

Plan du cours

Virginie Gabrel (b220ter)
gabrel@lamsade.dauphine.fr

- Qu'est-ce que la Recherche Opérationnelle ?
 - Champs d'application
 - Méthodologie utilisée en RO
 - Outils scientifiques utilisés
- Excel : un outil d'Aide à la Décision
 - Le solveur d'Excel

Un problème d'allocation de ressources limitées

- Une entreprise sidérurgique a reçu commande de 5 tonnes d'acier. Les teneurs de cet acier en différents éléments chimiques doivent se trouver dans les fourchettes suivantes :
 - Proportion de carbone entre 2% et 3%
 - Proportion de cuivre entre 0.4% et 0.6%
 - Proportion de manganèse entre 1.2% et 1.65%
- Pour fabriquer cet acier, l'entreprise dispose de 7 matières premières.

Matière première	Teneur en C (%)	Teneur en Cu (%)	Teneur en Mn (%)	Stock (Kg)	Coût (par Kg)
Ferraille 1	2,5	0	1,3	4000	0,2
Ferraille 2	3	0	0,8	3000	0,25
Ferraille 3	0	0,3	0	6000	0,15
Ferraille 4	0	90	0	5000	0,22
Ferraille 5	0	96	4	2000	0,26
Ferraille 6	0	0,4	1,2	3000	0,2
Ferraille 7	0	0,6	0	2500	0,17

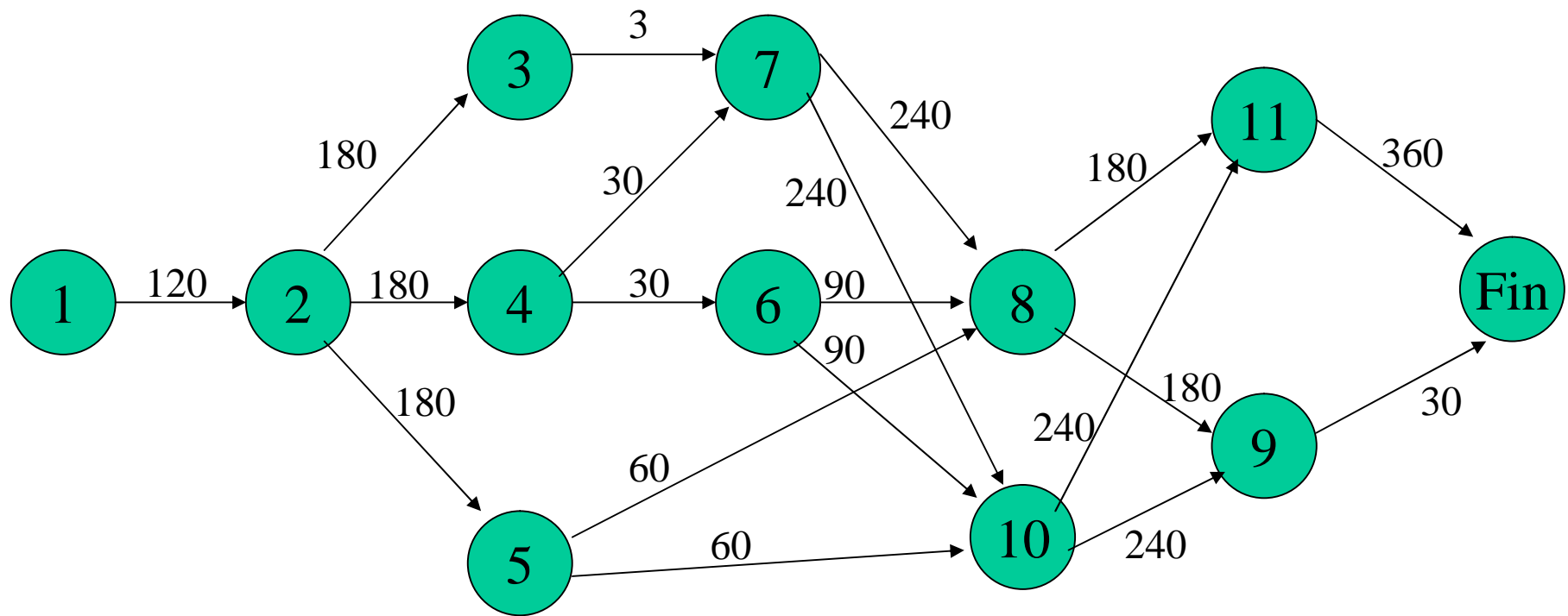
Déterminer les quantités de ferrailles à mélanger pour obtenir la commande souhaitée par le client au meilleur coût.

Un problème d'ordonnancement

La mise en exploitation d'un nouveau gisement minier demande l'exécution d'un certain nombre de tâches:

Code	Tâche	Durée (en jours)	Tâches antérieures
1	Obtention d'un permis d'exploitation	120	
2	Etablissement d'une piste de 6 km	180	1
3	Transport et installation de 2 sondeuses	3	2
4	Création de bureaux et de logements provisoires	30	2
5	Goudronnage de la piste	60	2
6	Adduction d'eau	90	4
7	Campagne de sondage	240	3,4
8	Forage et équipement de 3 puits	180	5,6,7
9	Transport et installation du matériel d'exploitation	30	10,8
10	Construction de bureaux et de logements définitifs	240	5,6,7
11	Tracage et aménagement du fond	360	8,10

Graphe potentiel-tâche



Un problème de distribution

- Enoncé : Un produit à acheminer depuis 3 dépôts vers 4 clients de façon à minimiser les coûts de distribution

Client	C1	C2	C3	C4	
Dépôt					Offre
D1	10	8	5	9	500
D2	7	5	5	3	300
D3	11	10	8	7	400
Demande	200	400	300	100	

Coûts unitaires de transport

Un problème de distribution : obtention d'une solution réalisable avec Excel

Microsoft Excel - exCours

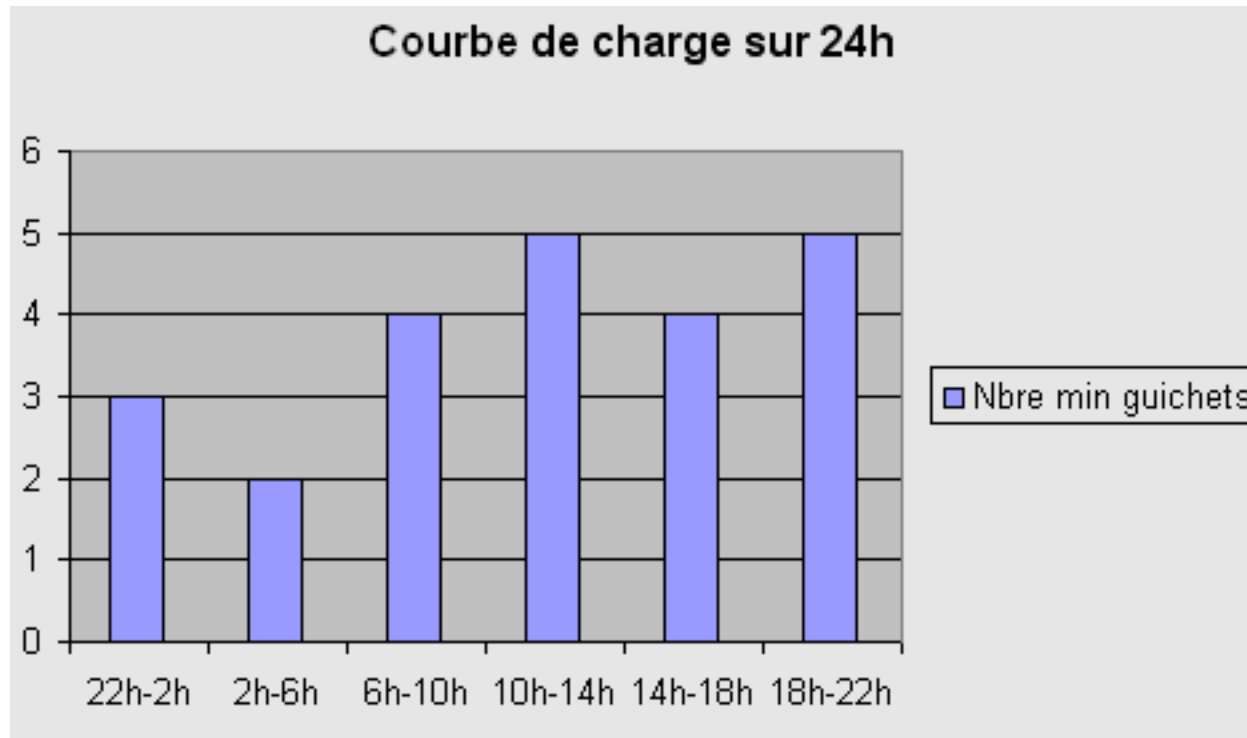
Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

A21 = Stratégie : Livrer un client à partir du dépôt disponible le moins cher

	A	B	C	D	E	F	G
1	Les données du problème de distribution						
2							
3	Client	C1	C2	C3	C4		
4	Dépôt					Offre	
5	D1	10	8	5	9	500	
6	D2	7	5	5	3	300	
7	D3	11	10	8	7	400	
8	Demande	200	400	300	100		
9							
10							
11	Un programme de distribution construit manuellement						
12							
13	Client	C1	C2	C3	C4		
14	Dépôt					Total départ	Offre
15	D1		300	200		500	500
16	D2	200	100			300	300
17	D3			100	100	200	400
18	Total livré	200	400	300	100	1000	
19	Demande	200	400	300	100		6800
20							
21	Stratégie : Livrer un client à partir du dépôt disponible le moins cher						

Un problème de construction d'horaires

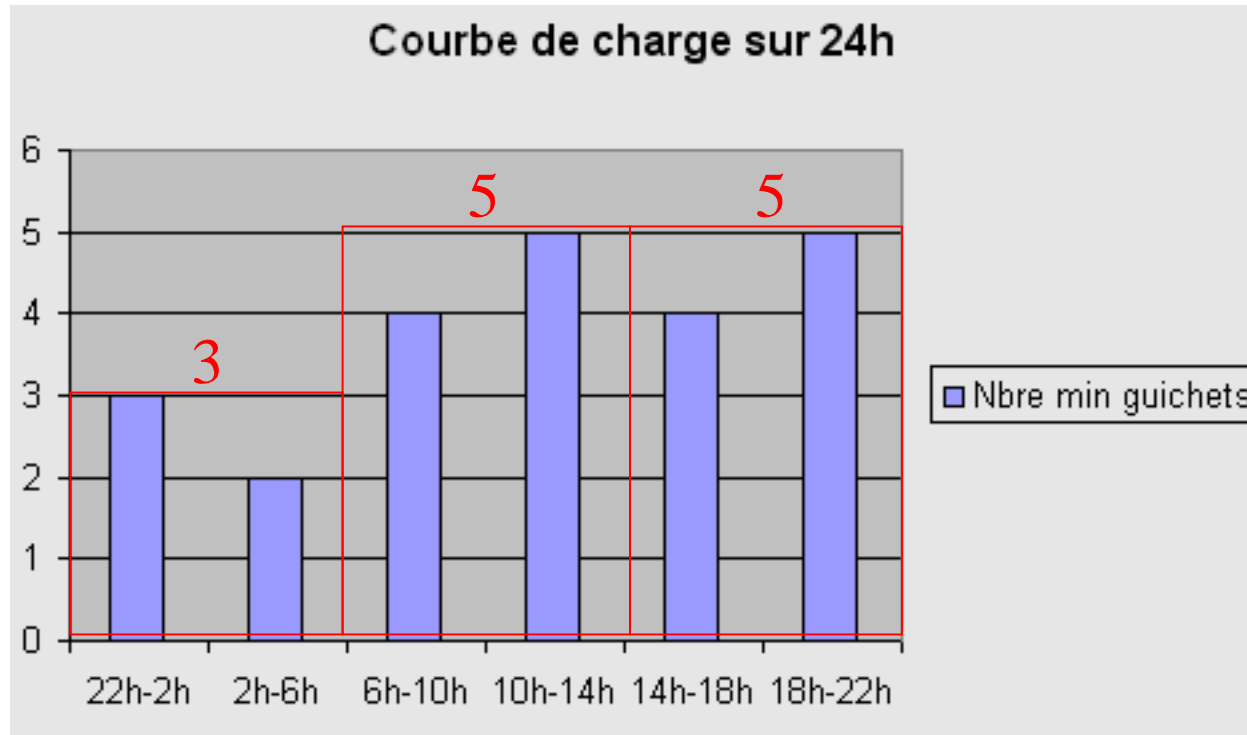
Enoncé : Affecter des agents à des guichets sur le péage d'une autoroute



Un agent travaille 8 heures consécutives par jour, l'heure de début étant soit 22h, soit 2h, soit 6h, soit 10h, soit 14h, soit 18h.

Obj : minimiser le nbre d'agents employés.

Un problème de construction d'horaires : Obtention d'une solution réalisable



Le nombre total d'agents employés est de 13.

Allocation de ressources limitées

Résolution avec excel (1)

Etape 1 : Saisie des données dans une feuille excel

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the following data:

ALLOCATION DE RESSOURCES LIMITEES								
4	Elément chimique	Teneur minimale	Teneur Maximale					
5	Carbone (C)	2%	3%					
6	Cuivre (Cu)	0,40%	0,60%					
7	Manganèse (Mn)	1,20%	1,65%					
10	Matière première	Ferraille 1	Ferraille 2	Ferraille 3	Ferraille 4	Ferraille 5	Ferraille 6	Ferraille 7
11	Teneur en C	2,50%	3%					
12	Teneur en Cu (%)			0,30%	90%	96%	0,40%	0,60%
13	Teneur en Mn (%)	1,30%	0,80%			4%	1,20%	
14	Stock (Kg)	4000	3000	6000	5000	2000	3000	2500
15	Coût (par Kg)	0,20	0,25	0,15	0,22	0,26	0,20	0,17

Allocation de ressources limitées

Résolution avec excel (2)

Etape 2 : Saisie du modèle dans une autre feuille excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Modèle associé au problème d'allocation de ressources limitées										
2											
3											
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7			
5	Valeurs										
6	Coefficients des variables dans la fonction objectif								Fonction objectif		
7		0,20	0,25	0,15	0,22	0,26	0,20	0,17	0,00		
8											
9	Coefficients des variables dans les contraintes								Contraintes		
10	carbone max	-0,01	0,00	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,00	<=	0,00
11	cuivre max	-0,01	-0,01	0,00	0,89	0,95	0,00	0,00	0,00	<=	0,00
12	manganèse max	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,00	-0,02	0,00	<=	0,00
13	carbone min	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	<=	0,00
14	cuivre min	0,00	0,00	0,00	-0,90	-0,96	0,00	0,00	0,00	<=	0,00
15	manganèse min	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,03	0,00	0,01	0,00	<=	0,00
16	demande	1	1	1	1	1	1	1	0,00	=	5000,00
17											

Contenu de la
colonne I

I
limitées
Fonction objectif
=SOMMEPROD(B7:H7;B\$5:H\$5)
Contraintes
=SOMMEPROD(B10:H10;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B11:H11;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B12:H12;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B13:H13;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B14:H14;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B15:H15;B\$5:H\$5)
=SOMMEPROD(B16:H16;B\$5:H\$5)

Allocation de ressources limitées

Résolution avec excel (3)

Etape 3 : Utilisation du solveur d'excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Modèle associé au problème d'allocation de ressources limitées										
2											
3											
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7			
5	Valeurs										
6	Coefficients des variables dans la fonction objectif								Fonction objectif		
7		0,20	0,25	0,15	0,22	0,26	0,20	0,17			0,00
8											
9	Coefficients des variables dans les contraintes								Contraintes		
10	carbone max	-0,01	0,00	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,00	<=	0,00
11	cuivre max	-0,01	-0,01	0,00	0,89	0,95	0,00	0,00	0,00	<=	0,00
12	manganèse max	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,00	-0,02	0,00	<=	0,00
13	carbone min	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	<=	0,00
14	cuivre min	0,00	0,00	0,00	-0,90	-0,96	0,00	0,00	0,00	<=	0,00
15	manganèse min	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,03	0,00	0,01	0,00	<=	0,00
16	demande	1	1	1	1	1	1	1	0,00	=	5000,00
17											
18											
19											
20	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> Paramètres du solveur <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Cellule cible à définir: <input type="text" value="\$I\$7"/> Résoudre </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Égale à: <input type="radio"/> Max <input checked="" type="radio"/> Min <input type="radio"/> Valeur: <input type="text" value="0"/> Fermer </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Cellules variables: <input type="text" value="\$B\$5:\$H\$5"/> Proposer </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Contraintes: Options </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="text" value="\$B\$5:\$H\$5 <= [exCours.xls]Données!\$B\$14:\$H\$14"/> Ajouter </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="text" value="\$I\$10:\$I\$15 <= \$K\$10:\$K\$15"/> Modifier </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="text" value="\$I\$16 = \$K\$16"/> Supprimer </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Rétablir Aide </div> </div>										
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											

Options du solveur

Temps max: secondes
OK

Itérations:
Annuler

Précision:
Charger un modèle...

Tolérance: %
Enregistrer le modèle...

Convergence:
Aide

Modèle supposé linéaire
 Échelle automatique

Supposé non-négatif
 Afficher le résultat des itérations

Estimations
 Tangente
 Quadratique

Dérivées
 À droite
 Centrée

Recherche
 Newton
 Gradient conjugué

Allocation de ressources limitées

Résolution avec excel (4)

Etape 4 : Résolution et analyse des résultats

Microsoft Excel - exCours

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

17 = =SOMMEPROD(B7:H7;B\$5:H\$5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Modèle associé au problème d'allocation de ressources limitées										
2											
3											
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7			
5	Valeurs	4000	0	398	0	27,6	575	0			
6	Coefficients des variables dans la fonction objectif								Fonction objectif		
7		0,20	0,25	0,15	0,22	0,26	0,20	0,17	981,77		
8											
9	Coefficients des variables dans les contraintes								Contraintes		
10	carbone max	-0,01	0,00	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-50,00	<=	0,00
11	cuivre max	-0,01	-0,01	0,00	0,89	0,96	0,00	0,00	0,00	<=	0,00
12	manganèse max	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,00	-0,02	-22,50	<=	0,00
13	carbone min	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	<=	0,00
14	cuivre min	0,00	0,00	0,00	-0,90	-0,96	0,00	0,00	-10,00	<=	0,00
15	manganèse min	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,03	0,00	0,01	0,00	<=	0,00
16	demande	1	1	1	1	1	1	1	5000,00	=	5000,00
17											

Un problème de distribution : résolution (1)

Microsoft Excel - exCours

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

R6 =

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Modélisation sous la forme d'un programme linéaire															
2																
3	Variables	x11	x12	x13	x14	x21	x22	x23	x24	x31	x32	x33	x34			
4	Valeurs		300	200		200	100					100	100			
5	Coefficients	10	8	5	9	7	5	5	3	11	10	8	7	6800		
6																
7	Contraintes															
8	Dépôt 1	1	1	1	1									500	<=	500
9	Dépôt 2					1	1	1	1					300	<=	300
10	Dépôt 3									1	1	1	1	200	<=	400
11	Client 1	1				1				1				200	=	200
12	Client 2		1				1				1			400	=	400
13	Client 3			1				1				1		300	=	300
14	Client 4				1				1				1	100	=	100
15																

Un problème de distribution : résolution (2)

Microsoft Excel - exCours

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

N5 = =SOMMEPROD(B\$4:M\$4;B5:M5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Modélisation sous la forme d'un programme linéaire															
2																
3	Variables	x11	x12	x13	x14	x21	x22	x23	x24	x31	x32	x33	x34			
4	Valeurs		300	200		200	100					100	100			
5	Coefficients	10	8	5	9	7	5	5	3	11	10	8	7	6800		
6																
7	Contraintes															
8	Dépôt 1		1	1	1	1								500	<=	500
9	Dépôt 2						1	1	1	1				300	<=	300
10	Dépôt 3										1	1	1	200	<=	400
11	Client 1													100	=	200
12	Client 2													100	=	400
13	Client 3													100	=	300
14	Client 4													100	=	100

Paramètres du solveur

Cellule cible à définir: Résoudre

Égale à: Max Min Valeur: Fermer

Cellules variables: Proposer

Contraintes:

- Ajouter
- Modifier

Supprimer Rétablir Aide

Un problème de distribution : résolution (3)

Microsoft Excel - exCours

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

N5 = =SOMMEPROD(B\$4:M\$4;B5:M5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Modélisation sous la forme d'un programme linéaire															
2																
3	Variables	x11	x12	x13	x14	x21	x22	x23	x24	x31	x32	x33	x34			
4	Valeurs	100	100	300	0	0	300	0	0	100	0	0	100			
5	Coefficients	10	8	5	9	7	5	5	3	11	10	8	7	6600		
6																
7	Contraintes															
8	Dépôt 1	1	1	1	1									500	<=	500
9	Dépôt 2					1	1	1	1					300	<=	300
10	Dépôt 3									1	1	1	1	200	<=	400
11	Client 1	1				1				1				200	=	200
12	Client 2		1				1				1			400	=	400
13	Client 3			1				1				1		300	=	300
14	Client 4				1				1				1	100	=	100

Un problème de construction d'horaires :

Résolution avec Excel (1)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Modélisation du problème de construction d'horaires									
2										
3	Heures début	22h	2h	6h	10h	14h	18h			
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6			
5	Valeurs							Fonction objectif		
6	Coefficients	1	1	1	1	1	1	=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B6:G6)		
7										
8	Contraintes									
9	22h-2h	1					1	=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B9:G9)	>=	3
10	2h-6h	1	1					=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B10:G10)	>=	2
11	6h-10h		1	1				=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B11:G11)	>=	4
12	10h-14h			1	1			=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B12:G12)	>=	5
13	14h-18h				1	1		=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B13:G13)	>=	4
14	18h-22h					1	1	=SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B14:G14)	>=	5

Un problème de construction d'horaires :

Résolution avec Excel (2)

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - exCours" with a menu bar and a toolbar. The active cell is H6, containing the formula $=\text{SOMMEPROD}(\text{B}\$5:\text{G}\$5;\text{B}6:\text{G}6)$. The spreadsheet is organized as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Modélisation du problème de construction d'horaires															
2																
3	Heures début	22h	2h	6h	10h	14h	18h									
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6									
5	Valeurs							Fonction objec								
6	Coefficients	1	1	1	1	1	1	0								
7																
8	Contraintes															
9	22h-2h	1						1	0	>=	3					
10	2h-6h	1	1						0	>=	2					
11	6h-10h		1	1					0	>=	4					
12	10h-14h			1	1				0	>=	5					
13	14h-18h				1	1			0	>=	4					
14	18h-22h					1	1		0	>=	5					

The "Paramètres du solveur" dialog box is open, showing the following settings:

- Cellule cible à définir: $\$H\6
- Égale à: Max Min Valeur: 0
- Cellules variables: $\$B\$5:\$G\5
- Contraintes:
 - $\$B\$5:\$G\$5 = \text{entier}$
 - $\$H\$9:\$H\$14 \geq \$J\$9:\$J\14

Un problème de construction d'horaires :

Résolution avec Excel (3)

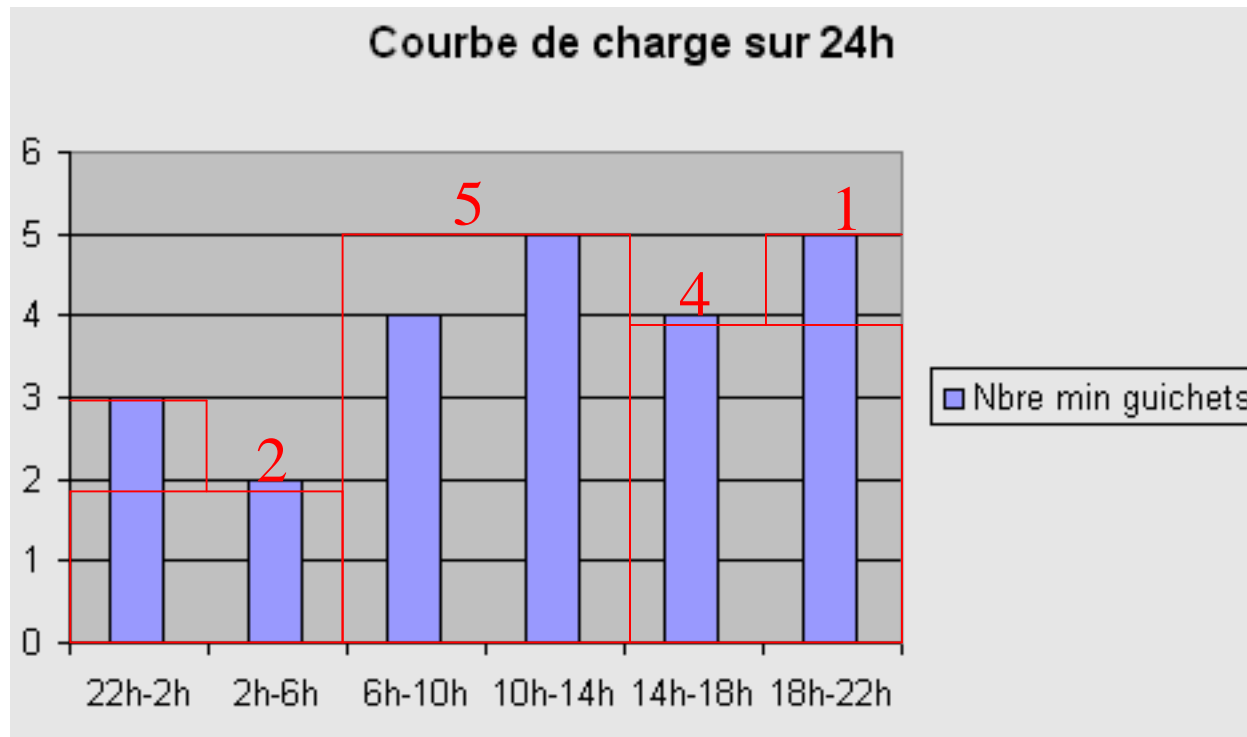
Microsoft Excel - exCours

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

H6 = =SOMMEPROD(B\$5:G\$5;B6:G6)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Modélisation du problème de construction d'horaires										
2											
3	Heures début	22h	2h	6h	10h	14h	18h				
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6				
5	Valeurs	2	0	5	0	4	1	Fonction objectif			
6	Coefficients	1	1	1	1	1	1	12			
7											
8	Contraintes										
9	22h-2h	1					1	3	>=	3	
10	2h-6h	1	1					2	>=	2	
11	6h-10h		1	1				5	>=	4	
12	10h-14h			1	1			5	>=	5	
13	14h-18h				1	1		4	>=	4	
14	18h-22h					1	1	5	>=	5	

Un problème de construction d'horaires : Représentation de la solution optimale



Le nombre total d'agents employés est de 12.

Un problème de construction d'horaires : Résolution avec Excel (4)

Et si les heures de nuit (20h-8h) coûtent 50% plus chères que les heures de jour (8h-20h) ?

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - exCours". The active cell is H6, containing the formula `=SOMMEPROD(B$5:G$5;B6:G6)`. The spreadsheet is organized as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Modélisation du problème de construction d'horaires										
2											
3	Heures début	22h	2h	6h	10h	14h	18h				
4	Variables	x1	x2	x3	x4	x5	x6				
5	Valeurs	2	0	4	1	4	1	Fonction objectif			
6	Coefficients	12	11	9	8	9	11	115			
7											
8	Contraintes										
9	22h-2h	1					1	3	>=	3	
10	2h-6h	1	1					2	>=	2	
11	6h-10h		1	1				4	>=	4	
12	10h-14h			1	1			5	>=	5	
13	14h-18h				1	1		5	>=	4	
14	18h-22h					1	1	5	>=	5	