

Marine Blanchard

Tuteurs :
Christophe Duhamel
Philippe Lacomme

Modélisation et résolution d'un problème de planification de production d'énergie

Introduction

Planification d'unité de production

Unit commitment problem

Objectif : Minimiser les couts de production

Enjeu : Respecter la demande et les contraintes du système

Comment
minimiser les coûts
de production et
satisfaire les
contraintes ?

Plan

I. Contexte du projet

1. Le enjeux
2. Organisation
3. Outils

II. Réalisation

1. Instances
2. Modèle mathématique
3. Implémentation en C++

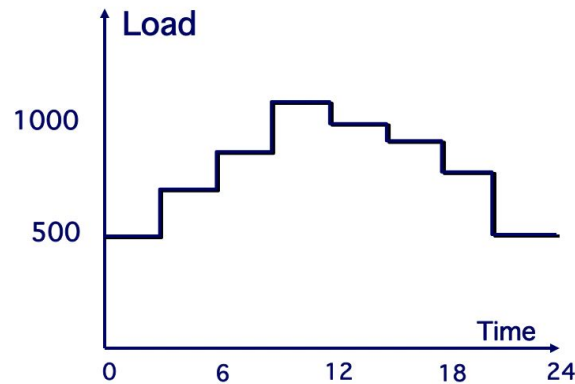
III. Résultats et discussion

1. Résultats et analyse
2. Les difficultés
3. Améliorations / Critique

1.

Contexte du projet

Enjeux de la planification



- ▷ Impact économique important
- ▷ Probleme NP-complet

Enjeux de la planification

Méthode de résolution déterministes

- ▷ Relaxation Lagrangienne
- ▷ Programmation dynamique
- ▷ Liste de priorité
- ▷ Meta heuristique
- ▷ Programmation linéaire en nombres entiers

Modèle conventionnel

Minimiser les coûts

Contraintes globales :

- ❑ Satisfaire les demande
- ❑ Reserve opérationnel

Contraintes techniques :

- ❑ Capacités de production
- ❑ Temps d'arrêt et d'activité minimum
- ❑ Rampes

Extensions

- ▷ Contrainte des émissions
- ▷ Modèle stochastique
- ▷ Contrainte liée au réseau



Organisation

1. Etude d'articles scientifiques
2. Choix d'un modèle mathématique
3. Implémentation en c++
4. Analyse des resultats

Outils de résolution

- ▷ C++
- ▷ Concert Technology



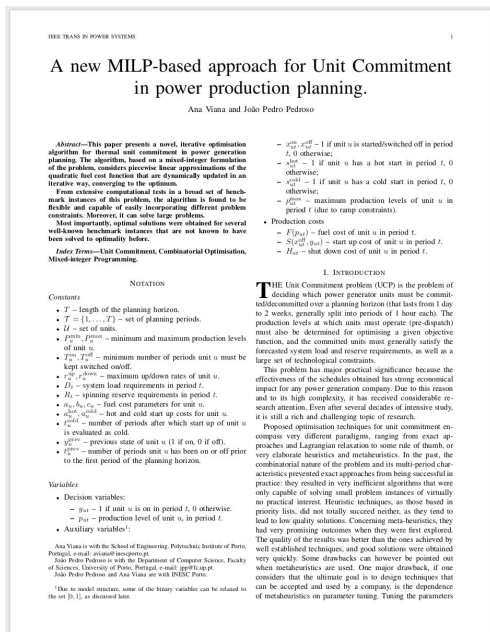
```
\problem  
  
Min  
4x1 + 5x2  
  
Subject To  
2x1 + x2 ≤ 800  
x1 + 2x2 ≤ 700  
  
Bounds  
x1 ≥ 0  
x2 ≤ 300  
  
End
```

Programme linéaire standard

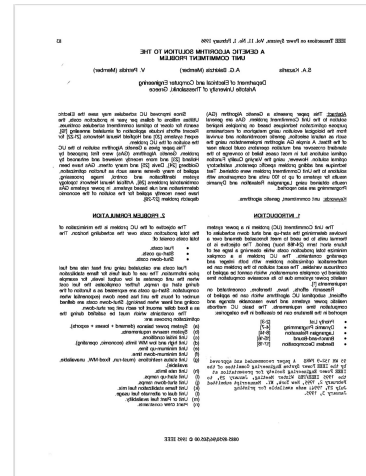
2.

Réalisation

Modèle mathématique et instance



Article de A.Viana (2012)



Article de Kazarlis (1996)

Instances

I. 1) 2) 3)

II. 1) 2) 3)

III. 1) 2) 3)

Les instances

Table II. Problem data for the 10-unit base UC problem.

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
Pmax (MW)	455	455	130	130	162
Pmin (MW)	150	150	20	20	25
a (\$/h)	1000	970	700	680	450
b (\$/MWh)	16.19	17.26	16.60	16.50	19.70
c (\$/MW ² -h)	0.00048	0.00031	0.002	0.00211	0.00398
min up (h)	8	8	5	5	6
min dn (h)	8	8	5	5	6
hot start cost (\$)	4500	5000	550	560	900
cold start cost (\$)	9000	10000	1100	1120	1800
cold start hrs (h)	5	5	4	4	4
initial status (h)	8	8	-5	-5	-6

	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10
Pmax (MW)	80	85	55	55	55
Pmin (MW)	20	25	10	10	10
la (\$/h)	370	480	660	665	670
lb (\$/MWh)	22.26	27.74	25.92	27.27	27.79
lc (\$/MW ² -h)	0.00712	0.00079	0.00413	0.00222	0.00173
lmin up (h)	3	3	1	1	1
lmin dn (h)	3	3	1	1	1
lhot start cost (\$)	170	260	30	30	30
lcold start cost (\$)	340	520	60	60	60
lcold start hrs (h)	2	2	0	0	0
linitial status (h)	-3	-3	-1	-1	-1

Instance de Kazarlis

Hour	Demand (MW)	Hour	Demand (MW)
1	700	13	1400
2	750	14	1300
3	850	15	1200
4	950	16	1050
5	1000	17	1000
6	1100	18	1100
7	1150	19	1200
8	1200	20	1400
9	1300	21	1300
10	1400	22	1100
11	1450	23	900
12	1500	24	800

$$F(p_{ut}) = a_u + b_u p_{ut} + c_u p_{ut}^2$$

Fonction quadratique des coûts liés au carburant

- ❖ Pas de coût d'extinction
- ❖ Reserve = 10% Demande

Modèle mathématique

Variables de decision

$y_{u,t}$: état de l'unité u à la période t (0 ou 1)

$p_{u,t}$: production de l'unité u à la période t

Variables auxiliaires

$s_{\text{hot}}, s_{\text{cold}}$: démarrage à chaud/froid (0 ou 1)

$x_{\text{on}}, x_{\text{off}}$: mise sous tension/hors tension (0 ou 1)

p_{max} : puissance maximale

Contraintes systèmes

- ▷ Demande

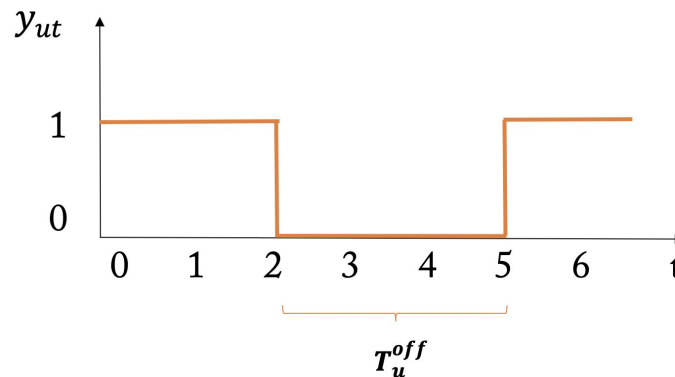
$$\sum_{u \in U} p_{ut} = D_t$$

- ▷ Réserve tournante

$$\sum_{u \in U} p_{ut}^{max} \geq D_t + R_t$$

Contraintes techniques

- ▷ Temps minimum d'arrêt et d'activité

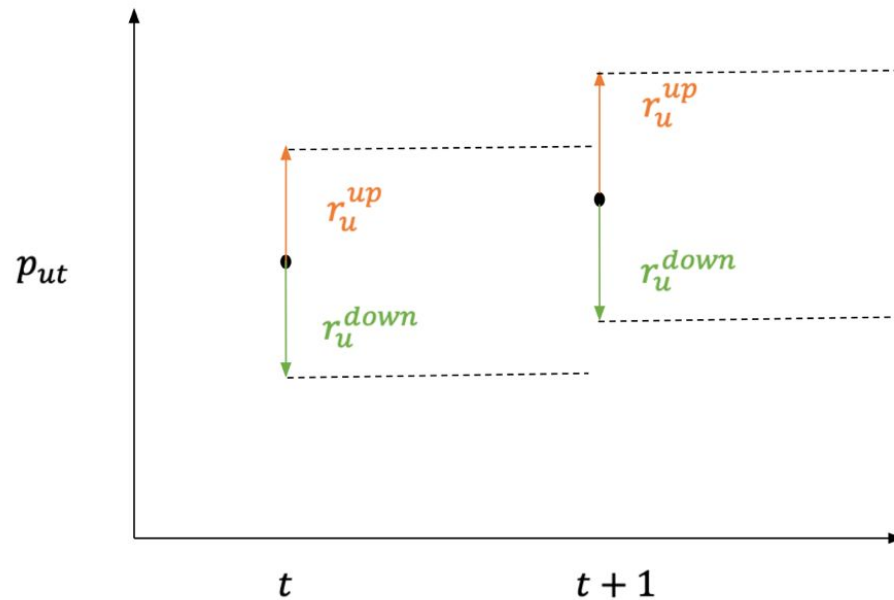


- ▷ Limite de puissance

$$P_u^{min} y_{ut} \leq p_{ut} \leq P_u^{max} y_{ut}.$$

Contraintes techniques

▷ Rampes



$$r_u^{up} = r_u^{down} = P_u^{min}$$

I. 1) 2) 3)

II. 1) **2)** 3)

III. 1) 2) 3)

La fonction objectif

$$\text{Minimiser } \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} (F(p_{ut}) + S(x_{ut}^{off}, y_{ut}) + H u_t)$$

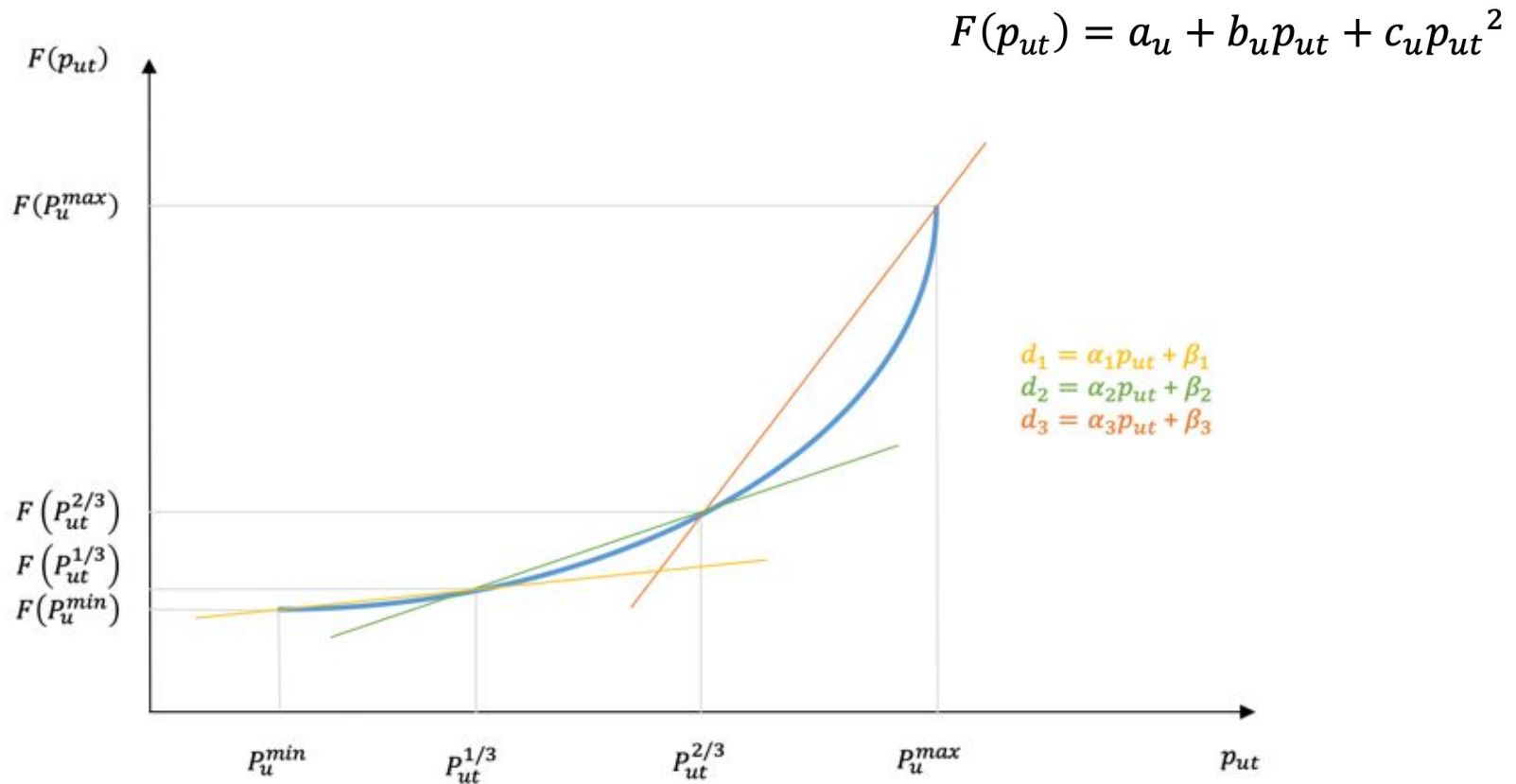
Coût du carburant

Coût de démarrage

Coût de d'extinction

$$F(p_{ut}) = a_u + b_u p_{ut} + c_u p_{ut}^2$$

Linéarisation par morceaux







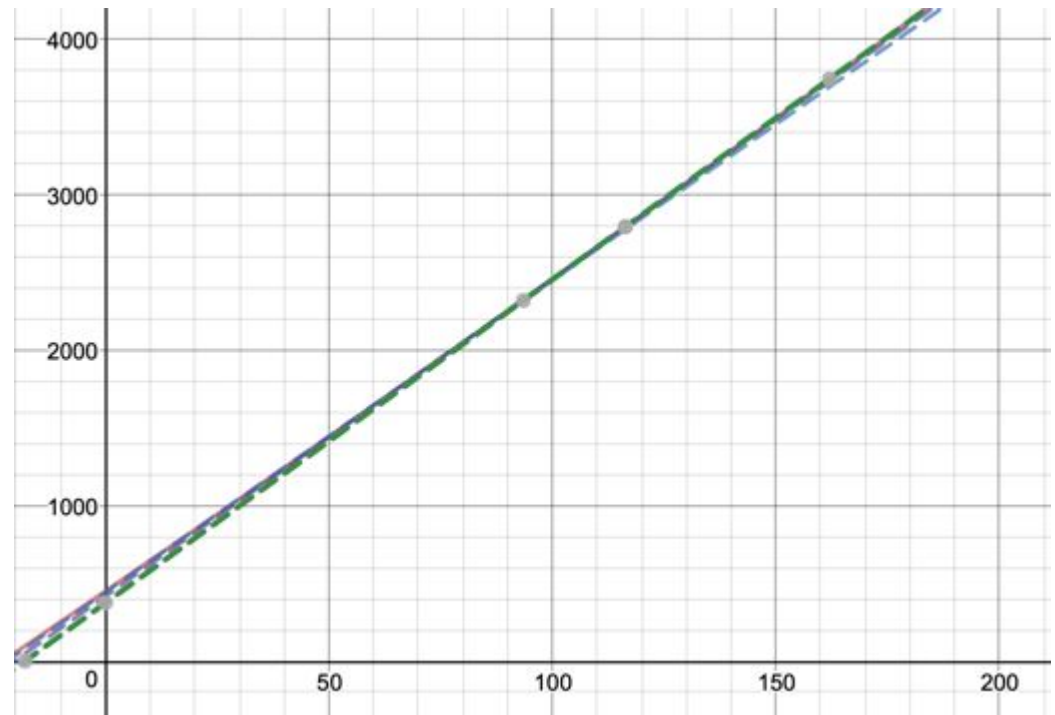
I. 1) 2) 3)

II. 1) **2)** 3)

III. 1) 2) 3)

Linéarisation par morceaux

1		$y = (0.00398 \cdot x^2) + (19.70) \cdot x + 450$
2		$y = 20.0808 \cdot x + 442.969$
3		$y = 20.4443 \cdot x + 417.281$
4		$y = 20.8078 \cdot x + 374.993$



Coût lié au carburant pour l'unité 4 en fonction de la puissance

I. 1) 2) 3)

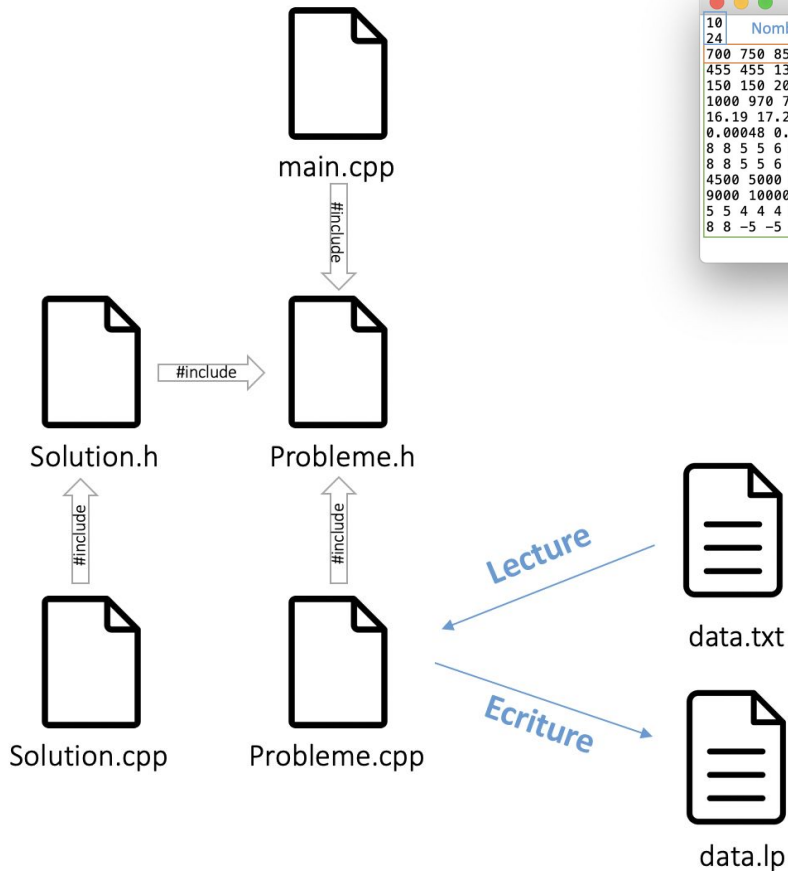
II. 1) **2)** 3)

III. 1) 2) 3)

Implementation en C++

1. Lecture de l'instance
2. Génération du fichier LP
3. Optimisation
4. Affichage de la solution

Architecture du programme



```

10
24
Nombre d'unités et de périodes
700 750 850 950 1000 1100 1150 1200 1300 1400 1450 1500 1400 1300 1200 1050 1000 1100 1200 1400 1300 1100 900 800
455 455 130 130 162 80 85 55 55 55
150 150 20 20 25 20 25 10 10 10
1000 970 700 680 450 370 480 660 665 670
16.19 17.26 16.60 16.50 19.70 22.26 27.74 25.72 27.27 27.79
0.00048 0.00031 0.002 0.00211 0.00398 0.00712 0.00079 0.00413 0.00222 0.00173
8 8 5 6 3 3 1 1 1
8 8 5 6 3 3 1 1 1
4500 5000 550 560 900 170 260 30 30 30
9000 10000 1100 1120 1800 340 520 60 60 60
5 5 4 4 4 2 2 0 0
8 8 -5 -5 -6 -3 -3 -1 -1 -1
  
```

Demande de charge sur l'horizon de temps

Matrice des caractéristiques des unités

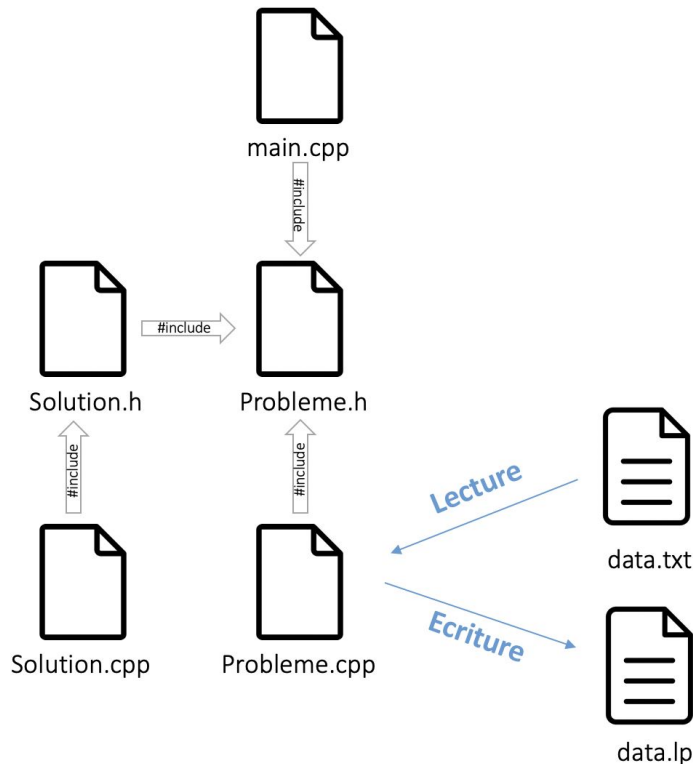
Fichier data10.txt

```

data10.lp — Modifié
\problem data10.lp
Min
obj:+ Z_0_0 + 4500sHot_0_0 + 9000sCold_0_0+ Z_1_0 + 5000sHot_1_0
+ 10000sCold_1_0+ Z_2_0 + 550sHot_2_0 + 1100sCold_2_0+ Z_3_0 +
560sHot_3_0 + 1120sCold_3_0+ Z_4_0 + 900sHot_4_0 +
1800sCold_4_0+ Z_5_0 + 170sHot_5_0 + 340sCold_5_0+ Z_6_0 +
260sHot_6_0 + 520sCold_6_0+ Z_7_0 + 30sHot_7_0 + 60sCold_7_0+
Z_8_0 + 30sHot_8_0 + 60sCold_8_0+ Z_9_0 + 30sHot_9_0 +
60sCold_9_0+ Z_0_1 + 4500sHot_0_1 + 9000sCold_0_1+ Z_1_1 +
5000sHot_1_1 + 10000sCold_1_1+ Z_2_1 + 550sHot_2_1 +
1100sCold_2_1+ Z_3_1 + 560sHot_3_1 + 1120sCold_3_1+ Z_4_1 +
900sHot_4_1 + 1800sCold_4_1+ Z_5_1 + 170sHot_5_1 + 340sCold_5_1+
  
```

Fichier data10.lp

Implementation en C++



```
cplex.importModel(model, nom.c_str(), obj, var, rng);
cplex.solve();
```

Appel du solveur Cplex

[illegible]

Résultat de l'exécution du programme

Implementation en C++

[illegible]

Résultat de l'optimisation

1. 1) 2) 3)

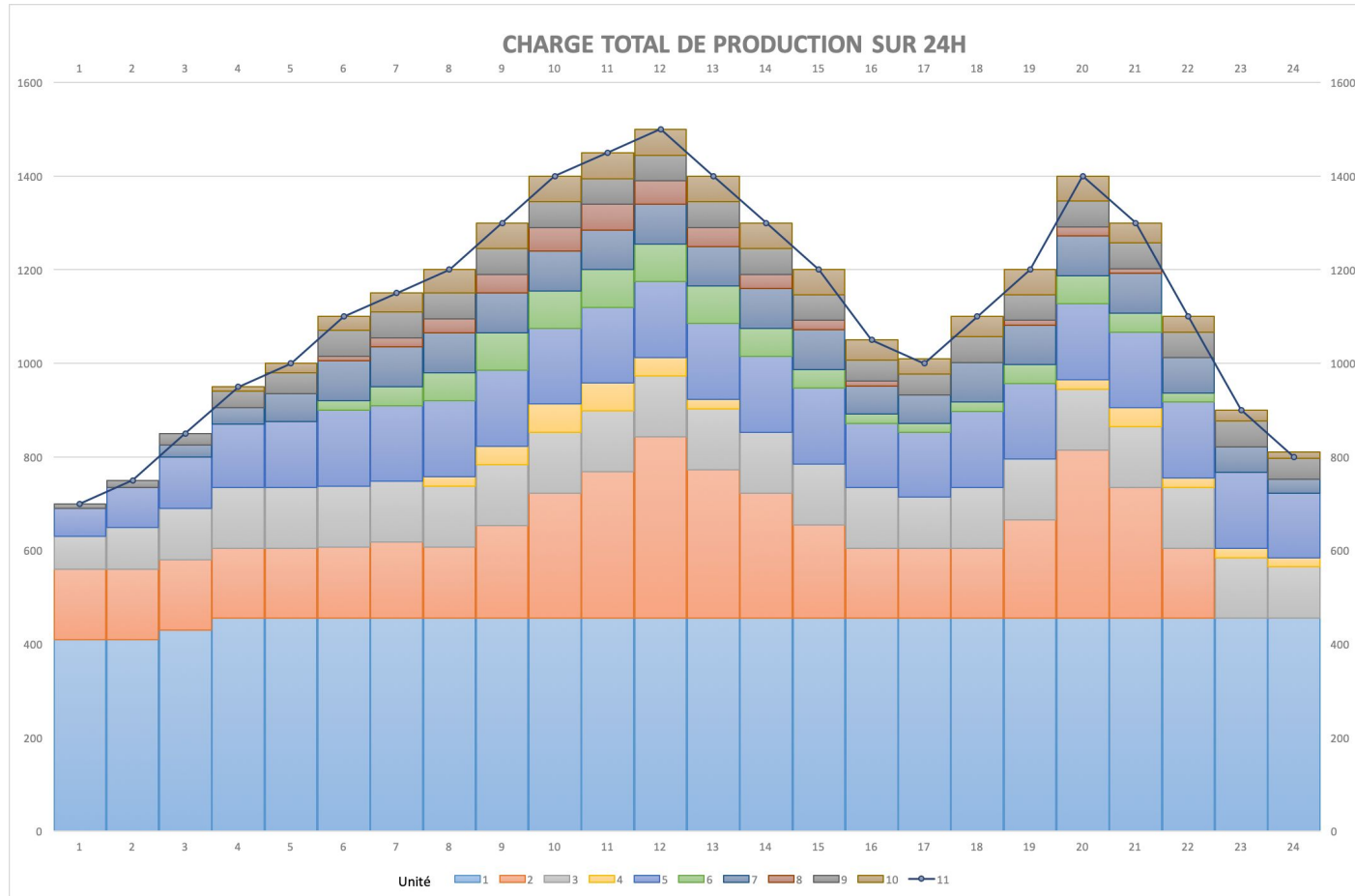
II. 1) 2) 3)

III. 1) 2) 3)

3.

Résultats et discussion

Résultats



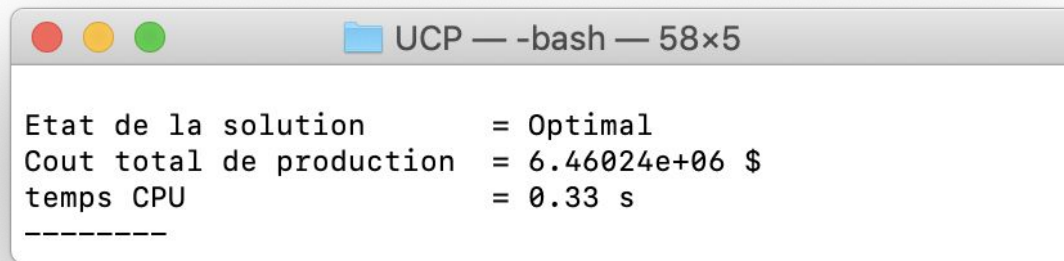
Histogramme empilé des puissances fournis

I. 1) 2) 3)

II. 1) 2) 3)

III. 1) 2) 3)

Les performances

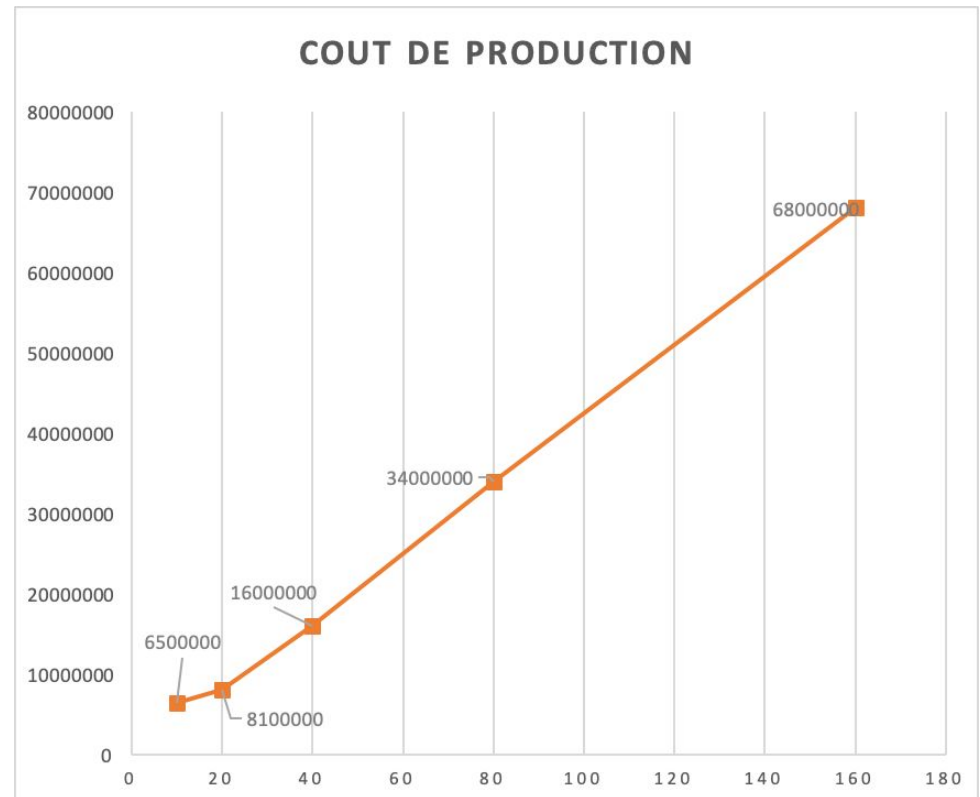
A terminal window titled 'UCP — -bash — 58x5' with three colored window control buttons (red, yellow, green) on the left. The terminal displays the following text:

```
Etat de la solution      = Optimal
Cout total de production = 6.46024e+06 $
temps CPU                = 0.33 s
-----
```

Etat de la solution pour 10 unités

Les performances

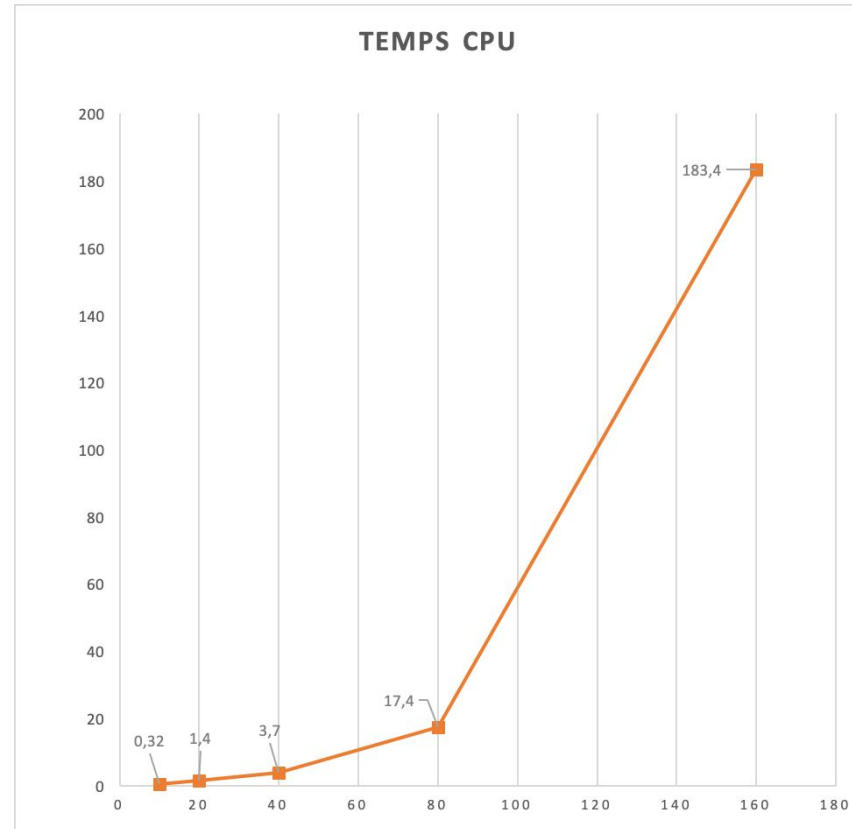
Nombre d'unité	Temps CPU (s)	Cout (\$)
10	0.32	$6.5 \cdot 10^6$
20	1.4	$8.1 \cdot 10^6$
40	3.7	$1.6 \cdot 10^7$
80	17.4	$3.4 \cdot 10^7$
160	183.4	$6.8 \cdot 10^7$



Coût de production en fonction du nombre de machine

Les performances

Nombre d'unité	Temps CPU (s)	Cout (\$)
10	0.32	$6.5 \cdot 10^6$
20	1.4	$8.1 \cdot 10^6$
40	3.7	$1.6 \cdot 10^7$
80	17.4	$3.4 \cdot 10^7$
160	183.4	$6.8 \cdot 10^7$



Temps CPU en fonction du nombre de machine

Difficultés

- ▷ Travail en monôme
- ▷ Appréhension du problème
- ▷ Cplex : récupération des résultats

Discussion

Plusieurs approches de résolution :

- Programmation dynamique
- Liste de priorité ...

→ Meilleure solution

Conclusion

Conclusion

Modéliser et résoudre un problème de planification de production d'énergie

- ▷ Sujet aux enjeux multiples
- ▷ Compétences techniques
- ▷ Projet enrichissant

Merci de votre attention