le modèle hybride basé sur celui-ci, ont démontré qu'ils répondent aux buts suivis par leurs auteurs. C'est dommage, mais le modèle hybride basé sur la confrontation entre les religions et qui est d'un fort intérêt pour la résolution des problèmes complexes d'optimisation, n'a pas des applications pratiques importantes. Ses performances ont été démontrées sur une série de problèmes test de nature purement mathématique.

Dans un article précédent, [3], on a abordé le problème de la répartition optimale de la charge sur les turbines d'une centrale hydroélectrique avec des groupes différents, par l'algorithme évolutionniste basé sur les religions (l'AEBR). Ayant en vue les conclusions favorables issues de l'article en question, dans cet ouvrage on a adapté cet algorithme à la résolution d'un problème d'optimisation en contexte dynamique, évolutif avec le temps. Le problème a été premièrement résolu en [4], par la programmation dynamique classique et par l'algorithme de l'endurcissement simulé (l'AES). Ultérieurement, il a été résolu par l'algorithme de l'essaim de particules (l'AEP) en [5]. Ainsi, il y a suffisamment de résultats obtenus par des méthodes différentes, pour être considérés en tant que base de comparaison pour les résultats de l'application du l'AEBR.

Compte tenu de la date récente de l'apparition de l'AEBR et du manque des références bibliographiques consistantes, dans la première partie on fait une description du modèle, comme celle de [3]. Ensuite on présente, brièvement, le problème de l'opération optimale soumise à l'analyse et les résultats obtenus avec les modèles antérieurs. On indique une variante de formulation en termes d'AEBR, les résultats et une comparaison de performances de l'AEBR avec celles des autres algorithmes utilisés.

2. Le modèle de l'algorithme évolutionniste basé sur les religions (l'AEBR)

Les composantes du modèle de l'AEBR sont identiques avec celles de système Jihad à savoir: un monde, un nombre de religions et une population des individus (chacun représentant ici une solution possible du problème).

Le monde est représenté sous la forme d'une grille bidimensionnelle comme dans la figure 1, ayant le même nombre de cellules sur les deux directions. La structure de la grille est basée sur un voisinage de 9 cellules, avec la signification que chaque cellule (i, j) est entourée de 8 cellules.

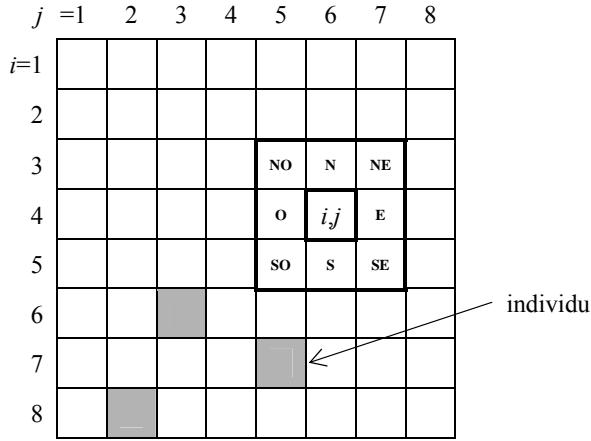


Fig. 1. La représentation du monde dans l'AEBR

On admet que les frontières de la grille sont enveloppées (la ligne 8 au nord par la ligne 1, la ligne 1 au sud par la ligne 8 etc.), de façon que la surface du monde puisse être considérée comme un tore. L'un des paramètres de l'AEBR est la dimension du monde (pour le cas présenté sur la figure 1 la dimension est 8 et elle spécifie un monde représenté par une grille avec 8x8 cellules). Chaque cellule peut être occupée ou non par un seul individu.

Dans le système Jihad, certaines cellules contiennent des ressources de nourriture pouvant être consommées par les individus et, éventuellement, peuvent se refaire avec une certaine vitesse.

Les religions définissent des sous populations des individus, de sorte que chaque individu appartient à une religion. Un autre paramètre de l'AEBR est le nombre de religions et ceci reste constant. À l'initialisation, chaque religion a le même nombre de croyants, et suivant le parcours de l'algorithme il est interdit que le nombre des appartenants à une certaine religion baisse en dessous d'un nombre minimal (seuil) de croyants. L'action de convertir peut avoir succès seulement au dépassement d'un seuil de conversion.

Dans le système Jihad, chaque religion a 4 paramètres caractéristiques associés: niveau d'éducation, agressivité envers des athées ou des appartenants à d'autres religions, intensité de croyance et rate de multiplication.

La dimension de la population définit le nombre des individus (solutions) qui cohabitent dans le monde de l'AEBR et ce nombre reste constant. Chaque individu possède les attributs de religion, position et génome.

Dans le système Jihad les attributs en question sont: la religion, la position, l'âge et le niveau énergétique.

L'attribut de religion spécifie la religion à laquelle l'individu appartient et celui-ci peut être changé seulement s'il a été converti à une autre religion. L'attribut de position (i, j) spécifie la cellule dans laquelle l'individu est positionné à un moment donné. Le génome définit la position de l'individu (de la solution) dans l'espace de la recherche de l'optimum. Pour un problème avec trois variables, par exemple, soit celles-ci x_1 , x_2 et x_3 et ayant les domaines de variation permises $x_i \in [x_i^{\min}; x_i^{\max}]$, $i = \overline{1,3}$, le génome d'un individu quelconque p est représenté par les valeurs (x_1^p, x_2^p, x_3^p) des inconnues. De plus, en fonction du problème concrète soumis à l'analyse et qu'il faut réaliser:

$$\text{opt}\{f(x_1, x_2, x_3)\}, \quad (1)$$

l'individu (la solution) p a une certaine valeur de la fonction de performance $f_p = f(x_1^p, x_2^p, x_3^p)$ qui dépend de son génome.

A l'étape de l'initialisation, les positions (i, j) des individus ainsi que les valeurs de leurs inconnues sont générées aléatoirement sur la grille choisie et respectivement dans les domaines permises de variation. Après cette génération probabiliste, chaque particule est évaluée, en résultant les valeurs $f_p, p = 1, \dots, P$ (avec P la dimension de la population) et ensuite les valeurs de la fonction de leur ajustage, a_p , du domaine $0 \div 1$. Dans un problème de maximisation, la fonction d'ajustage résulte avec:

$$a_p = \frac{f_p - f^{\min}}{f^{\max} - f^{\min}}, \quad (2)$$

où f^{\max} correspond à l'individu le plus performant, et f^{\min} – le plus déficitaire par rapport à la fonction de performance.

Une itération globale de l'AEBR implique, pour chaque individu, successivement, les trois actions suivantes: une promenade aléatoire au voisinage courant de 8 cellules, un essai de convertir d'un voisin à la propre religion et un croisement avec un individu voisin. Après l'achèvement des trois pas par toute la population et avant de passer à l'itération globale suivante, un opérateur probabiliste de mutation est appliqué sur des certains individus et les fonctions d'ajustement des solutions courantes sont réévaluées.

L'ordre des actions individuelles dans le système Jihad est approximativement opposé: croisement, alimentation (pour la croissance du niveau énergétique individuel); attaque (pour la conversion forcée); conversion (pour la conversion pacifique) et promenade aléatoire. Parce que chaque action faite en Jihad est regardée comme consommatrice d'énergie, on a introduit la possibilité de l'alimentation avec des ressources existantes dans le „monde” du

modèle pour la fortification. De plus, le système de règles pour le comportement individuel est beaucoup simplifié dans l'AEBR par rapport au système Jihad

En revenant à l'AEBR, à l'action de promenade aléatoire, l'individu placé dans la position (i, j) va changer la cellule courante avec une des cellules libres du voisinage. Soit la situation de la figure 2, ou des 5 variantes possibles de déplacement, le mouvement indiqué va se réaliser par la flèche vers le Sud-Ouest (SO).

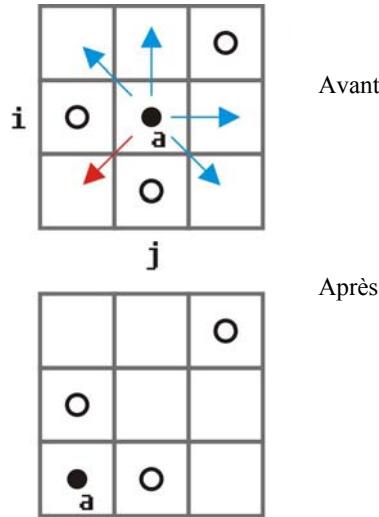


Fig. 2. Promenade aléatoire dans l' AEBR

Après l'occupation de la cellule respective, à l'action d'essai de conversion, l'individu recherche le nouveau voisinage de 8 cellules pour constater l'existence ou le manque de voisins de religion différente. Soit la situation de la figure 3, où apparaissent trois tel voisins, indiqués par un cercle blanc à l'intérieur et soit l'individu b choisi pour la tentative.

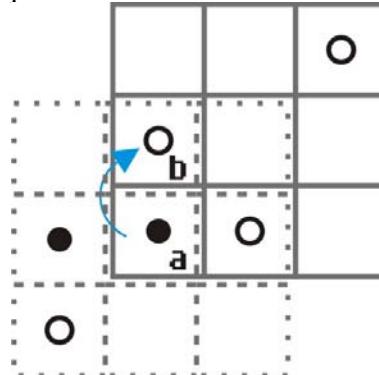


Fig. 3. Essai de conversion de l'AEBR

Si le nombre de croyants de la religion de b est plus grand que le numéro minimal imposé (le seuil critique) et si la fonction d'ajustement de a est plus grande que celle de b (soit $a_a > a_b$), il essaie la conversion. Ca se passe seulement si $r \cdot a_a$ dépasse le seuil de conversion imposé dans l'algorithme, où r est une valeur aléatoire, uniformément distribué sur l'intervalle $0 \div 1$.

Soit la situation dans laquelle la conversion a été achevée, comme sur la figure 4.

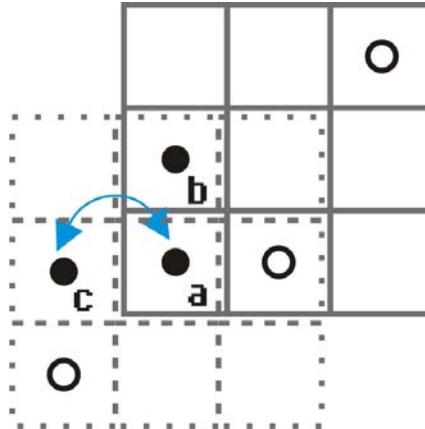


Fig. 4. Le croisement dans l'AEBR

A la dernière action, l'individu choisit aléatoirement un voisin de même religion (s'il existe) et génère avec celui-ci une solution „enfant” par croisement arithmétique. Soit c le voisin choisi et la solution enfant qui va avoir le génome de composantes:

$$x_i^* = r \cdot x_i^a + (1 - r) \cdot x_i^c, i = 1, 2, 3. \quad (3)$$

A l'aide de la fonction de performance on obtient $f^* = f(x_1^*, x_2^*, x_3^*)$ et ensuite la valeur de la fonction d'ajustement a^* . On compare a^* avec a_a et respectivement a_c , l'on constate quelle solution „parent” est inférieure à la solution „enfant” et celle-ci va être remplacée dans la grille par la solution (*) ayant la même religion que les parents.

Toutefois, si le nombre des appartenants à la religion de a est égal au numéro minimal admis (le seuil critique), alors il est permis le croisement avec un voisin appartenant à une autre religion et la génération d'un „enfant” ayant la religion de l'initiateur. Si la fonction d'ajustement de la solution „enfant” est meilleure que celle d'un des „parents”, elle remplace cet individu de la population courante.

L'opération de croisement s'exécute après la promenade aléatoire et l'essai de conversion, pour éviter la situation qu'une solution „enfant” remplace son „parent” avant que celui-ci ait l'occasion de convertir d'autres individus à sa religion. Comme dans le cas des algorithmes génétiques, le croisement ne s'effectue pas dans absolument toutes les situations quand il est possible, mais il s'impose une probabilité de croisement, p_c , pour l'imitation supplémentaire du monde réel.

Avant de passer à l'itération globale suivante, il est appliqué avec une probabilité de mutation p_m spécifiée, un opérateur de mutation par lequel il est visée la diversification du sondage dans l'espace de recherche et d'éviter la convergence vers un optimum globale. Dans l'opération il s'agit du choix aléatoire d'un individu de la population courante et la modification de son génome avec la relation:

$$\dot{x}_i = x_i + m_i ; m_i = N(0, \sigma^2), i=1,2,3, \quad (4)$$

où m_i est un numéro aléatoire avec distribution de Gauss de moyenne zéro et écart standard σ , normalisée au domaine permis pour la variable x_i . Pour la focalisation de la recherche au fur et à mesure que les itérations globales avancent, la variance se réduit progressivement d'après la relation:

$$\sigma^2 = \frac{1}{1+k}, \quad (5)$$

avec k – l'ordre de l'itération. L'itération globale prend fin avec la réévaluation de toute la population, y compris de l'individu mutant. L'algorithme s'arrête à l'atteinte d'un critère de convergence adéquat. On s'attend que la religion avec le plus grand nombre de croyants, inclue la solution la plus performante de toute la population. De même, il paraît plausible que la moyenne des fonctions de performance des individus de cette religion (la plus puissante) soit la plus favorable par rapport à l'objectif suivi.

Le programme de calcul conçu pour transposer l'algorithme décrit auparavant a été testé premièrement sur un problème simple de nature mathématique:

$$\max \left\{ f(x, y) = x \cdot e^{-x^2 - y^2} \right\}, \quad (6)$$

avec $x \in [-2; 2]$ et $y \in [-2; 2]$ pour lequel la solution optimale est connue. La succès et les qualités constatées pour l'AEBR ont encouragé l'essai de l'adapter à un problème avec une signification physique dans le domaine de ressources d'eau.

3. L'opération à long terme d'une retenue d'eau hydro énergétique

Pour illustrer l'application de l'AEBR aux problèmes impliquant des décisions séquentielles, on refait un problème abordé en [4], par la programmation dynamique (PD) et par l'algorithme d'endurcissement simulé (AES) et respectivement en [5], par l'algorithme de l'essaim de particules (AEP).

Soit un aménagement de type grand retenue et une centrale hydroélectrique (CHE) associée, ayant des caractéristiques ressemblantes à l'aménagement Argeș (la retenue Vidraru et la CHE Corbeni), une des plus importantes de Roumanie. On admet des conditions déterministes pour les débits moyens mensuelles dans la retenue d'eau et on impose des demandes minimales mensuelles pour la charge énergétique (particulièrement pendant la saison froide) et pour les débits disponibles à l'aval (particulièrement pendant la saison chaude). L'on connaît les valeurs maximales et minimales des volumes permises dans la retenue d'eau pendant l'année (pour le contrôle des crues et respectivement pour assurer la réserve d'eau), on pose le problème de trouver la règle d'opération avec des pas mensuels pour réaliser le programme énergétique et d'alimentation en eau des consommateurs de l'aval, tout en respectant les restrictions de volumes et sans baisser en fin d'année le niveau de la surface libre en dessous d'une valeur imposée.

Le modèle mathématique du problème contient la fonction de performance:

$$\min \left\{ f = \sum_{k=1}^{12} (R_k^2 + p_k) \right\}, \quad (7)$$

où R_k est le déficit d'énergie par rapport à la valeur mensuelle planifiée, soit:

$$R_k = \begin{cases} 0 & \text{si } E_k \geq E_k^P \\ E_k^P - E_k & \text{autrement} \end{cases}, \quad (8)$$

et p_k est un coefficient de pénalité pour ne pas assurer le débit minimal mensuel vers l'aval, soit:

$$p_k = \begin{cases} 0 & \text{si } D_k \geq D_k^P \\ 1000 & \text{autrement} \end{cases}. \quad (9)$$

Par E_k^P l'on note l'énergie mensuelle planifiée et D_k^P est le débit (ou stock mensuel) minimal nécessaire aux utilisateurs de l'aval.

L'équation de bilan pour un mois a la forme:

$$V_k^f = V_k^i + A_k - D_k, \quad (10)$$

où par V_k^i l'on note le volume dans la retenue d'eau au début du mois ($V_1^i = V_0$ connu), V_k^f – le volume dans la retenue en fin du mois, A_k – le stock mensuel affluent et D_k le stock mensuel utilisé dans la CHE.

Les restrictions d'encadrement entre les volumes permis sont:

$$V_k^{\min} \leq V_k^f \leq V_k^{\max}, \quad k=1,2,\dots,12, \quad (11)$$

avec V_k^{\max} – le volume maximal et respectivement V_k^{\min} – le volume minimal admis dans la retenue et $V_{12}^{\min} \geq V_f^*$ – le volume qui correspond au niveau final désiré.

La production mensuelle d'énergie s'obtient de la relation:

$$E_k = e(z_k)D_k, \quad (12)$$

où $e(z_k)$ est la production spécifique (GWh/1 mil.m³), en fonction du niveau dans la retenue, z_k , qui correspond au volume moyen mensuel, $V_k = \frac{1}{2}(V_k^i + V_k^f)$. La courbe de capacité de la retenue d'eau a été approximée sous la forme:

$$z = c_0 + c_1V + c_2V^2, \quad (13)$$

où les coefficients c_0 , c_1 , c_2 s'obtiennent par la méthode des moindres carrés, et la production spécifique d'énergie par la relation:

$$e(z) = c_3(z - c_4), \quad (14)$$

avec c_3 si c_4 trouvés à la base des données de projet.

Dans le tableau 1 l'on présente les données d'entrée sur les débits moyens mensuels affluents, les énergies mensuelles planifiées, les débits minimales mensuels nécessaires à l'aval, les volumes maximales et minimales permis dans la retenue en fin des mois.

Tableau 1

Données d'entrée

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Q_a [m ³ /s] | 9,5 | 9,2 | 12 | 29,7 | 42,9 | 36,9 |
| E^p [GWh] | 40 | 36 | 34 | 32 | 28 | 28 |
| Q_d^p [m ³ /s] | 9,13 | 9,13 | 5,48 | 5,48 | 4,87 | 6,09 |
| V^{Max} [mil.m ³] | 465 | 460 | 450 | 440 | 400 | 400 |
| V^{\min} [mil.m ³] | 250 | 210 | 170 | 140 | 100 | 100 |

| Mois | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Q_a [m ³ /s] | 23,2 | 15,9 | 12,5 | 12 | 14,8 | 11,9 |
| E^p [GWh] | 28 | 28 | 30 | 36 | 40 | 40 |
| Q_d^p [m ³ /s] | 14,61 | 24,35 | 14,61 | 10,96 | 7,91 | 9,13 |
| V^{Max} [mil.m ³] | 450 | 465 | 460 | 455 | 465 | 465 |
| V^{\min} [mil.m ³] | 140 | 140 | 140 | 140 | 200 | 250 |

L'on a admis des mois identiques, ayant chacun 730 heures. Conformément aux données du tableau 1 – l'énergie annuelle planifiée résulte 400 GWh et le stock annuel nécessaire à l'aval est d'approximativement 320 mil. m³. Le volume dans la retenue d'eau en début d'année l'on considère $V_0 = 350$ mil. m³ et le volume final minimal a été limité à $V_f^* = 250$ mil. m³. Les coefficients des relations (7) et (8) sont $c_0 = 731,91$; $c_1 = 0,375$; $c_2 = 3,99 \cdot 10^{-4}$; $c_3 = 2,096 \cdot 10^{-2}$; $c_4 = 506$. Le débit installé dans la CHE est $Q_{inst} = 90$ m³/s et la puissance installée $P_{inst} = 220$ MW.

Dans le tableau 2 l'on a indiqué deux solutions du problème, la première obtenue en utilisant l'AES et la deuxième l'AEP. L'on présente la variation du volume dans la retenue, la production mensuelle d'énergie et le débit utilisé dans la CHE.

Tableau 2

Deux solutions optimales trouvées par l'AES et respectivement par l'AEP

| | | Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| AES | V_k^f [mil.m ³] | 308,20 | 273,40 | 243,50 | 269,20 | 335,00 | 366,90 | |
| | E_k [GWh] | 42,84 | 37,22 | 38,12 | 32,47 | 29,77 | 42,17 | |
| | Q_k^d [m ³ /s] | 25,40 | 22,44 | 23,37 | 19,93 | 17,86 | 24,77 | |
| AEP | V_k^f [mil.m ³] | 312,26 | 277,46 | 243,75 | 268,6 | 314,93 | 368,25 | |
| | E_k [GWh] | 40,28 | 37,29 | 40,54 | 32,98 | 41,94 | 28,17 | |
| | Q_k^d [m ³ /s] | 23,86 | 22,44 | 24,83 | 20,25 | 25,27 | 16,61 | |

| | | Mois | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| AES | V_k^f [mil.m ³] | 383,70 | 355,50 | 338,70 | 310,90 | 284,80 | 250,00 | |
| | E_k [GWh] | 28,88 | 45,71 | 32,11 | 38,02 | 41,15 | 41,24 | |
| | Q_k^d [m ³ /s] | 16,79 | 26,64 | 18,89 | 22,58 | 24,72 | 25,16 | |
| AEP | V_k^f [mil.m ³] | 377,18 | 354,73 | 335,52 | 310,67 | 283,43 | 250,00 | |
| | E_k [GWh] | 34,02 | 41,88 | 33,64 | 36,10 | 41,86 | 40,34 | |
| | Q_k^d [m ³ /s] | 19,80 | 24,44 | 19,81 | 21,46 | 25,16 | 24,62 | |

Les productions annuelles d'énergie ont résulté 449,71 GWh et respectivement 449,04 GWh, en respectant les demandes minimales mensuelles en tant qu'énergie et aussi que débit vers les utilisateurs de l'aval.

Evidemment, le problème présenté n'a pas une solution optimale unique, mais l'on peut observer que les deux méthodes présentées ont fournit des solutions suffisamment proches et tout en respectant l'encadrement dans toutes les restrictions.

4. La formulation du problème dans le contexte de l'AEBR

Pour la transposition d'un problème d'optimisation en termes de l'AEBR, la manière dont on définit le génome d'un individu (d'une solution possible) semble importante. Le génome doit contenir une série des inconnues du problème. Ces inconnues influencent l'évolution du système et la valeur de sa fonction de performance. Le choix de valeurs de ces inconnues n'est pas unique, mais peut faciliter la formulation et agrandir l'efficacité. A la résolution par l'AEP ont été admises comme inconnues les valeurs des volumes dans la retenue d'eau en fin des mois 1, 2,..., 11 et ont été imposées les volumes V_0 et V_f^* aux valeurs mentionnées.

Dans la présente analyse l'on a spéculé les résultats trouvés par les méthodes des AES et AEP. Puisque l'on constate du tableau 2 que le problème a des solutions pour assurer les débits minimales imposés à l'aval, on admet comme inconnues en génome les 12 valeurs des stocks mensuels turbinés, D_k , $k=1,\dots,12$, et comme limite inférieure pour D_k a été imposée $D_k^{\min} = D_k^P$, donc la valeur minimale demandée vers l'aval, avec D_k^P correspondant aux débits Q_d^P du tableau 1. D'autre part, du tableau 2 l'on constate que les énergies mensuelles maximales dépassent un peu l'énergie mensuelle planifiée maximale de 40 GWh (dans la saison froide), et les débits mensuels turbiné ne dépassent pas un tiers de Q_{inst} . Par conséquence, l'on a évalué le stock minimal nécessaire pour produire 40 GWh, a la valeur la plus petite du volume permis dans la retenue (100 mil. m³ dans les mois de mai et juin) et il a été admis en tant que limite supérieure, D^{\max} , pour toutes les mois de l'année.

A la génération aléatoire des inconnues de chaque individu de la population initiale on a tenu compte des aspects suivants:

Le stock annuel total qui doit être évacué de la retenue pour arriver en fin d'année a V_f^* est:

$$D_t = \sum_{k=1}^{12} A_k + V_0 - V_f^*. \quad (15)$$

Le stock annuel minimal nécessaire à l'aval est:

$$D_p = \sum_{k=1}^{12} D_k^P = \sum_{k=1}^{12} D_k^{\min}. \quad (16)$$

La différence entre les deux valeurs, $D = D_t - D_p$, doit être distribuée de façon aléatoire sur les 12 mois, en fractions:

$$d_k = r(D^{\max} - D_k^{\min}), \quad (17)$$

avec r un numéro aléatoire, uniformément distribué sur l'intervalle $0 \div 1$, mais de sorte que $\sum_{k=1}^{12} d_k \leq D$. Le respect de cette condition est contrôlé par une procédure simple dans l'algorithme de génération. De plus, la génération des contributions d_k est faite de façon alternative, pour une solution du mois 1 vers le mois 12 et pour la suivante du mois 12 vers le mois 1.

A la fin, le génome d'un individu de la population initiale va être composé par des inconnues:

$$D_k = D_k^{\min} + d_k, \quad k = 1, 2, \dots, 12. \quad (18)$$

Toutefois, pour chaque solution on utilise l'équation de bilan (10) pour déterminer V_k^f et ensuite on vérifie le respect des restrictions (11). Dans le cas où une limite est dépassée, V_k^f prend la valeur de cette limite et par conséquence la valeur D_k correspondante se modifie.

Les mêmes vérifications et ajustements finales se font aussi dans les itérations de l'AEBR, après la génération d'une solution „enfant” par croisement arithmétique de la forme (3) ou après la modification d'une solution par l'opérateur de mutation de la forme (4).

Par rapport à la mutation, pour ce problème la normalisation du terme de correction a été faite sous la forme:

$$D'_k = D_k + m_k \frac{(D^{\max} - D_k^{\min})}{5}, \quad (19)$$

où $m_k = N(0, \sigma^2)$, et la variance a été modifiée par:

$$\sigma^2 = \frac{1}{1 + \sqrt{t}}, \quad (20)$$

avec t l'ordre de l'itération.

Même si par le choix fait pour les inconnues et leurs domaine de variation il n'y a plus de chances que $D_k < D_k^P$, la forme complète (7) pour la fonction de performance a été toutefois gardée.

5. Résultats numériques, interprétations

De la présentation antérieure, l'on constate la simplicité de calculs impliquées par l'AEBR. Dans le programme de calcul qui transpose l'algorithme ont été fixées comme critères d'arrêt le parcours de 500 itérations ou l'achèvement d'une solution avec $f \leq 0,01$.

Les probabilités de croisement et de mutation ont été gardées fixes aux valeurs $p_c = 0,9$ et $p_m = 0,75$ et le seuil de conversion a été imposé à 0,9.

En ce qui concerne les autres paramètres du modèle, ils ont été modifiés en séries de roulements distinctes pour explorer leurs influence sur la performance de l'algorithme.

Pour la première série de roulements la dimension du monde a été considérée 7x7 (soit 49 cellules), peuplée avec 28 individus appartenant à deux religions différentes. Le nombre minimale de croyants par religion a été limité à 5. Dans 60% des roulements effectuées, le programme a fourni une solution avec $f \leq 0,01$ en moins de 500 itérations (entre 85 et 496 itérations). Le tableau 3

présente l'une des solutions respectives, qui a le volume final le plus proche de 250 mil. m³ (tout comme dans les solutions du tableau 2).

Tableau 3

Solution optimale sur une grille 7x7 avec 28 individus et 2 religions

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| V_k^f [mil.m ³] | 306,44 | 272,88 | 249,42 | 276,11 | 344,8 | 384,68 |
| E_k [GWh] | 43,97 | 36,43 | 34,19 | 31,96 | 28,05 | 37,21 |
| Q_k^d [m ³ /s] | 26,07 | 21,97 | 20,93 | 19,54 | 16,76 | 21,73 |

| Mois | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V_k^f [mil.m ³] | 377,09 | 347,45 | 333,81 | 308,88 | 283,97 | 250,12 |
| E_k [GWh] | 44,98 | 46,49 | 29,98 | 36,12 | 40,38 | 40,61 |
| Q_k^d [m ³ /s] | 26,09 | 27,18 | 17,69 | 21,49 | 24,28 | 24,78 |

La production annuelle a résulté 450,36 GWh, un peu plus grande que pour les solutions du tableau 2. La répartition par religions à l'itération finale a été de 6 individus pour la première et respectivement 22 pour la deuxième, la solution optimale appartenant à la religion dominante.

Sur la figure 5 on a représenté la répartition des individus dans le „monde” de l'AEBR à l'initialisation et respectivement à l'itération finale pour le roulement ci-dessus.

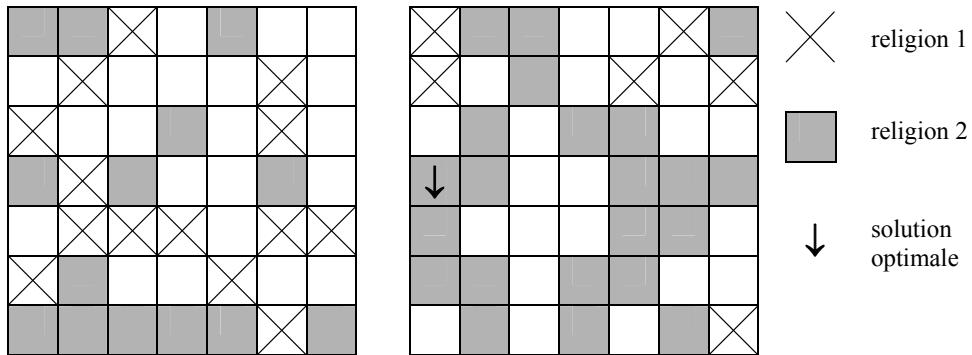


Fig. 5. Répartition initiale et finale des individus dans le „monde” de l'AEBR

Dans la deuxième série des roulements le „monde” a été agrandi à 8x8=64 cellules, avec 36 individus appartenant à trois religions. Les autres données ont été gardées comme dans les roulements antérieurs. En dépit des attentes, l'on constate que les roulements avec du succès ont besoin de plusieurs itérations pour

converger, même si on opère avec plusieurs individus. D'autre part, dans la série antérieure chaque religion commence avec 14 individus, mais maintenant elle commence seulement avec 12 individus. Cela et la difficulté de combinaison par conversion avec des meilleures solutions de ces religions, peut expliquer l'aspect mentionné.

Dans le tableau 4 on a indiqués les résultats d'une solution de cette série, solution ayant le volume final égal à même 250 mil. m³.

Tableau 4

Solution optimale sur une grille 8x8 avec 36 individus et 3 religions

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V_k^f [mil.m ³] | 311,54 | 276,93 | 253,95 | 275,28 | 342,95 | 393,25 |
| E_k [GWh] | 40,74 | 37,16 | 33,97 | 35,32 | 28,69 | 30,45 |
| Q_k^d [m ³ /s] | 24,13 | 22,37 | 20,75 | 21,58 | 17,15 | 17,76 |

| Mois | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| V_k^f [mil.m ³] | 391,59 | 360,85 | 332,75 | 307,54 | 283,07 | 250 |
| E_k [GWh] | 41,28 | 47,49 | 39,42 | 36,28 | 4,08 | 40,11 |
| Q_k^d [m ³ /s] | 23,83 | 27,6 | 23,19 | 21,59 | 24,11 | 24,48 |

La production annuelle d'énergie a résultée 451 GWh avec la répartition approximative: 228 GWh dans la saison froide et 223 GWh dans la saison chaude.

Pour les roulements sur la grille 8x8 avec 36 individus et seulement deux religions, la statistique des situations ayant convergence en maximum 500 itérations ne s'est pas améliorée signifiant par rapport au cas antérieur.

Toutes les séries antérieures ont supposé à peu près la même valeur pour le grade d'occupation du monde par les solutions, 57%.

Suivant la proportion utilisée en Thomsen et. al., 2000, pour leurs expériences numériques, on a agrandi le grade de peuplement à approximativement 64% et on a revenu sur la grille 7x7, avec 32 individus et deux religions. Cette fois-ci, en 80% des roulements la convergence a été atteinte en moins de 500 itérations, pour le reste de 20% en résultant des solutions avec f compris entre 0,04 et 0,52.

Par conséquence, il paraît que pour le problème résolu en cet article ce n'est pas spécialement un avantage de travailler sur une grille plus grande, avec plusieurs individus appartenant aux différentes religions. Par contre, dans un „monde” avec des dimensions minimales (7x7), mais peuplé plus intensément avec des individus appartenant aux deux religions seulement, l'AEBR satisfait le critère de convergence en moins de 500 itérations pour à peu près toutes les roulements effectués.

6. Conclusions

Dans le présent article on a démontré que la résolution d'un problème non linéaire d'opération optimale avec des usages complexes est possible par l'AEBR. Même si relativement simpliste, ce problème suppose des décisions séquentielles (qui influencent l'évolution du système avec le temps) et le respect des restrictions sur chaque pas de temps. Parce qu'on n'a pas connaissance sur l'existence dans la littérature des applications de l'AEBR avec des significations physiques et en contexte opérationnel, il a été intéressant d'essayer la résolution d'un tel problème du domaine des ressources d'eau.

On a constaté que les principes de travail inspirés par la confrontation entre les religions et combinés avec des opérations spécifiques aux algorithmes génétiques, ont inspiré un modèle spatial hybride, de type évolutionniste, qui peut être utilisé pour la résolution des problèmes complexes du domaine des ingénieurs. Même si par rapport à l'efficacité (nombre d'itérations nécessaire pour la convergence) le modèle de l'AEBR peut paraître un peu désavantage en comparaison avec les résultats obtenus des auteurs par l'AES et par l'AEP pour le même problème, l'on peut affirmer qu'il est supérieur par la simplicité extrême des calculs impliquées (par rapport à l'AES) et respectivement par l'aisément dans les restrictions (par rapport à l'AEP).

Par rapport aux analyses menées sur les influences de certains paramètres de l'AEBR, il a résulté que, pour ce problème, le degré de peuplement du monde avec des individus il paraît plus important que la dimension du monde et le nombre de croyants qui l'occupent. En ce sens, sur une grille minimale de 7x7 cellules, avec 28 individus appartenant à deux religions, la convergence de l'AEBR a été obtenue avant 500 itérations, dans à peu près 60% des roulements, mais avec 32 individus sur la même grille, l'algorithme a convergé dans plus de 80% des roulements.

Ce premier essai d'adaptation aux problèmes d'optimisation de l'opération des aménagements hydro énergétiques, a prouvé que l'AEBR est un instrument flexible et robuste, qui peut être regardé comme une alternative aux autres méthodes évolutionnistes pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire, non linéaire et de grandes dimensions.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] *Thomsen, R., Rickers, P., Krink, T.*, A religion-based spatial model for evolutionary algorithms, Proc.of VI-th Intern.Conf.on Parallel Problem Solving from Nature, Schoenaur, M. et al.(Eds), pp. 817-826, 2000.
- [2] *Thomsen, R., Rickers, P., Krink, T., Stenz, C.*, The Jihad system: A model of religion based behavior among artificial citizens, site Internet www.evalife.dk, 2002.

- [3] *Popa, R., Ghergu, C.*, Repartiția optimă a sarcinii pe hidroaggregate cu un model spațial bazat pe lupta între religii. Energetica, anul 55, 2007, București, 2007, en cours de publication.
- [4] *Popa, R., Popa, B.*, Optimizarea exploatarii amenajărilor hidroenergetice. Modele teoretice, Aplicații și programe de calcul. Editura Tehnică, 463 p., București, 2003.
- [5] *Popa, R., Popa, B.*, Optimizarea exploatarii lacurilor de acumulare prin algoritmul roilului de particule. Energetica, anul 55, nr. 3/2007, p. 99-105, București, 2007.