

Management Science : Travail Xpress

Thomas Declercq	Pauline Keppenne
5432 21 00	5177 20 00
Léopold Horlait	Lucien Paulus
4934 21 00	5353 20 00
Matthieu Schellekens	Ferdinand de Quirini
6888 21 00	2885 21 00

2023

Table des matières

1	Rapport final	2
1.1	Planning	2
1.2	Augmentation du prix du fuel	2
1.3	Externalisation du transport de conteneurs vides	2
1.4	Augmentation de la capacité de stockage	2
2	Annexe 1 : Formulation mathématique du problème	3
2.1	Indices	3
2.2	Variables	3
2.3	Paramètres	3
2.4	Fonction objectif	3
2.5	Contraintes	4
3	Annexe 2 : Tableaux planning transport de conteneurs	5
4	Annexe 3 : Calculs augmentation du prix du fuel	6
4.1	Formule du ratio	6
4.2	Formule de la marge nette par conteneur par ligne	6
5	Annexe 4 : Tableaux de rentabilité externalisation	7
6	Annexe 5 : Tableaux de rentabilité augmentation du stockage	8

1 Rapport final

1.1 Planning

Le planning que nous recommandons à Xpress garantit un profit de 264 968 871€, les tableaux reprenants les détails exacts se trouvent en Annexe 2.

1.2 Augmentation du prix du fuel

Nous avons formulé des ratios de rentabilité par ligne (voir annexe 3) qui nous permettent d'affirmer que la ligne LA-Hong est de loin la plus impactée. Elle est suivie des lignes Anv-Hong et San-LA.

Quantitativement, les seuils en dessous desquels la marge par conteneur ne doit pas descendre (pour continuer à générer du profit) sont respectivement de 52.10, 108 et 100.92 en moyenne pour ces trois lignes

Ceci est largement à nuancer par le fait que les deux premières liaisons fournissent énormément de conteneurs au port d'Hongkong qui est de loin celui qui génère le plus de profits. Ces liaisons ont donc une grande rentabilité en second ressort.

1.3 Externalisation du transport de conteneurs vides

Si le directeur souhaite conserver le planning optimal, il externalisera le transport quand les coûts de transport sont élevés. Les meilleures lignes sont Anv-Hong et LA-Hong, les 4 premiers mois sont particulièrement intéressants pour la première ligne. Externaliser pourrait réduire les coûts de 577110, 645840, 763830 et 563880 d'€ sur ces 4 premiers mois.

Si le directeur souhaite modifier le planning, les lignes les plus intéressantes sont Anv-Hong, L-A - Hong et Hong - Anv. La dernière ne compte que 8% de conteneurs vides mais a un énorme volume. Externaliser totalement le transport de conteneurs vides sur ces lignes pourrait rapporter 4 millions, 3,5 millions et 1,2 millions d'€ en plus à Xpress.

Xpress pourrait payer jusqu'à 24,21 et 23,68 € par conteneur sur les deux premières lignes. (Prises séparément) Si Xpress externalise les deux premières lignes citées (en même temps), le bénéfice augmenterait de 6592342€

Les meilleures externalisations sur un seul mois et une seule ligne sont sur Anv-Hong aux mois de Mai et Juillet (+ 922392€ et 1043689€) et sur LA-Hong, au moi de Mai (+ 926706 €). Nous pensons cependant qu'aucune compagnie externe n'aura un prix assez faible pour être rentable.

1.4 Augmentation de la capacité de stockage

Notre analyse tient dans ce tableau qui reprend les 3 données importantes à considérer pour des augmentations individuelles de stockage.

	Anvers	Dubai	Hongkong	Los-Angeles	New-York	Santos
Δ Benef	2517771	6397	2527430	1779740	107979	475045
Excès	123841	5658	177367	111252	14639	28820
Sur-prix/cont	€ 20,33	€ 1,13	€ 14,25	€ 16,00	€ 7,38	€ 16,48

Figure 1: Résultats d'une augmentation de stockage pour chaque port

Les ports les plus intéressants individuellement sont donc Anvers, Santos, LA et Hongkong. Une analyse conjointe nous permet de tirer les meilleurs combinaisons d'augmentations de stockage :

	HK et LA	Anvers, HK, LA	4 meilleurs	Tous
Δ Benef	3323346	3748460	3868226	3913335
Excès	221458	222113	221850	221546
Sur-prix moyen/cont	€ 15,01	€ 16,88	€ 17,44	€ 17,66

Figure 2: Résultats d'une augmentation de stockage par combinaison de ports

2 Annexe 1 : Formulation mathématique du problème

2.1 Indices

- $i = 1, \dots, 11$; la liaison i
- $j = 1, \dots, 6$; le port de la ville j
- $m = 1, \dots, 9$; le mois m

2.2 Variables

- $X_{i,m} \triangleq$ Nombre de conteneurs remplis sur la ligne i le mois m
- $Y_{i,m} \triangleq$ Nombre de conteneurs vides sur la ligne i le mois m
- $H_{j,m} \triangleq$ Nombre de conteneurs qui restent au port j le mois m
- $A_j \triangleq$ Nombre de conteneurs leasés au port j

2.3 Paramètres

- $D_{i,m} \triangleq$ Demande de conteneurs (remplis) sur la ligne i le mois m
- $R_{i,m} \triangleq$ Revenu par conteneur (rempli) sur la ligne i le mois m
- $C_i \triangleq$ Coût de transport sur la ligne i (coût de chargement + coût de déchargement)
- $P_j \triangleq$ Coût du leasing au port j
- $S_j \triangleq$ Capacité de stockage de conteneurs du port j
- $E_j \triangleq$ Coût unitaire d'un stockage d'un mois dans le port j
- $W_i \triangleq$ Capacité mensuelle maximale de la ligne i
- $Z_j \triangleq$ Nombre de conteneurs initialement présents au port j

2.4 Fonction objectif

$$\max \sum_{i=1}^{11} \sum_{m=1}^9 X_{i,m} R_{i,m} - \sum_{i=1}^{11} \sum_{m=1}^9 (X_{i,m} + Y_{i,m}) C_i - \sum_{j=1}^6 \sum_{m=1}^9 H_{j,m} E_j - \sum_{j=1}^6 A_j P_j$$

- Revenus - Coûts de chargement/déchargement - Coûts de stockage - Coûts de leasing

2.5 Contraintes

$$X_{i,m} \geq 0, 6D_{i,m} \quad \forall i, m \quad (1)$$

$$X_{i,m} \leq D_{i,m} \quad \forall i, m \quad (2)$$

$$X_{i,m} + Y_{i,m} \leq W_i \quad \forall i, m \quad (3)$$

$$H_{j,m} \leq S_j \quad \forall j, m \quad (4)$$

$$Z_j + A_j = H_{j,1} + \sum_{i=1}^{11} (X_{i,1} + Y_{i,1})U_j \quad \forall j \quad (5)$$

$$\begin{aligned} H_{j,m-1} + \sum_{i=1}^{11} (X_{i,m-1} + Y_{i,m-1})T_j \\ = H_{j,m} + \sum_{i=1}^{11} (X_{i,m} + Y_{i,m})U_j \end{aligned} \quad \forall j, \forall m \in [2, 9] \quad (6)$$

$$X_{i,m}, Y_{i,m}, H_{j,m}, A_j \geq 0 \quad \forall i, j, m \quad (7)$$

- (1) Contrainte de satisfaction de 60% de toutes les demandes
- (2) Contrainte de limite de conteneurs remplis
- (3) Contrainte de capacité mensuelle de chaque ligne
- (4) Contrainte de capacité de stockage maximale de chaque port
- (5) Initialisation de la contrainte de conservation dans le temps
- (6) Contrainte de conservation dans le temps (de balance)

- Contrainte de conservation d'arrivée : tous les conteneurs disponibles au début d'un mois sont issus :
 - Du stock du mois précédent
 - De conteneurs remplis arrivés le mois précédent
 - De conteneurs vides arrivés le mois précédent
 - T_j : booléen de présence de j comme ville d'arrivée :

$$T_j = \begin{cases} 1 & \text{si } j \text{ est le port d'arrivée de la liaison} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Contrainte de conservation de départ : tous les conteneurs disponibles au début d'un mois sont :
 - Entreposés dans ce port
 - Envoyés remplis de ce port vers un autre
 - Envoyés vide de ce port vers une autre
 - U_j : booléen de présence de j comme ville de départ :

$$U_j = \begin{cases} 1 & \text{si } j \text{ est le port de départ de la liaison} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- (7) Contrainte de positivité

3 Annexe 2 : Tableaux planning transport de conteneurs

Planning Vides	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Anvers-New-York	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anvers-Santos	0	0	1794	0	0	0	0	0	0
Anvers-Hongkong	19237	21528	25461	18796	7450	8447	2200	12974	4381
Dubai-Anvers	0	0	0	855	0	0	0	0	0
Santos - Los-Angeles	0	0	2483	5813	1854	383	0	4432	961
Los-Angeles - Hongkong	8605	3310	14184	5637	12331	16127	10711	12124	10689
Hongkong - Los-Angeles	0	0	0	7449	0	0	0	0	5843
New-York - Anvers	0	0	0	1544	0	0	0	0	0
Hongkong - Dubai	0	0	0	0	0	0	0	0	110
Hongkong - Anvers	0	0	0	13246	0	0	0	0	10658
New-York - Dubai	0	0	0	0	0	0	0	1404	0

Figure 3: Transport de conteneurs vides

Planning Pleins	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Anvers-New-York	10516	11025	6932	7718	11183	15000	13172	14012	7738
Anvers-Santos	5394	7645	4611	6203	10000	7053	8759	4656	3302
Anvers-Hongkong	14824	11681	9539	11023	18568	21813	25569	21965	18920
Dubai-Anvers	8745	10000	9131	5849	9821	9986	9347	7380	7860
Santos - Los-Angeles	8616	7653	2941	4187	7716	4994	4676	4327	3695
Los-Angeles - Hongkong	11395	16358	8764	11864	17669	13873	14448	8552	16465
Hongkong - Los-Angeles	14153	16194	12077	12437	16544	19782	20000	18395	14157
New-York - Anvers	6202	5337	3428	4141	8195	6183	10000	5428	4164
Hongkong - Dubai	4684	4019	3467	3250	3479	4705	5000	5000	4890
Hongkong - Anvers	29932	40000	31181	21566	27297	34791	40000	21533	19957
New-York - Dubai	3741	4032	4200	3770	5000	5000	4752	3436	5000

Figure 4: Transport de conteneurs pleins

Stocks	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Anvers	7000	0	7000	7000	7000	0	1260	7000	7000
Dubai	6000	4425	3345	4308	1507	0	358	2730	4710
Hongkong	8000	1848	8000	8000	8000	4740	0	8000	8000
Los-Angeles	0	3101	4000	4000	3886	0	0	4000	4000
New-York	3456	4603	8000	5477	0	0	248	3152	8000
Santos	7000	4741	6962	3367	0	4623	7000	7000	7000

Figure 5: Stocks de conteneurs

	Anvers	Dubai	Hongkong	Los-Angeles	New-York	Santos
Mai	26971	9745	6769	0	3399	10616

Figure 6: Conteneurs pris en leasing

4 Annexe 3 : Calculs augmentation du prix du fuel

4.1 Formule du ratio

Pour calculer la rentabilité d'une ligne en considérant les coûts liés au carburant nous avons considéré 3 variables et 1 paramètre :

- $Rn_i \triangleq$ La rentabilité nette moyenne de la ligne i
- $D_i \triangleq$ La distance à parcourir sur la ligne i
- $Q_i \triangleq$ Ratio de quantité de conteneurs par ligne (mesure l'impact du poids)
- $n_i \triangleq$ Nombre moyen de conteneurs sur la la liaison i
- Les variables et paramètres non spécifiées ci dessus restent les mêmes que dans la formulation mathématique du problème

$$\begin{aligned}
 Rn_i &= \frac{1}{9} \left(\sum_{m=1}^9 X_{i,m} (R_{i,m} - C_i) - \sum_{m=1}^9 Y_{i,m} C_i \right) & \forall i \\
 n_i &= \frac{1}{9} \left(\sum_{m=1}^9 (X_{i,m} + Y_{i,m}) \right) & \forall i \\
 Q_i &= \frac{n_i}{\min(n_i)} & \forall i \\
 r_i &= \frac{R_i}{D_i \cdot Q_i} & \forall i \\
 \text{ratio} &= \frac{r_i}{\max(r_i)} & \forall i
 \end{aligned}$$

	Anvers-New-York	Anvers-Santos	Anvers-Hongkong	Dubai-Anvers	Santos - Los-Angeles
Ratio	0,40	0,27	0,09	0,28	0,15

Figure 7: Ratios (1/2)

	Los-Angeles - Hongkong	Hongkong - Los-Angeles	New-York - Anvers	Hongkong - Dubai	Hongkong - Anvers	New-York - Dubai
Ratio	0,03	0,22	0,36	1,00	0,73	0,74

Figure 8: Ratios (2/2)

Source des distances entre les ports par voie navigable :

<http://ports.com/sea-route/port-of-antwerp,belgium/port-of-santos,brazil/>

Nous avons considéré qu'un conteneur vide pèse le même poids qu'un conteneur rempli et que la consommation de carburant est fonction linéaire du poids.

4.2 Formule de la marge nette par conteneur par ligne

- $Rt_i \triangleq$ Revenu net total de la ligne i
- $Qt_i \triangleq$ Total de conteneurs remplis sur la ligne i
- $m_i \triangleq$ Marge par conteneur sur la ligne i

$$\begin{aligned}
Rt_i &= \sum_{m=1}^9 X_{i,m}(R_{i,m} - C_i) - \sum_{m=1}^9 Y_{i,m}C_i & \forall i \\
Qt_i &= \sum_{m=1}^9 X_{i,m} & \forall i \\
m_i &= \frac{Rt_i}{Qt_i} & \forall i
\end{aligned}$$

	Anvers-New-York	Anvers-Santos	Anvers-Hongkong	Dubai-Anvers	Santos - Los-Angeles
marge	91,49	179,70	108,00	118,14	100,92

Figure 9: Marges nettes par conteneur (1/2)

	Los-Angeles - Hongkong	Hongkong - Los-Angeles	New-York - Anvers	Hongkong - Dubai	Hongkong - Anvers	New-York - Dubai
marge	52,10	266,25	85,61	347,74	531,89	410,29

Figure 10: Marges nettes par conteneur (2/2)

5 Annexe 4 : Tableaux de rentabilité externalisation

Pour répondre à cette question, nous avons retiré les contraintes de stockage par ligne pour les conteneurs vides. Ensuite, nous avons retiré les coûts inhérents aux conteneurs transportés par la compagnie externe de la fonction objectif.

Externalisation complète	Δ Benef
Anvers-New-York	527702
Anvers-Santos	381159
Anvers-Hongkong	4064474
Dubai-Anvers	181590
Santos - Los-Angeles	1087187
Los-Angeles - Hongkong	3463960
Hongkong - Los-Angeles	791422
New-York - Anvers	398142
Hongkong - Dubai	663653
Hongkong - Anvers	1193152
New-York - Dubai	303992

Figure 11: Bénéfices supplémentaires en cas d'externalisation complète ligne par ligne

Vides	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier			
Anvers-New-York	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Anvers-Santos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 tot cont	prix max	Benef comp ext
Anvers-Hongkong	34636	14528	34255	23661	11033	10829	5004	11714	22185	167845	24,2156394	-5,784360571
Dubai-Anvers	0	0	0	794	0	0	0	0	0	0 Δbenef	ratio	30
Santos - Los-Angeles	0	0	0	5813	98	383	0	4432	961	4064474	0,56	
Los-Angeles - Hongkong	7424	7592	11083	3154	12008	10485	10711	12124	10689			
Hongkong - Los-Angeles	0	0	0	3240	0	0	0	0	5843			
New-York - Anvers	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hongkong - Dubai	316	981	1533	1750	0	0	0	0	110			
Hongkong - Anvers	0	0	4865	18434	2382	0	0	10804	1398			
New-York - Dubai	0	0	0	0	0	0	0	1404	0			

Figure 12: Planning externalisation complète Anv-Hong

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Augmentation sur un seul mois	265891263	265614711	266012560	2,7E+08	265477707	265276680	265092539	265455525	265132821
Δ Benef	922392	645840	1043689	564982	508836	307809	123668	486654	163950

Figure 13: Externalisation individuelle mois par mois sur la ligne Anv-Hong

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier			
Anvers-New-York	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Anvers-Santos	0	0	2186	0	0	0	0	0	0			
Anvers-Hongkong	0	14136	25461	18796	6710	5187	3460	11714	4381			
Dubai-Anvers	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Santos - Los-Angeles	1384	0	2445	5813	2284	383	0	5393	0 tot cont	prix max	Benef comp ext	
Los-Angeles - Hongkong	41744	8431	14447	9093	16331	16127	10711	12124	17255	146263	23,6830914	-4,316908582
Hongkong - Los-Angeles	0	0	3494	7563	3456	0	0	1605	5843		28	
New-York - Anvers	0	0	0	0	0	0	0	0	0 Δ Benef	Ratio		
Hongkong - Dubai	0	981	387	1750	0	0	0	0	110	3463960	0,56	
Hongkong - Anvers	0	0	0	11645	0	0	0	0	9053			
New-York - Dubai	0	0	0	0	0	0	0	1404	0			

Figure 14: Planning externalisation complète LA-Hong

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Augmentation sur un seul mois	265895577	265253728	265390296	2,7E+08	265429381	265434901	265269563	265443214	265291388
Δ Benef	926706	284857	421425	157836	460510	466030	300692	474343	322517

Figure 15: Externalisation individuelle mois par mois sur la ligne LA-Hong

6 Annexe 5 : Tableaux de rentabilité augmentation du stockage

Pour répondre à cette question, nous avons relaché les contraintes une par une et regardé les différences de plannings.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	
Anvers	14607	19647	42035	37773	11740	0	6410	25124	29505	Tot excès
	7607	12647	35035	30773	4740	-7000	-590	18124	22505	123841
Benef	Delta	Sur-prix								
	267486642	2517771	20,330674							
Dubai	9296	7721	6641	4308	1507	0	358	2730	4710	Tot excès
	3296	1721	641	0	0	0	0	0	0	5658
Benef	Delta	Sur-prix								
	264975268	6397	1,13061152							
Hongkong	47168	21779	24032	44431	40521	17480	0	16642	37314	Tot excès
	39168	13779	16032	36431	32521	9480	-8000	8642	29314	177367
Benef	Delta	Prix/cont								
	267496301	2527430	14,2497195							
Los-Angeles	2570	10365	17984	19116	5740	0	15334	32228	38485	Tot excès
	0	6365	13984	15116	1740	0	11334	28228	34485	111252
Benef	Delta	Sur-prix								
	266748611	1779740	15,9973753							
New-York	9576	10723	14120	7282	0	0	248	6384	12220	Tot excès
	1576	2723	6120	0	0	0	0	0	4220	14639
Benef	Delta	Sur-prix								
	265076850	107979	7,37611859							
Santos	9224	6965	9186	3797	0	5006	9253	14926	21231	Tot excès
	2224	0	2186	0	0	0	2253	7926	14231	28820
Benef	Delta	Sur-prix								
	265443916	475045	16,4831714							

Figure 16: Relachement complet de chaque contrainte de stock individuellement

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	
Hongkong	47168	21779	24032	44431	40521	17480	0	178	4726	
	39168	13779	16032	36431	32521	9480	0	0	0	147411
Los-Angeles	0	0	0	1045	0	0	15334	32228	38485	
	0	0	0	0	0	0	11334	28228	34485	74047
										221458
	Benef	Delta	Sur-Prix							
	268292217	3323346	15,0066649							
	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	
Anvers	0	1862	10656	28372	0	0	6410	25124	29505	
	0	-5138	3656	21372	0	0	0	18124	22505	60519
Hongkong	46353	20964	21355	42949	24089	17480	0	8487	0	
	38353	12964	13355	34949	16089	9480	0	487	0	125677
Los-Angeles	0	0	0	1045	0	0	1936	18830	25087	
	0	0	0	0	0	0	0	14830	21087	35917
										222113
	Benef	Delta	Sur-prix							
	268717331	3748460	16,8763647							
	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	
Anvers	0	0	8794	24357	11740	0	6410	25124	29505	
	0	0	1794	17357	4740	0	0	18124	22505	64520
Hongkong	47030	21641	23894	45488	28781	5740	0	5417	0	
	39030	13641	15894	37488	20781	-2260	0	-2583	0	121991
Los-Angeles	0	0	0	1045	0	0	0	13054	19311	
	0	0	0	0	0	0	0	9054	15311	24365
Santos	2259	0	1089	1513	0	5006	7383	11815	12776	
	0	0	0	0	0	0	383	4815	5776	10974
										221850
	Benef	Delta	Sur-prix							
	268837097	3868226	17,4362227							

Figure 17: Relachement complet de combinaisons intéressantes de contraintes

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	
Anvers	0	14528	34883	28622	0	0	6410	25124	29505	
	0	7528	27883	21622	0	0	0	18124	22505	97662
Dubai	1575	0	0	4157	1356	0	358	2730	3306	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hongkong	46603	21214	8939	18972	24089	17480	0	5417	0	
	38603	13214	939	10972	16089	9480	0	-2583	0	86714
Los-Angeles	0	0	0	1045	0	0	0	13054	19311	
	0	0	0	0	0	0	0	9054	15311	24365
New-York	3206	4353	7750	8427	2950	0	248	4556	9404	
	0	0	0	427	0	0	0	0	1404	1831
Santos	2259	0	1089	1513	0	5006	7383	11815	12776	
	0	0	0	0	0	0	383	4815	5776	10974
	Benef	Delta	Sur-prix							221546
	268882206	3913335	17,6637583							

Figure 18: Relachement de toutes les contraintes de stock