

Ergonomic job assignment by using utility functions

E. Moussavi M. Mahdjoub O. Grunder

Univ. Bourgogne Franche-comté, UTBM, Belfort

17^{ème} Conférence « ROADEF »

Sommaire

- 1 Introduction et Méthodologie
 - Système de production étudié
 - Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches
 - Affectation des tâches
- 2 Modèle mathématique
 - Paramètres et variables
 - Fonction objectif et contraintes
- 3 Etude de cas et résultats
 - Ligne d'assemblage étudié
 - Résolution le problème avec GUROBI
 - Analyse des résultats

Lignes directrices

- 1 Introduction et Méthodologie
 - Système de production étudié
 - Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches
 - Affectation des tâches
- 2 Modèle mathématique
 - Paramètres et variables
 - Fonction objectif et contraintes
- 3 Etude de cas et résultats
 - Ligne d'assemblage étudié
 - Résolution le problème avec GUROBI
 - Analyse des résultats

Système de production étudié

Ligne de montage
Stations de travail, Postes de travail
Machines, Opérateurs
Système en serie et continue
Système combiné pour l'affectation



Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches

- Critères ergonomiques
 - ① Cognitif: la charge de travail intellectuelle, niveau de compétence dans la prise de décision...
 - ② Physique: Anthropométriques et d'autres caractéristiques de la biomécanique liés à l'activité physique
 - ③ Organisationnel: Capacité de travail en équipe et la communication, la gestion de la qualité, des temps des opérations et des ressources

Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches

- Analyser les postes de travail

	Poste 1	Poste 2	Poste 3	Poste 4	Poste 5
Taille (Cm)	-	$172 \leq H \leq 183$	$H \geq 170$	-	$165 \leq H \leq 178$
Âge (Année)	-	$25 \leq A \leq 35$	-	$A \geq 30$	$28 \leq A \leq 45$
Compétence (Note)	$A \geq 8$	$A \geq 5$	$A \geq 6$	$A \geq 8$	$A \geq 5$
Expérience (Année)	$E \geq 5$	-	$E \geq 3$	$E \geq 7$	$E \geq 4$

Caractériser les opérateurs

	Opérateur1	Opérateur2	Opérateur3	Opérateur4
Taille (Cm)	171	183	175	178
Âge (Année)	33	40	42	26
Compétence (Note)	p1:5 p2:8	p1:2 p2:3	p1:10 p2:4	p1:5 p2:6
	p3:3 p4:2	p3:7 p4:9	p3:5 p4:1	p3:2 p4:5
	p5:5	p5:8	p5:7	p5:2
Expérience (Année)	p1:2 p2:5	p1:0 p2:0	p1:6 p2:2	p1:1 p2:3
	p3:0 p4:0	p3:4 p4:8	p3:1 p4:0	p3:0 p4:1
	p5:1	p5:3	p5:4	p5:0

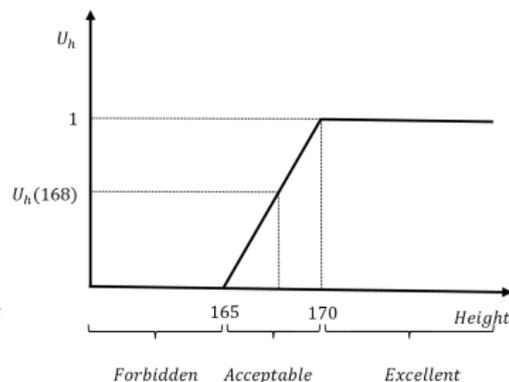
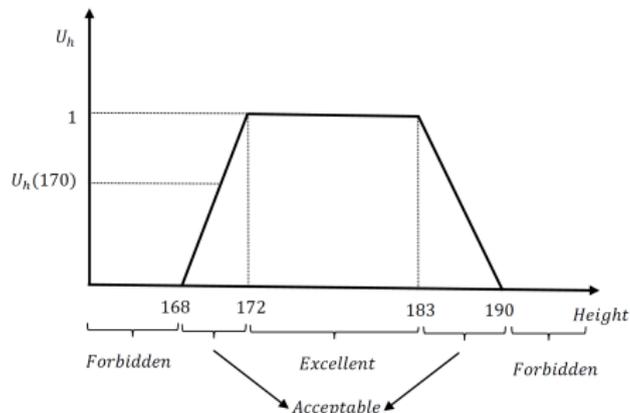
Comparer en utilisant la fonction d'utilité

Post2 : ($172 \leq H \leq 183$)

Post3 : ($170 \leq H$)

$$U(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h < 168 \text{ or } h \geq 190 \\ 1 - \frac{172-h}{172-168} & \text{if } 168 \leq h < 172 \\ 1 & \text{if } 172 \leq h < 183 \\ 1 - \frac{h-183}{190-183} & \text{if } 183 \leq h < 190 \end{cases}$$

$$U(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h < 165 \\ 1 - \frac{170-h}{170-165} & \text{if } 165 \leq h < 170 \\ 1 & \text{if } 170 < h \end{cases}$$



Niveau de conformité des opérateurs pour chaque poste

- Détermination du niveau de conformité
- Affectation des tâches (tel opérateur travail à tel poste)

	Opérateur1	Opérateur2	Opérateur3	Opérateur4	Opérateur5
Poste1	0.68	0.38	0.85	0.40	0.44
Poste2	0.79	0.47	0.41	0.71	0.76
Poste3	0.31	0.63	0.55	0.27	0.95
Poste4	0.25	0.92	0.33	0.62	0.59
Poste5	0.49	0.76	0.70	0.18	0.34

Lignes directrices

- 1 Introduction et Méthodologie
 - Système de production étudié
 - Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches
 - Affectation des tâches
- 2 **Modèle mathématique**
 - Paramètres et variables
 - Fonction objectif et contraintes
- 3 Etude de cas et résultats
 - Ligne d'assemblage étudié
 - Résolution le problème avec GUROBI
 - Analyse des résultats

Modèle mathématique

- Paramètres :
 - N_j nombre de travailleurs requis à la station j ;
 - D_{max}, D_{min} nombre maximum et minimum de jours que les opérateurs sont autorisés à travailler;
 - E_{ij} efficacité du travailleur i dans le poste j ;
 - A_j, B_j temps de traitement minimum et maximum dans la station j ;
- Variables:
 - $X_{ij}^d = \text{binary}$, travailleur i est affecté à la station j en période (jour) d , ou non.
 - $O_{ij}^d =$ temps de traitement du travailleur i à la station j en période d ; $O_{ij}^d = 0$ Si $X_{ij}^d = 0$, et $O_{ij}^d > 0$ Si $X_{ij}^d = 1$.
 - $S_j^d, P_j^d, F_j^d =$ temps de démarrage, traitement et terminaison à la station j au jour d ;
 - $C^d =$ durée du cycle de production au jour d ;

Fonction objectif et contraintes

$$\text{Minimize } C = \sum_{d=1}^D C^d$$

Les constraints de l'affectation

$$\sum_{j=1}^J X_{ij}^d \leq 1 \quad \forall i, d \in \{1, D\}$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{d=1}^D X_{ij}^d \leq D_{max} \quad \forall i \in \{1\}$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{d=1}^D X_{ij}^d \geq D_{min} \quad \forall i \in \{1\}$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^d = N_j \quad \forall j, d \in \{J, D\}$$

Fonction objectif et contraintes

Les constraints de l'ordonnement

$$O_{ij}^d = (B_j - E_{ij}(B_j - A_j)) X_{ij}^d \quad \forall i \in I, j \in J, d \in D$$

$$O_{ij}^d \leq P_j^d \quad \forall i \in I, j \in J, d \in D$$

$$F_j^d = S_j^d + P_j^d \quad \forall j \in J, d \in D$$

$$S_{j+1}^d \geq F_j^d \quad \forall j \in J, d \in D$$

$$C^d \geq F_j^d \quad \forall j \in J, d \in D$$

Lignes directrices

- 1 Introduction et Méthodologie
 - Système de production étudié
 - Analyse ergonomique des opérateurs et des tâches
 - Affectation des tâches
- 2 Modèle mathématique
 - Paramètres et variables
 - Fonction objectif et contraintes
- 3 Etude de cas et résultats
 - Ligne d'assemblage étudié
 - Résolution le problème avec GUROBI
 - Analyse des résultats

Etude de cas

- 5 stations de travail
- 9 opérateurs requis par jour
- 13 opérateurs disponibles

	Nombre d'opérateur	Temps de traitement			
		Type	Pire U_{ij}	Meilleur U_{ij}	Fonction linéaire pertinente
S1	1	constant	5 mins	5 mins	$F(U_{i1}) = 5$
S2	3	variable	10 mins	6 mins	$F(U_{i2}) = 10 - (4 * U_{i2})$
S3	2	variable	6 mins	3 mins	$F(U_{i3}) = 6 - (3 * U_{i3})$
S4	1	constant	4 mins	4mins	$F(U_{i4}) = 4$
S5	2	variable	7 mins	5 mins	$F(U_{i5}) = 7 - (2 * U_{i5})$

Etude de cas

- Le temps de traitement

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13
S1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
S2	6.9	6.3	7.4	9.8	8.1	8.1	9.8	9.2	7.4	6.7	8.9	6.2	8.2
S3	4.2	3.0	4.2	3.4	3.6	4.6	5.1	3.7	4.2	3.4	5.6	3.8	4.4
S4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
S5	6.4	6	5.5	5.3	5.4	6.3	6.2	6.4	5.7	6.4	6.5	6.0	6.7

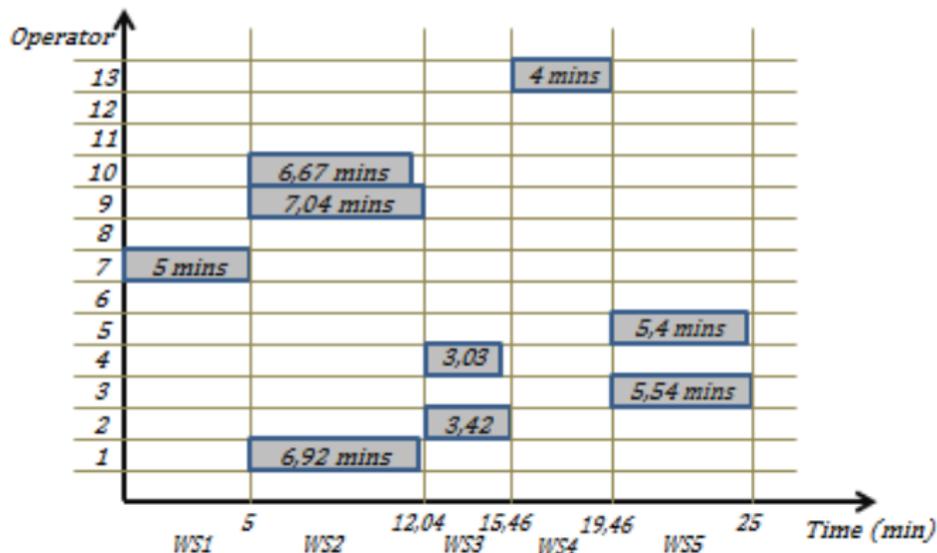
Les résultats : Planification des tâches hebdomadaires

Résolution le problème avec GUROBI

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	avg fin
S1	O11	O6	O13	O7	O11	O7	O7	5
S2	O1	O1	O2	O1	O1	O1	O2	11.96
	O9	O9	O10	O9	O9	O9	O10	
S3	O10	O12	O12	O12	O12	O10	O12	15.61
	O2	O5	O5	O8	O2	O2	O5	
S4	O8	O8	O8	O10	O4	O4	O8	19.61
	O13	O13	O11	O6	O13	O13	O11	
S5	O6	O3	O3	O3	O6	O3	O3	25.39
	O7	O4	O4	O5	O7	O5	O4	
PCT	26.16	25.33	25.04	25.33	25.86	25	25.04	25.39

Les résultats

- Durée du cycle de production le 6^{ème} Jour



Conclusion

- Planification et rotation des tâches dans un système combiné (composé de tâches en série et en parallèle simultanément)
- Mixed-integer programming
- La capacité ergonomique des opérateurs affecte le temps de traitement
- L'impact de niveau de conformité sur le makespan
- Optimisation ergonomique dans une ligne d'assemblage continue

Lectures complémentaires I

-  J. Bhadury, Z. Radovilsky.
Job rotation using the multi-period assignment model. *International Journal of Production Research*, 44:4431-4444, 2006.
-  C.J. Henderson.
Ergonomic job rotation in poultry processing. *Advances in Industrial Ergonomics and safety*, 4:443-450, 1992.
-  Q.K. Pan, P.N. Suganthan, T.J. Chua, T.X. Cai.
Solving manpower scheduling problem in manufacturing using mixed-integer programming with a two-stage heuristic algorithm. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46:1229-1237, 2010.