



Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur

ISSN 2170-0737

Journal homepage : <http://www.RSSI.lagh-univ.dz>



Etude et Résolution du Problème d'Engagement de Turbines Tenant Compte des Contraintes non Conventionnelles

K. KARBOUNE, S. ARIF, A. CHOUCHA

*Laboratoire d'Analyse de Commande des Systèmes d'Energie et Réseaux Electriques
(LACoSERE), université Amar Telidji de Laghouat, BP-37G-03000 Laghouat, Algérie*

Corresponding author: karboune_khaled@yahoo.fr

Résumé-Cet Article traite le problème d'engagement des turbines (Unit Commitment Problème UCP) introduisant les contraintes nonconventionnelles (les zones interdites et la Pollution environnementale). Un sous problème de l'UCP doit trouver la production optimale pour une combinaison donnée des unités en marche. Ce sous problème s'appelle le problème de répartition économique (Economic Dispatch Problem EDP). Dans ce travail, on a proposé une méthode classique, celle de la programmation dynamique pour la résolution de l'UCP. Et puisque les techniques classiques échouent pour la résolution de l'EDP avec des fonctions coût non conventionnelles, c'est pourquoi, on fait appel à de nouvelles techniques telle que la méthode des essaims de particules (PSO) pour la résolution de l'EDP. Les programmes élaborés ont été validés sur plusieurs systèmes pratiques.

Mots Clés : UCP, EDP, Programmation Dynamique, Méthodes métaheuristiques, PSO, Zones interdites, Pollution Environnementale.

I. Introduction

Le problème d'engagement des turbines (UCP) consiste à choisir les unités de production qui seront opérationnelles sur une échelle de temps discrétisée, de manière à minimiser le coût de production total. Les unités doivent satisfaire la charge ainsi que la réserve tournante. De plus, chaque unité possède ses propres limites de production et un temps minimal de redémarrage et d'arrêt. Il s'agit donc d'un problème d'optimisation complexe mixte, combinatoire et non linéaire.

On peut grouper les méthodes de résolution de ce problème en trois classes :

- Méthodes déterministes.
- Méthodes métaheuristiques.
- Méthodes hybrides (déterministe-métaheuristique) ou (métaheuristique-métaheuristique).

Etant donné que le problème de la répartition économique de puissance (EDP) constitue un sous-problème du problème global de l'UCP et sa résolution joue un rôle très important pour atteindre l'optimum global de l'UCP. Puisque les techniques classiques ne peuvent pas être utilisées pour la résolution du problème de la répartition économique de puissance lorsque des fonctions coût non conventionnelles sont considérées (contraintes d'environnement et présence des zones interdites), on a fait alors appel à une méthode métaheuristique à population qui est l'optimisation par essaim de particules (PSO) utilisée pour la résolution de l'EDP. Un programme, utilisant la méthode de (PSO), a été développé et validé sur des réseaux électriques de différentes tailles pour la résolution de ce problème.

II. Formulation du problème

Fonction objectif

L'objectif du problème de l'Unit Commitment est la minimisation de la fonction coût de production total :

$$\min_{P_i(t), U_i(t)} \left[F_t = \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N [F_i(P_i(t))U_i(t) + ST_i(t)U_i(t) + DC_i(t)(1 - U_i(t))U_i(t) - 1] \right] \quad (1)$$

Avec

$$F_i(P_i(t)) = a_i + b_i P_i(t) + c_i P_i^2(t) \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

et

$$ST_i(t) = \begin{cases} HSC_i, & \text{Si } MDT_i \leq X_i^{OFF} \leq MDT_i + SC_i \\ CSC_i, & \text{Si } X_i^{OFF} > MDT_i + SC_i \end{cases}$$

Contraintes

Le problème de l'Unit Commitment est lié aux contraintes suivantes :

Contraintes du Système

Demande à satisfaire

$$\sum_{i=1}^N P_i(t)U_i(t) = P_D(t) \quad t = 1, \dots, N_t \quad (3)$$

Réserve à garantir

$$\sum_{i=1}^N P_i^{max}(t)U_i(t) = P_D(t) + P_R(t) \quad t = 1, \dots, N_t \quad (4)$$

Contraintes des Unités

Puissance Bornée

$$P_i^{min} \leq P_i(t) \leq P_i^{max} \quad t = 1, \dots, N_t \quad (5)$$

Temps minimal d'allumage

$$MUT_i \leq X_i^{ON} \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

Temps minimal d'extinction

$$MDT_i \leq X_i^{OFF} \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

Élévation maximale de la puissance

$$P_i(t) \leq \min(P_i^{max}, P_i(t-1) + UR_i) \quad Si$$

$$U_i(t-1) = 1 \quad et \quad U_i(t) = 1 \quad (8)$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$t = 1, \dots, N_t$$

Chute maximale de la puissance

$$P_i(t) \geq \max(P_i^{min}, P_i(t-1) - DR_i) \quad Si$$

$$U_i(t-1) = 1 \quad et \quad U_i(t) = 1 \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$t = 1, \dots, N_t$$

Autres contraintes

Il existe d'autres contraintes tels que : l'état initial des unités, les puissances initiales délivrées par les unités, la contrainte d'équipement, et le fonctionnement obligatoire de certaines unités (Must-Run).

III. Applications Numériques

Pour résoudre le problème d'engagement des turbines, nous avons élaboré un programme utilisant la technique de la programmation dynamique et puisque le coût de redémarrage des unités éteintes est fonction de temps, nous avons choisi alors la programmation dynamique en avant « *Forward Dynamic Programming* » qui s'adapte bien à notre cas.

Nous avons élaboré des programmes sous l'environnement Matlab, le sous problème de la répartition économique, qui est un sous problème de l'UCP, est résolu en utilisant la méthode d'optimisation par essaim de particules (PSO),

Pour valider les programmes élaborés, plusieurs tests sur des réseaux de tailles différentes ont été faits.

La figure 1 montre l'intégration de la méthode de PSO pour la résolution de l'EDP dans le processus d'optimisation global de l'UCP en utilisant la Programmation Dynamique en avant (DP).

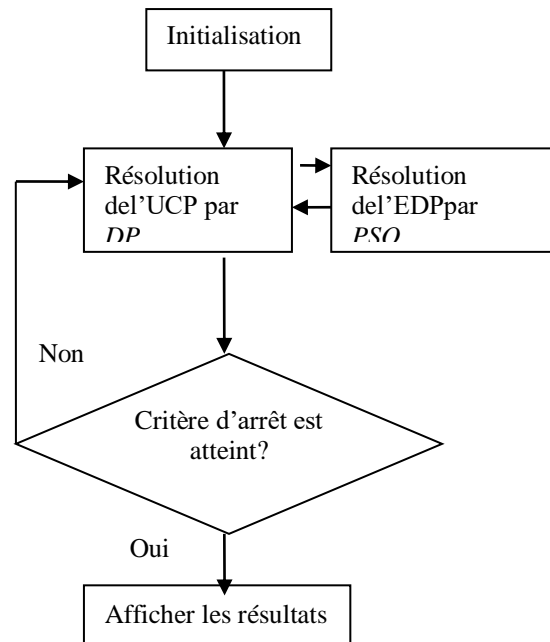


Fig.1 Résolution du problème de l'UCP

1. Contrainte environnementale

Nous avons fait une application sur le réseau IEEE 30 nœuds à 6 générateurs où les contraintes des émissions sont considérées. Le tableau 1 résume les données de ce système.

Les paramètres de réglage de la méthode PSO sont comme suite :

Taille de population égale à 100, nombre maximum d'itérations est de 50,

Le facteur coût des émissions w est de 3073.8 \$/Ton.

Facteur d'inertie maximal : $w_{max} = 0.9$,

Facteur d'inertie minimal : $w_{min} = 0.4$,

Facteurs d'accélération : $C_1 = C_2 = 2.0$,

Les résultats obtenus sont dans le cas où le coût de combustible et celui d'émission sont combinés dans une seule fonction avec un facteur de contrôle α , le tableau 2, illustre les résultats de simulation pour les trois cas suivants :

Cas 1 : $\alpha = 1$, on minimise le coût de production seulement.

Cas 2 : $\alpha = 0$, on minimise les émissions de gaz seulement.

Cas3 : $\alpha = 0.5$, on minimise simultanément de coût de production et les émissions des gaz.

Ces résultats sont obtenus pour le nombre de stratégies enregistrées qui est égale à 40 dans chaque étape et les différentes unités planifiées pendant 24 heures.

Ce système ayant 6 générateurs possède 64 combinaisons possibles. Ces combinaisons, ainsi que les puissances minimales et maximales correspondantes.

Tableau.1 Données du réseau (IEEE 30 nœuds)

Unités	Zone 1	Zone 2	Zone 3
1	[270-275]		
2	[256-259]	[213-217]	
3	[150-154]	[201-205]	[322-327]
4	[144-147]		
5	[131-135]		
6	[125-128]	[218-222]	[296-300]
7	[59-63]	[141-144]	[163-167]
8			
9	[65-69]	[157-162]	
10	[68-73]	[213-217]	[288-391]
11	[99-103]	[300-303]	[325-329]
12	[400-403]		
13	[71-74]	[153-157]	
14	[130-135]		

Tableau.2 Résultats du système IEEE-30

cas	Cas1	Cas2	Cas3
Résultats			
Coût total de production (\$)	17897.66	18561.10	18218.87
Pollution totale (ton)	10.93	6.79	8.93
Pertes totales (MW)	276.58	374.68	306.44

D'après les résultats, on constate bien que pour le premier cas le coût de production est minimisé, et dans le deuxième cas les émissions de gaz sont minimisées, mais dans le troisième cas le coût de production et les émissions des gaz sont minimisées collectivement.

2. Contraintes des zones interdites

Une application sur le réseau IEEE 118 nœuds ayant 14 générateurs tenant compte des contraintes des zones interdites des unités, elles que données dans le tableau 3.

Tableau.3 : Données des zones interdites (IEEE 118 nœuds)

		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆
Limites Coût Émission	P_{min}	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	P_{max}	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	a	10	10	20	10	20	10
	b	200	150	180	100	180	150
	c	100	120	40	60	40	100
	α	4.09E-2	2.54E-2	4.25E-2	5.42E-2	4.25E-2	6.13E-2
	β	-5.5E-2	-6.0E-2	-5.0E-2	-3.5E-2	-5.09E-2	-5.55E-2
	γ	6.49E-2	5.63E-2	4.58E-2	3.38E-2	4.58E-2	5.15E-2
	μ	2.0E-4	5.0E-4	1.0E-6	2.0E-3	1.0E-6	1.0E-5
	ζ	2.857	3.333	8.000	2.000	8.000	6.667

Ce système ayant 14 générateurs possède 16384 combinaisons possibles. Dans ce cas et pour obtenir le minimum des combinaisons possibles, on a exploité la méthode de la liste de propriété pour nous donner une solution initiale. Après l'exécution du programme de cette méthode, on a obtenu les combinaisons possibles avec les puissances minimale et maximale correspondante.

Le tableau 4 résume les résultats de simulation de ce réseau sans et avec considération des contraintes des zones interdites.

Ces résultats sont obtenus pour le nombre de stratégies enregistrées qui est égale à 14 dans chaque étape et les différentes unités planifiées pendant 24 heures.

Dans le deuxième cas, nous remarquons bien que le problème des zones interdites est surmonté, c'est-à-dire que toutes les puissances délivrées par les unités sont dans leurs intervalles permis, ce qui a induit une légère augmentation du coût de production optimale.

Tableau.4 Résultats du système IEEE 118 nœuds

Cas \ Coût	Sans considération des zones interdites	Avec considération des zones interdites
Coût de production totale (\$)	231350.71	231432.43

IV. Conclusion

Pour résoudre le problème d'engagement de turbines dans un réseau électrique, nous avons exposé dans ce travail l'utilisation d'une hybridation (DP- PSO) pour le cas des contraintes non conventionnelles. On a fait des applications sur des réseaux modèles telles que le réseau IEEE 118 nœuds ayant 14 générateurs tenant compte des contraintes des zones interdites des unités et le réseau IEEE 30 nœuds à 6 générateurs tenant compte des contraintes environnementales.

Dans les deux cas, l'hybridation (DP- PSO) a réussi de trouver une solution satisfaisante pour le problème de l'UCP.

NOMENCLATURE

- F_T Coût total de production (\$).
- $P_i(t)$ Puissance produite par l'unité à l'instant t (MW).
- N_i Nombre total d'heures.
- N Nombre total d'unités.
- $U_i(t)$ État de l'unité i à l'instant t (1 ou 0).
- a_i Coût à vide de l'unité i (\$).
- b_i Coefficient de coût linéaire de l'unité i (\$/MW).
- c_i Coefficient de coût quadratique de l'unité i (\$/MW²).
- $S_i(t)$ Coût total de redémarrage de l'unité i à l'instant t (\$).
- $P_D(t)$ Puissance demandée par la charge à l'instant t .
- P_i^{max} Puissance maximale de l'unité i .
- P_i^{min} Puissance minimale de l'unité i (MW).
- $P_R(t)$ Réserve tournante nécessaire à l'instant t (MW).
- CSC_i (Cold Start Cost) coût de redémarrage à froid de l'unité i (\$).
- $ST_i(t)$ (start-up cost) coût de redémarrage de l'unité i à l'instant t (\$).
- HSC_i (Hot Start Cost) coût de redémarrage à chaud de l'unité i (\$).
- SC_i (Cold Start) durée de redémarrage à froid de l'unité i (heures).
- $DC_i(t)$ (shut-down cost) coût d'extinction de l'unité i à l'instant t (\$).
- X_i^{ON} Temps durant lequel l'unité i est allumée (heures).
- X_i^{OFF} Temps durant lequel l'unité i est éteinte (heures).
- UR_i Élévation maximale de la puissance pour l'unité i (MW).
- DR_i Chute maximale de la puissance pour l'unité i (MW).

REFERENCES

[1] A.J. Wood, B.F. Wollenberg, «Power Generation, Operation & Control», Second edition, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1996.

- [2] S.A.Kazarlis, A.G.Barkitzis and V.Petridis, “A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem”, IEEE Trans .power Systems, Vol.11,N°1,pp.83-92,February 1996.
- [4] S. M. T. Bathaee, M. Fesanghary, A. Vasebi, M. HassaniKeleshtery «A New Stochastic Algorithm for Various Types of Economic Dispatch Problems: Harmony Search » The 8th International Power Engineering Conference – IPEC2007, 3-6 December 2007, Singapore, Tehran.
- [5] Guillaume CA L A S «Optimisation par Essaim Particules» Disponible sur le site: <https://www.calas.free.fr>
- [6] J. Cai et al, «Chaotic Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch Considering the Generator Constraints», Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 2, pp. 645–653, February 2007.
- [7] Rida Djamel Mohammedi « Étude du Problème d’Engagement de Turbines (Unit Commitment) par la Programmation Dynamique et autres Techniques Avancées », Mémoire de magister, U.A.T. de Laghouat, Juin 2008.
- [8] S. Chouinard « la programmation dynamique – Théorie & Applications », DAMAS, www.damas.ift.ulaval.ca , 10Mars, 2006.
- [9] D.W.RossandS.Kim,” Dynamic Economic Dispatch of Generation”,IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-99, N°6, pp.2060-2068, November 1980.
- [10] D.N. Jeyakumar et al « Particle Swarm Optimization for Various Types of Economic Dispatch Problems», Electrical Power and Energy Systems, Vol. 28, No. 1, pp. 36-42, 2006.