Optimisation sous contraintes de ressources énergétiques multiples (OREM)

Sandra Ulrich Ngueveu, Christian Artigues et Pierre Lopez

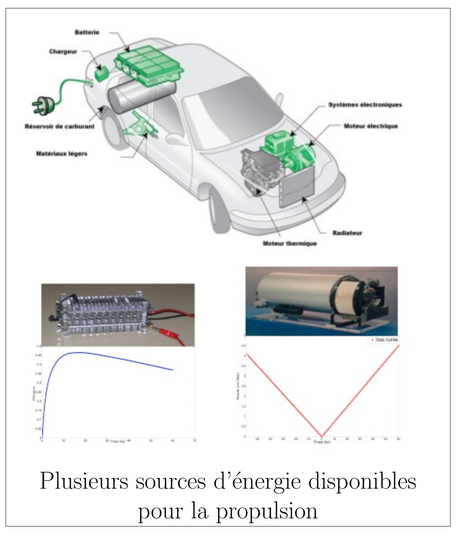
LAAS-CNRS, Toulouse, France

Introduction

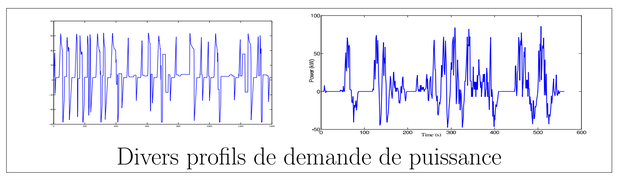
L'intégration des contraintes énergétiques en ordonnancement de production est une difficulté majeure, en raison de la complexité liée à leur traitement et il existe peu de travaux dans la littérature sur le sujet.
Dans le projet OREM, nous considérons un problème d'ordonnancement où les activités sont soumises à des fenêtres de temps et une catégorie particulière de contraintes de ressources que nous appellerons contraintes énergétiques. Chaque activité intègre une demande d'énergie. La ressource énergétique a une disponibilité instantanée limitée associée à sa puissance maximale. La quantité instantanée de ressource énergétique requise par chaque activité doit être décidée de telle sorte qu'elle demeure entre un minimum nécessaire et un maximum autorisé une fois l'activité lancée et avant que celle-ci s'achève. La quantité totale d'énergie nécessaire à chaque instant ne peut dépasser la puissance maximale et, pour chaque activité, l'énergie totale qui lui est octroyée doit permettre de satisfaire sa demande.

Quelques applications

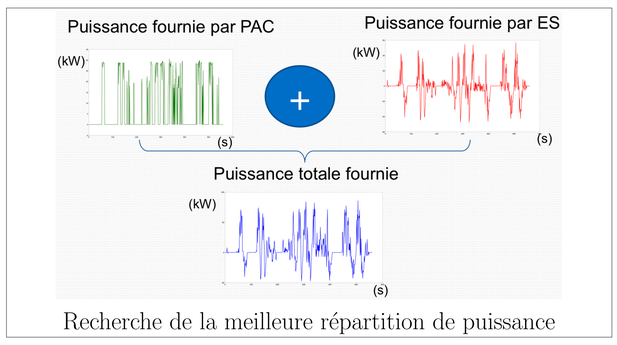
Véhicules électriques hybrides ([3])



Plusieurs sources d'énergie disponibles pour la propulsion

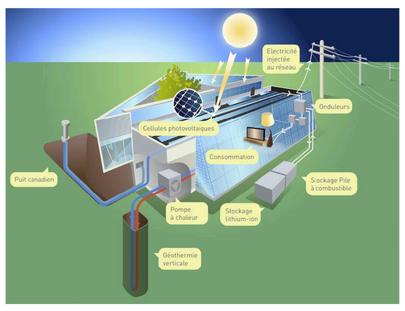


Divers profils de demande de puissance



Recherche de la meilleure répartition de puissance

Réseau domestique d'un bâtiment intelligent



Bâtiment intelligent ADREAM du LAAS

Problème mono-ressource

Définition

Trouver pour chaque tâche $i \in A$ une courbe réalisable $b_i(t)$, $t \in \mathcal{T}$.

Paramètres

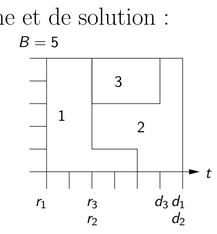
- Une ressource de disponibilité $B \in \mathbb{N}$ à respecter
- Un ensemble de tâches $A = \{1, 2, \ldots, n\}$.
  - Consommation instantanée (demande) minimale $b_i^{\min} \in \mathbb{N}$ à respecter
  - Consommation instantanée (demande) maximale $b_i^{\max} \in \mathbb{N}$ à respecter
  - Énergie requise W_i,
  - Date de lancement $r_i \in \mathbb{N}$,
  - Date d'échéance $d_i \in \mathbb{N}$
- Espace des temps $\mathcal{T}$, Espace des demandes $\mathcal{B}$

Formulation conceptuelle et illustration

$$r_i \leq st_i \leq ft_i \leq d_i \qquad (i \in A)$$
$$b_i^{\min} \leq b_i(t) \leq b_i^{\max} \qquad (i \in A\,; t \in [st_i, ft_i])$$
$$b_i(t) = 0 \quad (i \in A\,; t \in \mathcal{T} \setminus [st_i, ft_i])$$
$$\int_{st_i}^{ft_i} b_i(t)dt = W_i \qquad (i \in A)$$
$$\sum_{i \in A} b_i(t) \leq B \qquad (t \in \mathcal{T})$$

Exemple de problème et de solution :

i	r_i	d_i	W_i	$b_i^{\min}$	$b_i^{\max}$
1	0	6	12	1	5
2	2	6	12	2	5
3	2	5	6	2	2



Formulation mathématique du cas mono-ressource

Variables

- Courbes de demande $b_i(t) : \mathcal{T} \to \mathcal{B}$, $i \in A$
- Indicateur tâche commencée x_{it}
- Indicateur tâche terminée y_{it}

4 variantes

- Temps continu $\mathcal{T} \subseteq \mathbb{R}$ **ou** Temps discret $\mathcal{T} \subseteq \mathbb{N}$
- Demandes continues $\mathcal{B} \subseteq \mathbb{R}$ **ou** Demandes discrètes $\mathcal{B} \subseteq \mathbb{N}$

Modèle mathématique à temps discret ([2])

$$\max \left(\sum_{i \in A} \sum_{r_j}^{d_j - 1} b_{it} \right)$$
$$\sum_{t=r_i}^{d_i-1} x_{it} = \sum_{t=r_i+1}^{d_i} y_{it} = 1 \qquad \forall i \in A$$
$$\sum_{s=r_i+1}^{t} y_{is} b_i^{min} + b_{it} - \sum_{s=r_i}^{t} x_{is} b_i^{min} \geq 0 \qquad \forall i \in A, \forall t \in [r_i, d_i] \cap T$$
$$\sum_{t=r_i}^{d_i-1} b_{it} = W_i \qquad \forall i \in A$$
$$\sum_{i \in A} b_{it} \leq B \qquad \forall t \in T$$
$$\sum_{s=r_i+1}^{t} y_{is} b_i^{max} + b_{it} \leq b_i^{max} \qquad \forall t \in \{r_i \ldots d_i - 1\}, \forall i \in A$$
$$\sum_{s=r_i+1}^{t} y_{is} - \sum_{s=r_i}^{t} x_{is} \leq 0 \qquad \forall t \in \{r_j + 1 \ldots d_j\}, \forall i \in A$$
$$\sum_{s=0}^{t} x_{is} w_i - b_{it} \geq 0 \qquad \forall t \in \{r_j + 1 \ldots d_j\}, \forall i \in A$$
$$\sum_{s=0}^{r_i-1} x_{is} = \sum_{s=d_i+1}^{T} y_{is} = \sum_{s=0}^{r_i-1} b_{is} = \sum_{s=d_i}^{T} b_{is} = 0 \qquad \forall i \in A$$
$$x_{it}, y_{it} \in \{0, 1\} \quad b_{it} \geq 0 \qquad \forall i \in A, \forall t \in T$$

Méthologie et Contributions envisagées

Phase 1 : Résolution du cas mono-ressource

- Formulations mathématiques des différentes variantes
- Identification d'inégalités valides et de procédures de séparation associées

Phase 2 : Résolution du cas multi-ressources

- Extension du modèle mathématique et des inégalités valides au cas multi-ressources
- Définition de patterns de consommation de ressources et des procédures de génération de patterns réalisables par rapport aux contraintes prédéfinies
- Développement d'un algorithme de résolution de type génération de colonnes permettant la prise en compte des patterns réalisables identifiés.

Phase 3 : Validation expérimentale

- Introduction de courbes de consommation/production plus réalistes
- Tests sur les jeux de données réalistes de profils de puissance de véhicules électriques hybrides et de profils de mission mis à disposition par les chercheurs en Génie Electrique du LAPLACE
- Expérimentations sur le bâtiment intelligent ADREAM du LAAS (http ://www.laas.fr//ADREAM/)

Originalité et Contributions envisagées

- Intégration de la sélection de sources d'énergie en ordonnancement en prenant en compte des contraintes liées au rendement des dispositifs technologiques et à la dynamique de l'action, tous deux étant liés aux caractéristiques de chaque source
- Hybridation inédite de techniques ou méthodes de résolution : combinaison de la génération de patterns (incluant du filtrage basé sur des solutions duales adéquatement choisies) et de la propagation de contraintes de ressources du problème d'ordonnancement considéré (afin d'assurer la faisabilité des solutions).

Références

[1] C. Artigues, P. Lopez and A. Haït, The energy scheduling problem : industrial case study and constraint propagation techniques, Int. J. Prod. Econ., 143(1) :13-23, 2013
[2] C. Artigues, P. Lopez, D. Rivreau, Raisonnement énergétique et inégalités valides pour un problème d'ordonnancement sous contraintes d'énergie. ROADEF 2013, Tours, France.
[3] M. Guemri, S. Caux, S.U. Ngueveu, and F. Messine. Heuristics and lower bound for energy management in hybrid-electric vehicles. In Proceedings of 9th International Conference of Modeling, Optimization and Simulation (MOSIM 2012), paper 169, 10 pages, Bordeaux, France, 2012.