

Maîtriser la consommation d'énergie en domotique par ordonnancement sous contrainte de ressources

Duy Long Ha, Stéphane Ploix, Eric Zamai, Mireille Jacomino

Laboratoire d'Automatique de Grenoble, INPG, UJF, UMR 5528,
BP 46, F-38402 Saint Martin d'Hères Cedex, France
Phone: 33 4 76 82 62 44, Fax: 33 4 76 82 63 88
duy-long.ha, stephane.ploix, eric.zamai, mireille.jacomino @inpg.fr

RESUME

La consommation d'électricité du secteur résidentiel est très importante (environ 33% de la consommation nationale française). Ceci n'est pas sans conséquences sur l'environnement, et le portefeuille de l'utilisateur. Ce travail présente une solution s'appuyant sur des techniques d'ordonnancement sous contraintes de ressources (RCPSP), qui permet de mieux maîtriser l'énergie dans l'habitat en exploitant les possibilités d'accumulation d'énergie pour façonner la consommation totale d'un usager.

MOTS CLES : Ordonnancement, RCPSP, maîtrise de l'énergie, systèmes embarqués, domotique

ABSTRACT

Nowadays, the Residential sector consumption is more than 30 per cent of total electricity demand in France. This is not without consequences on the environment, and on the user's budget. This work presents a solution based on resource constraint scheduling problem (RCPSP) techniques, which makes it possible to better control energy in the housing by exploiting the energy accumulation possibilities to modify the user's overall electricity consumption.

KEYWORDS: Scheduling, RCPSP, Demand Side Management, Home automation, Branch & Bound, onboard system

INTRODUCTION

En France, la consommation d'électricité du secteur résidentiel est très importante (plus de 30% de la consommation nationale [11]) et elle augmente de manière continue. Comme dans d'autres pays, les pics de consommation qui induisent des transitoires ne peuvent être pris en charge que par des sources d'énergie très polluantes (turbines à gaz, centrales thermiques,...). Pour le fournisseur d'énergie, la meilleure manière de réduire l'impact sur l'environnement est de lisser la courbe de consommation totale. Aujourd'hui, les producteurs d'énergie influencent les consommateurs au moyen d'une politique tarifaire favorisant la consommation lorsque la consommation est faible et inversement. Néanmoins, ce

moyen d'action est peu souple car les périodes creuses sont fixées à l'avance et restent les mêmes tout au long de l'année.

Boivin [1] propose un système permettant aux clients domestiques d'avoir la possibilité de choisir des tarifs qui reflètent la variation du coût de l'électricité au cours de la journée. Dans le cas où la consommation nationale totale est trop importante, un usager aura la possibilité de choisir entre continuer à consommer à sa guise moyennant une surtarification de l'énergie ou d'accepter de réduire sa consommation instantanée. Pour l'utilisateur, le problème va être de mieux maîtriser sa consommation en fonction de contraintes liées à la consommation totale. Une première solution consiste à utiliser un système de délestage dont le déclenchement serait piloté par le producteur d'énergie. Or, ce type de solution pénalise toujours les mêmes équipements, sans tenir en compte des critères de confort des usagers.

Ce travail considère qu'un calculateur doté de facultés de communication puisse être associé à chacun des principaux équipements d'un logement. L'algorithme proposé s'appuie sur une interaction entre ces différents calculateurs et vise à maximiser le confort d'utilisateur tout en satisfaisant à une contrainte de consommation maximale. Seuls des environnements thermiques aires dotés de radiateurs électriques sont envisagés. La solution proposée s'appuie sur un algorithme d'ordonnancement sous contraintes de ressources (RCPSP).

L'article est organisé comme suit. La première partie est consacrée à la formulation du problème et notamment à la présentation des environnements thermiques aires. La formulation RCPSP est présentée dans la section suivante. La dernière partie porte sur les résultats obtenus.

FORMULATION DU PROBLÈME

Le problème traité ne s'intéresse qu'aux environnements thermiques aires qui représentent la plus grande part de la consommation d'énergie en saison hivernale. Les résultats seront étendus par la suite.

La maîtrise de la consommation instantanée est appréhendée par un mécanisme d'ordonnancement prévisionnel dont la fonction est de rechercher des ordonnancements à moyen/long terme, s'appuyant sur les prévisions de consommation de chacun des équipements ou agrégats d'équipements, capables d'éviter les travers d'une gestion instantanée des conflits de demande d'énergie. En cas de conflit de demandes en ressource énergie, un mécanisme de protection ou d'ordonnancement temps réel intervient. Il a pour fonction de trouver rapidement une solution satisfaisant aux contraintes de consommation, qui soit acceptable par les usagers. Au cas où les contraintes de confort ne pourraient pas être satisfaites, un système domotique devra être en mesure de rechercher et d'évaluer les différentes options possibles pour ouvrir une négociation avec l'utilisateur. Le mécanisme de pilotage d'un système domotique est décrit par la figure 1.

Pour configurer les systèmes domotique, l'utilisateur doit pondérer l'importance des environnements (thermiques air, thermique eau) et des services (cuisson,...) les uns par rapport aux autres et définir, ou mettre à jour, les consignes des différents équipements.

Les calculateurs embarqués dans les différents équipements récupèrent alors les prédictions des grandeurs externes telles que la température prédite, le niveau d'ensoleillement ou des informations sur les habitudes des usagers et sur la tarification de l'énergie. En fonction des données collectées, chaque calculateur sélectionne le modèle le plus approprié à la situation et effectue une prédiction de fonctionnement comme s'il était seul.

Les prédictions des différents équipements sont collectées pour être ordonnancées, c'est-à-dire organiser les unes par rapport aux autres de façon à ce que les contraintes énergétiques soient satisfaites au global. En cas d'échec, les contraintes en provenance de l'utilisateur sont renégociées et la phase de configuration est reprise.

En cas de succès de l'ordonnancement prévisionnel, les séquences de commande sont appliquées aux équipements. Si certaines contraintes sont violées, la commande est réajustée par des techniques d'ordonnancement temps réel [2] qui ne seront pas détaillées dans cet article. Si le réajustement échoue, l'ordonnancement prévisionnel est repris.

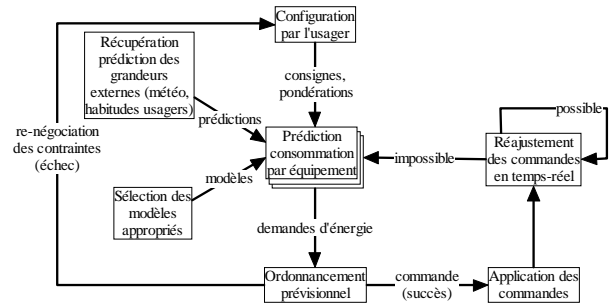


Figure 1: Le mécanisme de pilotage

Spécificités des environnements thermiques air

Seuls des environnements thermiques air dotés de radiateurs électriques sont envisagés car ils sont la principale cause de consommation dans l'habitat en saison hivernale.

Le mécanisme d'ordonnancement prévisionnel doit s'appuyer sur un modèle d'environnement thermique air qui soit compatible avec les objectifs recherchés. [8] et [5] ont proposés des modèles détaillés du comportement thermique d'une pièce. Néanmoins, étant donné le poids des incertitudes sur une prévision à plusieurs heures, les modèles dynamiques thermiques approchés présentés dans ([7,9,10]) ont été préférés :

$$C_i \frac{d(T_{in}^i)}{dk} = Q^i(k) - \frac{1}{R_{total}^i} [T_{in}^i(k) - T_{out}(k)] \quad (1)$$

C_i est la capacité calorifique de la zone i , T_i est la température de la zone i , $Q^i(k)$ est l'énergie générée par effet

Joule par le radiateur. R_{total}^i représente la résistance thermique entre l'air ambiant de la pièce et l'air extérieur. Les impacts thermiques des autres pièces, le rayonnement solaire sont considéré comme négligeables dans cet exemple mais il pourrait aussi être pris en compte au moyen d'un modèle approprié.

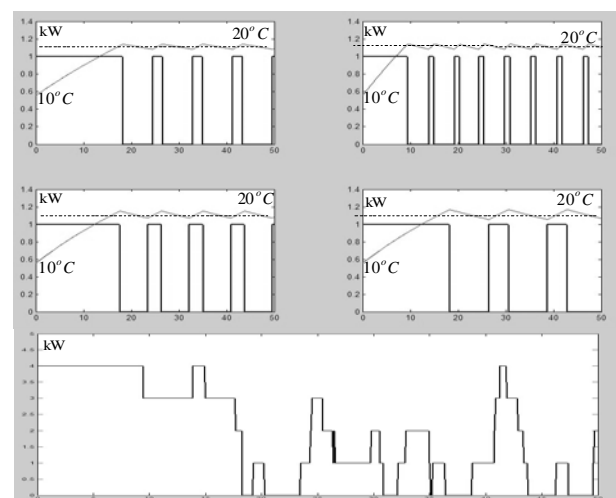


Figure 2: La température dans chaque zone et la consommation totale.

Un système de 4 environnements thermiques air est pris comme exemple. Chaque environnement dispose d'un radiateur de chauffage fonctionnant en boucle fermée. La régulation est de type tout ou rien : la consommation passe alternativement de 0 à 1kW. Le chauffage est déclenché lorsque la température de consigne de l'utilisateur T_i atteint $T_i - \Delta T_i$ et stoppe lorsque la température atteint $T_i + \Delta T_i$ où $\Delta T_i = 1^\circ\text{C}$ dans la simulation de la figure 2.

Les paramètres utilisés dans l'exemple présenté sont donnés par le tableau suivant :

Zone	$C(\text{kWh}/^\circ\text{C})$	$R(\text{kW}/^\circ\text{C})$	$T_i(^\circ\text{C})$	$\Delta T_i(^\circ\text{C})$
1	0,0307	60,02	20	1
2	0,0301	60,51	20	1
3	0,0401	75,62	20	1
4	0,0253	30,21	20	1

Sans système de pilotage domotique, des pics de consommation de 4kW se produisent parfois alors qu'à certain moment aucun des radiateurs de chauffage ne consomme.

La simulation d'un environnement thermique air (figure 3) s'appuie sur une prédiction de température, une température de consigne et un écart acceptable par l'utilisateur. La simulation se fait par intégration du modèle (1) couplé au mécanisme de régulation décrit précédemment. Un ensemble de valeurs caractéristiques $\{r_{i,j}, p_{i,j}\}$ en est déduit où $r_{i,j}$ correspond au temps de début de la demande d'énergie $t_{i,j}$ de durée $p_{i,j}$ de l'équipement i . La demande équivaut à une puissance $a_{i,j}=a_i$ (figure 4).

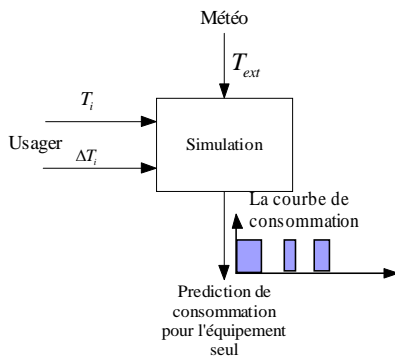


Figure 3: Mécanisme de prédiction de la consommation pour un environnement thermique air

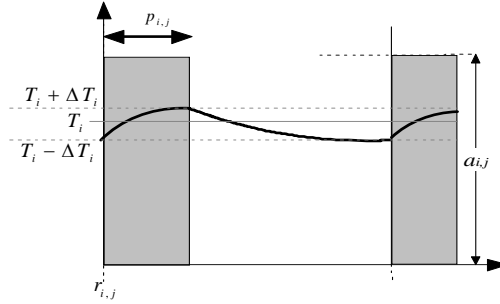


Figure 4: Une demande d'énergie $t_{i,j}$ d'un équipement i

FORMULATION RCPSP

Le problème domotique peut être vu comme un problème d'ordonnancement de tâche sous contraintes de ressources où la ressource est la puissance électrique totale disponible : c'est une ressource renouvelable et disjonctive qui est limitée par le producteur d'énergie. L'intérêt de présenter le problème comme un problème d'ordonnancement est de bénéficier des résultats issus de ce domaine de recherche [12], et notamment, de bénéficier des résultats du *Resource Constraint Project Scheduling Problem* [4].

Chaque demande d'énergie peut être vue comme une tâche dans un problème d'ordonnancement où le temps d'exécution $s_{i,j}$ de la demande peut être décalé par rapport au temps issu de la simulation $r_{i,j}$. Pour un même radiateur, les tâches doivent satisfaire à une contrainte de précédence. La variable binaire $^i x_m^n$ représente l'existence d'une contrainte de précédence entre les tâches $t_{i,m}$ et $t_{i,n}$: si $m < n$ alors $^i x_m^n = 1$, sinon $^i x_m^n = 0$. La tâche $t_{i,m}$ ne peut commencer avant la fin de $t_{i,n}$. Les contraintes de précédence s'écrivent donc :

$$s_{i,m} \geq f_{i,n} \cdot ^i x_m^n \quad \forall m, n \in \{1, 2, \dots, J_i\}, i \in \{1, 2, \dots, I\} \quad (2)$$

où $f_{i,j}$ est la date de fin de la tâche $t_{i,j}$.

Dans le cas particulier d'un radiateur, le fonctionnement comprend deux étapes différentes :

- l'étape de démarrage qui amène l'environnement de la température initiale à la température de consigne. Cet étape correspond à l'**allocation de ressource initial** $t_{i,1}$ qui va déterminer les fenêtres de temps pendant lesquelles le restant des allocations pourra être exécuté.
- le régime permanent pendant laquelle le radiateur doit rester autour de sa température de consigne.

L'allocation de ressource initiale a des conséquences sur l'ensemble de l'ordonnancement puisqu'elle décale l'ensemble des dates d'allocation au plus tôt. Il s'agit d'une contrainte de localisation temporelle : elle détermine les fenêtres de temps durant lesquelles des ressources doivent être allouées. Cette contrainte s'exprime ainsi :

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, I\}, r_{i,1} \leq s_{i,1} \leq d_{i,1} - p_{i,1} \quad (3)$$

Dans le cas d'un radiateur, la demande de l'utilisateur se traduit par une consigne de température pour la zone :

$$T_i - \Delta T_i \leq T_i \leq T_i + \Delta T_i \quad (4)$$

Après la première allocation de ressource, la température dans l'environnement thermique air diminue. Le radiateur doit chauffer à nouveau pour que la température ne descende pas plus bas que la température limite inférieure. Ceci conduit à des contraintes de décalage temporel maximum $D_{max_{i,j}}$ entre l'allocation initiale $t_{i,1}$ et les allocations $t_{i,j}$. Un décalage temporel minimum $D_{min_{i,j}}$ est nécessaire entre l'allocation initiale et les allocations $t_{i,j}$ pour éviter de dépasser la limite supérieure de la consigne de température. Ces contraintes s'écrivent :

$$s_{i,j} \geq s_{i,1} + D_{min_{i,j}} \quad (5)$$

$$\forall j \in \{2, 3, \dots, J_i\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$f_{i,j} \leq s_{i,1} + D_{max_{i,j}} \quad (6)$$

$$\forall j \in \{2, 3, \dots, J_i\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

L'énergie totale disponible est limitée. Cela se traduit par une contrainte de ressource maximale : à tout moment k , la ressource utilisée ne doit pas dépasser la ressource disponible :

$$\sum R_{i,j,k} \leq R \quad (7)$$

$$\forall k \in [k_1, k_2], j \in \{1, 2, \dots, J_i\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

Dans le cas idéal où il y a assez de ressources pour faire fonctionner tous les services, toutes les allocations seront exécutées aux dates $r_{i,j}$ issues de la simulation du comportement des équipements et la qualité du service sera maximale. Dans le cas où les ressources disponibles ne sont pas suffisantes, les allocations de ressources ne correspondront plus aux dates simulées : la température dans la zone peut ainsi diminuer et réduire la qualité du service. Pour minimiser les effets de ce décalage, la somme totale des retards pondérés par l'utilisateur pour l'ensemble des allocations sera minimisée. Soit le critère suivant :

$$\text{Min} \sum_{i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}} w_j (s_{i,j} - r_{i,j}) \quad (8)$$

L'ordonnancement va consister à ajuster les allocations de ressource les unes par rapport aux autres. Il s'agit de rechercher un ensemble de valeur $\{s_{i,j}\}$ tel que le critère (8) soit minimum et que les contraintes (2), (3), (5), (6) et (7) soient satisfaites.

Le problème RCPSP est un problème NP-difficile pour lequel les méthodes de résolution par arbre sont appropriées à la résolution exacte.

Tableau 1 - Notions et définitions

Symbole	
k	Index du temps
i	Index de zone, radiateur
I	Nombre de zones
j	Index de la tâche
J_i	nombre de tâches du radiateur i
w_i	Poids de zone i
$t_{i,j}$	Tâche j du radiateur i
$s_{i,j}$	Date d'exécution de tâche $t_{i,j}$
$f_{i,j}$	Date de fin de tâche $t_{i,j}$
$p_{i,j}$	Durée de tâche $t_{i,j}$
$D_{min_{i,j}}$	Intervalle de temps minimal entre $s_{i,j}$ et $s_{i,1}$
$r_{i,j}$	Date au plus tôt de tâche $t_{i,j}$
$D_{max_{i,j}}$	Intervalle de temps maximal entre $f_{i,j}$ et $s_{i,1}$
$d_{i,j}$	Date au plus tard de tâche $t_{i,j}$
$a_{i,j}$	Ressource nécessaire pour exécuter la tâche $t_{i,j}$
R_k	Ressource disponible en moment k
$R_{i,j,k}$	Ressource affecté à la tâche $t_{i,j}$ en moment k
$T_{in}^i(k)$	La température dans zone i en moment k
$T_{ext}^i(k)$	La température à l'extérieur en moment k
T_{mi}^i	La température initiale dans zone i
$T_{consigne}^i$	La température de consigne dans zone i

RÉSOLUTION DU PROBLÈME RCPSP

Les approches par Séparation et Évaluation [3] sont actuellement les méthodes le plus largement répandues pour obtenir les solutions optimales aux problèmes NP-difficiles. L'avantage principal de cette méthode est que, après évaluation de tous les noeuds, l'optimalité de la solution finale est garantie. L'inconvénient majeur est que le temps de calcul peut être très important.

Schéma de séparation

Le schéma de séparation permet de construire un arbre de recherche. Nous avons repris le schéma de séparation chronologique se basant sur la construction d'un ordonnancement partiel pour le problème RCPSP présenté dans littérature [1],[4]. Ce schéma consiste à ajouter une des tâches (allocation) à un ordonnancement partiel en vue d'obtenir une solution réalisable. La figure 5 présente la séparation en noeuds effectuée. Un noeud correspond à une allocation $t_{i,j}$ pour laquelle une date d'exécution $s_{i,j}$ est fixée. A chaque branche BR de l'arbre de recherche correspond un ordonnancement partiel amissible (i.e satisfaisant les contraintes (2), (3), (5), (6), (7)) avec un sous-ensemble de tâches déjà classées Ω_{BR} et un sous-ensemble de tâches non encore classées $\bar{\Omega}_{BR}$. Nous avons de plus un sous-ensemble de tâches disponibles (c.-à-d. les tâches dont tous les prédécesseurs sont déjà

ordonnés). Une tâche $t_{i,j}$ est choisie dans cet ensemble (la tâche qui a le plus petit $r_{i,j}$). Deux nœuds sont créés, l'instant de placement $s_{i,j}$ est déterminé comme le plus petit instant permettant de placer $t_{i,j}$ sans violer les différentes contraintes. $s_{i,j}$ doit de plus être supérieur ou égal à l'instant de placement de la dernière tâche classée dans Ω_{BR} .

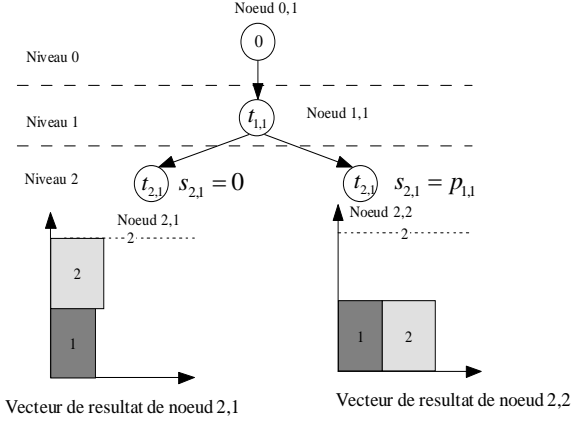


Figure 5: Illustration de schéma de branchement

Évaluation par défaut

L'évaluation par défaut aide à éliminer les branches qui conduisent à des solutions non optimales à l'aide d'une borne inférieure BI_{BR} du critère (8) calculé à chaque nouveau nœud trouvé. Le calcul de cette borne se base sur le fait que la tâche critique $t_{i,1}$ en retard entraîne le retard de l'ensemble des tâches $t_{i,j}$:

$$BI_{BR} = \sum_{t_{i,j} (j \neq 1) \in \Omega_{BR}} (w_{i,j}(s_{i,j} - r_{i,j})) + \sum_{t_{i,1} \in \Omega_{BR}} (J_i * w_{i,1} * (s_{i,1} - r_{i,1})) \quad (9)$$

où J_i représente le nombre de plage d'allocation du radiateur i

Faisabilité

Le raisonnement énergétique est une technique générique qui a été proposée dans [12]. La durée couverte $[0, t_f]$ par un ordonnancement peut être découpée en période de même durée Δ (par exemple $\Delta = t_f / 10$). L'énergie allouée durant l'intervalle $[k\Delta, (k+1)\Delta]$ à la tâche $t_{i,j}$ est notée

$$e_{i,j}^k : \\ e_{i,j}^k = a_{i,j} \max \left[0, \min \left(f_{i,j}, (k+1)\Delta \right) - \max \left(s_{i,j}, k\Delta \right) \right] \quad (10)$$

Dans l'intervalle $[k\Delta, (k+1)\Delta]$, la tâche $t_{i,j}$ aura besoin au minimum de l'énergie:

$$e_{i,j}^k = a_{i,j} \max \left[0, \min \left(p_{i,j}, \Delta, r_{i,j} + p_{i,j} - k\Delta, k\Delta - d_{i,j} \right) \right] \quad (11)$$

La situation de non-faisabilité apparaît lorsque sur un

nœud courant, dans l'intervalle $[k\Delta, (k+1)\Delta]$ la ressource disponible n'est pas suffisante pour le sous-ensemble des tâche $\bar{\Omega}_{BR}$:

$$\int_{k\Delta}^{(k+1)\Delta} R_k dk - \sum_{t_{m,n} \in \Omega} e_{m,n}^k < \sum_{t_{i,j} \in \bar{\Omega}_{BR}} e_{i,j}^k \quad (12)$$

alors le nœud correspondant et ses fils sont éliminés.

Stratégie d'exploration de l'arbre

La stratégie choisie est la recherche en profondeur d'abord en vue d'apporter une solution admissible très rapidement en testant la faisabilité du problème. A chaque nœud un ensemble de tâche disponible $EP \in \bar{\Omega}_{BR}$ est mémorisé. Le schéma de séparation correspond à choisir une tâche $t_{i,j} \in EP$ ayant le plus petit instant $s_{i,j}$ de placement en satisfaisant (2), (3), (5), (6) et (7). Dans le cas de détection d'une solution non faisable par le raisonnement énergétique, une rétrospection (back check) intervient. Tout d'abord, un autre placement de tâche $t_{i,j}$ est essayé, puis une autre tâche est choisie dans EP . Après avoir atteint une feuille de l'arborescence, un ordonnancement complet est réalisé qui permet de calculer la valeur du critère (8) dont le minimum calculé sur toute les branches conduisant à des feuilles défini une borne supérieure BS. On revient au premier niveau et on continue le schéma de branchement en largeur. L'avantage de cette stratégie est la réduction du temps de calcul. Par contre le mémoire utilisée est importante. Les nœuds ayant une BI_{BR} supérieure à la borne supérieure BS sont éliminés.

La recherche par faisceau est employée pour trouver un résultat approché : à chaque niveau, seuls les nœuds les plus prometteurs sont gardés.

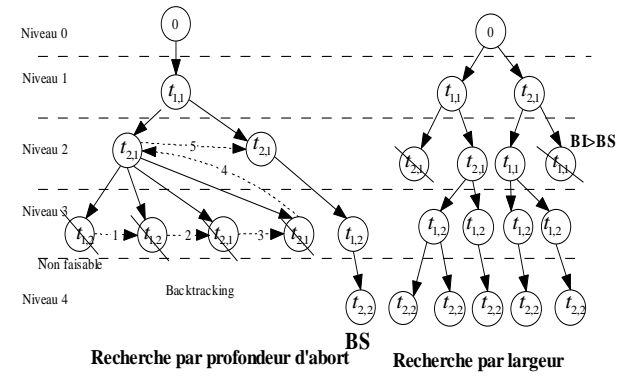


Figure 6: Stratégie d'exploitation de l'arbre

Résultats

Dans cet exemple, nous considérons que la ressource est limitée à 2kW. Le résultat est illustré sur la figure 7. Une ressource maximum de 2Kw permet à seulement 2 radiateurs de fonctionner simultanément. Quand les radiateurs

sont bien synchronisés, le pic de consommation n'exécède pas 2kW et les contraintes de température dans les 4 zones sont satisfaites.

L'algorithme a été implémenté sous Matlab, et testé sur un ordinateur Celeron 2,2Ghz. Le problème comportait 70 plages d'allocation pour 4 radiateurs couvrant une période de 100 minutes. Trouver une solution approchée a nécessité 12s alors que la solution optimale nécessite environ 3000s. La solution optimale pour les 50 premières minutes apparaît sur la figure 7.

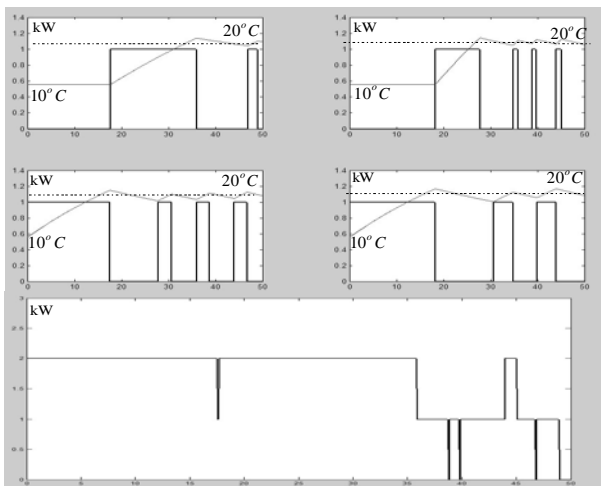


Figure 7: Le résultat d'application de l'algorithme sur le car d'étude.

CONCLUSION

Une solution à la maîtrise de l'énergie consommée par des environnements thermiques air a été proposée. Elle s'appuie sur des algorithmes de type Séparation et Évaluation issus de l'ordonnancement.

La robustesse de l'algorithme peut être prise en compte en augmentant les durées obtenues par simulation des plages d'allocation de ressource durant l'ordonnancement. En procédant ainsi, de l'énergie est mise en réserve pour un réajustement en temps réel des allocations.

La maîtrise de la consommation peut ainsi être mieux régulé par le producteur d'énergie en imposant à chaque foyer, ou à chaque groupe de foyers, une contrainte de consommation maximale fixée dynamiquement au cours du temps en tenant compte des contraintes liées à la production de l'énergie.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bastiste Ph. And Le Pape C., "Constraint Propagation and Decomposition Techniques for Highly Disjunctive and Highly Cumulative Project (Published Conference Proceedings style)". The 3rd International Conf on Principle and Practice of Constraint Programming. Lecture Notes in Computer Science 1330, Springer.

2. Blazewicz J., Ecker K.H., Schmidt G., Weglarz J., "Scheduling in computer and Manufacturing Systems, Second, revised edition(Book style)", Springer- Verlag
3. Dhaeanens-Flipo,M.-LEspinouse,B. Penz Problèmes combinatoires classiques et techniques de résolution .In G, Finke, Recherche Opérationnelle et Réseaux, Hermès, 2002
4. E. Neron, "Du flow-shop hybride au problème cumulatif (Thesis style)"Ph.D. computing, Dept. UTC,Tour Univ., 1999.
5. Fraisse, G., C. Viardot, O. Lafabrie, and G. Achard (2002). Development of a simplified and accurate building model based on electrical analogy. *Energy and Buildings*, **34**, pp. 1017-1031.
6. J.-Y Boivin, "Demand side management –The role of the power utility(Periodical style)" in *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 10, pp. 1493–1497, 1995.
7. K. K. Andersen, H. Madsen, L. H. Hansen, "Modeling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations (Periodical style)," *Energy and Building*, vol.31, pp. 13–24, 2000.
8. Lagonotte, P., Y. Bertin, and J. B. Saulnier (1999). Analyse de la qualité de modèles nodaux réduits à l'aide de la méthode des quadripôles. *Int. J. Therm. Sci.*, **38**, pp. 51-65.
9. H. Madsen, J. Holst, "Estimation of continuous-time models for the heat dynamics of a building (Periodical style)," in *Energy and Building*, vol.22, pp. 67–79, Sep 1994.
10. N. Menthes, G. Oliveira, "Building thermal performance analysis using Matlab/Simulink(Published Conference Proceedings style) ", in 7th International IBPSA Conf., Rio de Janeiro, Brazil, 2001
11. Observatoire Énergétique. Bilan énergétique de la France en 2003. Le rapport téléchargeable dans le site http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_elec.htm
12. P. Esquirol, P. Lopez, *L'ordonnancement* (Book style), Ed. Paris: Economica, 1999, pp. 97–102.
13. P. Mérieux, B. Pleynet, "Chauffage et rafraîchissement: systèmes de conduite et de gestion (Journal article)" in *Technique de l'ingénieur*, vol. B 2 158, 1992.