

**Exemples de cas d'analyse multicritère dans le cadre  
d'études de faisabilité pour des projets technologiques.**

**Janvier 2003**

**Richard Gagné, Ali Gharbi ©  
Département de génie de la production automatisée,  
École de technologie supérieure, Montréal, QC**

## Table des matières

<b>Exemple 1: Problème de choix d'automates pour la découpe de viande. ....</b>	<b>3</b>
<b>Exemple 2: Problème d'un choix du niveau d'automatisation d'un poste de travail pour l'assemblage de cloison en bois. ....</b>	<b>19</b>
<b>Exemple 3: Problème d'un choix d'une machine d'analyse de carte électronique.....</b>	<b>31</b>
<b>Exemple 4: Choix d'une nouvelle ligne de montage de groupes électrogènes.....</b>	<b>43</b>
<b>Exemple 5 : Choix pour le remplacement d'un logiciel de CAO. ....</b>	<b>56</b>
<b>Exemple 6: Choix d'un logiciel d'analyse par éléments finis .....</b>	<b>63</b>
<b>Exemple 7: Choix de remplacement d'un nouveau transporteur robotisé.....</b>	<b>68</b>
<b>Exemple 8 : Décision pour un système de correction de l'alimentation électrique pour la ventilation d'un tunnel routier urbain. ....</b>	<b>70</b>
<b>Bibliographie et hyper liens : .....</b>	<b>73</b>

Le présent document renferme une série d'exemples de cas d'analyse de rentabilité et multicritère pour des études de faisabilité touchant divers domaines de l'ingénierie et de la technologie. Les analyses multicritères ont été réalisées en empruntant la méthode d'analyse AHP (*Analytic Hierarchical Process*). Le logiciel *Expert Choice* (version 9.5 et 2000) fut utilisé pour leur réalisation où les fichiers sont joints à ce document.

**Exemple 1: Problème de choix d'automates pour la découpe de viande.**

La compagnie *Découpec inc.* est une PME active québécoise dont la principale fonction est d'effectuer la découpe et l'emballage de porc pour l'industrie de l'alimentation mondiale. Dans l'éventualité d'améliorer ses équipements de production, la compagnie a le choix entre quatre suites d'automates programmables de compagnies différentes. Chaque suite est constituée de dix automates. Elle cherche à déterminer pour quelle suite elle doit opter afin de maximiser l'efficacité de ses opérations. Il est important de noter qu'il ne s'agit pas d'une analyse de remplacement. Un tableau présentant les différentes options est illustré ici.

	<b>Siemens</b>	<b>A-Bradley</b>	<b>Omron</b>	<b>Modicon</b>
<i>Investissement(\$)</i>	45 000	48 822	52 500	60 000
<i>Revenus annuels(\$)</i>	22 500	22 500	45 000	48 750
<i>Déboursés annuels(\$)</i>	9 625	8 000	11 250	16 875
<i>Vie économique</i>	10	10	10	10
<i>Valeur de revente(\$)</i>	0	0	0	0

**Tableau 1 : Alternatives pour le choix de nouveaux équipements de production**

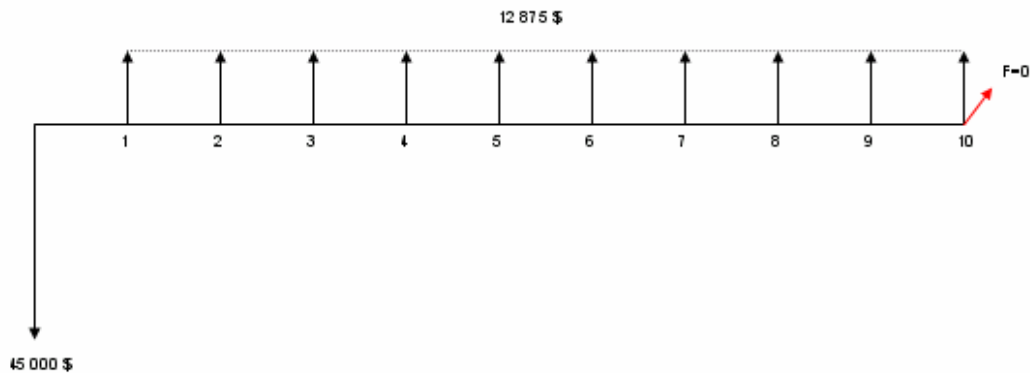
Analyse de rentabilité:

Le TRAM exigé après impôt est de 15 % sur un horizon de 10 ans. Selon la loi sur les impôts sur le revenu, l'entreprise se voit accorder un taux d'imposition  $t = 31,02\%$  puisqu'elle opère activement au Québec avec un chiffre d'affaires annuel supérieur à 200 000\$. Les calculs des

tranches d'amortissement fiscal et des remboursements des prêts bancaires seront présentés pour chaque alternative. Puisqu'il n'y a pas d'aliénation complète des biens de la catégorie 43 à la fin de la période de dix ans, le calcul de la valeur de récupération après impôt des équipements à ce moment doit être fait.

### *Alternative #1 : Suite d'automates Siemens*

La figure suivante présente la situation avant impôt.



**Figure 1. Diagramme des flux avant impôt : suite Siemens**

Cette suite, tout comme les autres, est amortissable selon la méthode du solde dégressif ( $K = 30\%$ ) sans la règle de la demi-année ( $d_n = P_0 * K * (1-K)^{n-1}$  où  $n =$  année en cours).

<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>	<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>
1	13 500	6	2 268,95
2	9 450	7	1 588,26
3	6 615	8	1 111,78
4	4 630,50	9	778,25
5	3 241,35	10	544,78
			<b>Total: 43 728,87</b>

**Tableau 2 : Amortissement fiscal : suite Siemens**

Le tableau suivant présente les calculs des flux monétaires après impôt :

Année	(A) Flux avant impôts	(B) Emprunt (+) ou Remboursement (-)	(C) Intérêts sur emprunt (-)	(D) Amortissement fiscal (-)	(E) = (A) + (C) + (D) Revenu imposable	(F) = [- (E) x Taux] Flux des impôts	(G) = (A) + (B) + (C) + (F) Flux après impôt
0	(45 000,00 \$)	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(45 000,00 \$)
1	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(13 500,00 \$)	(625,00 \$)	193,88 \$	13 068,88 \$
2	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(9 450,00 \$)	3 425,00 \$	(1 062,44 \$)	11 812,57 \$
3	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(6 615,00 \$)	6 260,00 \$	(1 941,85 \$)	10 933,15 \$
4	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(4 630,50 \$)	8 244,50 \$	(2 557,44 \$)	10 317,56 \$
5	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(3 241,35 \$)	9 633,65 \$	(2 988,36 \$)	9 886,64 \$
6	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(2 268,95 \$)	10 606,05 \$	(3 290,00 \$)	9 585,00 \$
7	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(1 588,26 \$)	11 286,74 \$	(3 501,15 \$)	9 373,85 \$
8	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(1 111,78 \$)	11 763,22 \$	(3 648,95 \$)	9 226,05 \$
9	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(778,25 \$)	12 096,75 \$	(3 752,41 \$)	9 122,59 \$
10	12 875,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(544,78 \$)	12 330,22 \$	(3 824,83 \$)	9 313,05 \$
10a) econo	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$		262,88 \$
VL(n=10) =	1 271,13 \$		Amort. Tot. =	43 728,87 \$		Vp =	8 878,57 \$

**Tableau 3 : Flux monétaires après impôt : suite Siemens**

À la fin de la première année, la compagnie peut réclamer l'économie d'impôt dû au fait qu'elle possède d'autres sources de revenus imposables. Par ailleurs, la valeur de revente des équipements est 0 \$ à la fin du projet et la valeur aux livres à la fin de la dixième année est:

$$V_L(n=10) = (45\ 000 - 43\ 728,87)\$ = 1\ 271,13\$.$$

Puisque la valeur de revente est nulle, il y a une perte de 1 271,13\$ équivalente à la fraction non amortie du coût en capital (F.N.A.C.C.). Puisqu'il n'y a pas aliénation complète de tous les biens de la catégorie 43 à la fin du projet, il n'est donc pas possible pour la compagnie de récupérer la D.P.A. (déduction pour amortissement) correspondante à la fin de la dixième année. Il faut alors calculer la valeur actualisée à la fin de la dixième année de toutes les D.P.A. étalées dans les années futures (chap 6, Sect.6.9.1., Gharbi et al.).

Valeur présente à n=0 des flux monétaires après impôt :

$$V_p = -45000 + 13,069K(P/F_{10\%,1}) + 11,813K(P/F_{10\%,2}) + 10,933K(P/F_{10\%,3}) + 10,318K(P/F_{10\%,4}) + 9,887K(P/F_{10\%,5}) + 9,585K(P/F_{10\%,6}) + 9,374K(P/F_{10\%,7}) + 9,226K(P/F_{10\%,8}) + 9,123K(P/F_{10\%,9}) + 9,05K(P/F_{10\%,10}) + \text{somme des D.P.A. actualisées}$$

Formules simplificatrices de l'analyse de rentabilité après impôt :

- a)  $V_p$  des revenus :  $12\ 875 * (1 - 0,3102) = 8\ 881,18\$$   
 $8\ 881,18\$ * (P/A_{15\%,10}) = 44\ 572,6\$$
- b)  $V_p$  des économies d'impôt :  
 $P_0 * (t * K / (i + K)) = 45\ 000 * (0,3102 * 0,3 / 0,45) = 9\ 306\$$
- c)  $V_p$  des économies d'impôt dues à la revente :  
 $F * (t * K / (i + K)) * (P/F, 15\%, 10) = 0$
- d)  $V_p$  de la valeur de récupération :  
 $F * (P/F, 15\%, 10) = 0$

Selon ces formules, la valeur présente de tout le projet est :

$$V_p = -45\ 000 + 44\ 572,6 + 9\ 306 = 8\ 878,57\$$$

Somme des D.P.A. actualisées = 64,98\$. À la fin de la 10<sup>e</sup>, ce montant est  $64,98 * (F/P_{15\%,10}) = 262,88\$$ .

### Alternative #2 : Suite d'automates Allen-Bradley

Pour cette alternative, la banque exige un taux d'intérêt nominal de 10% composé annuellement sur un prêt de 13 822\$. Cet emprunt devra être remboursé en deux paiements égaux à la fin de la 5<sup>e</sup> année et de la 10<sup>e</sup> année, respectivement. La figure suivante présente la situation avant impôt.

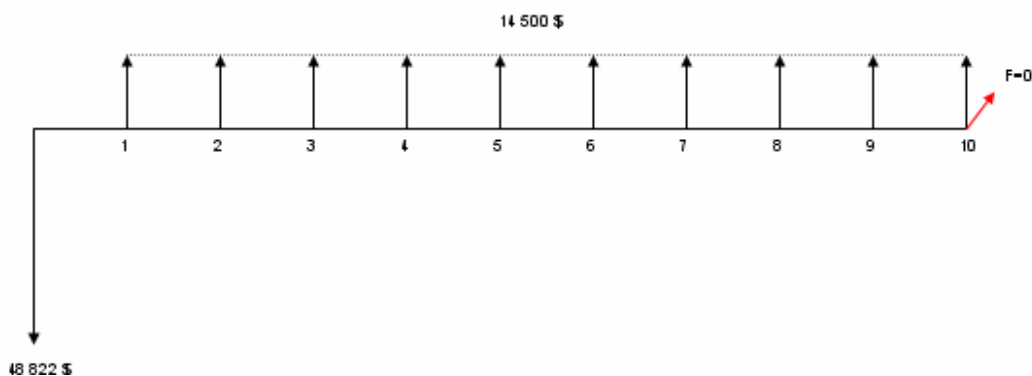


Figure 2 : Diagramme des flux avant impôt : suite Allen-Bradley

Amortissement fiscal (K = 30%) :

Année	Amortissement(\$)	Année	Amortissement(\$)
1	14 646,6	6	2 461,65
2	10 252,62	7	1 723,16
3	7 176,83	8	1 206,21
4	5 023,78	9	844,35
5	3 516,65	10	591,04
			<b>Total: 47 442,89</b>

**Tableau 4 : Amortissement fiscal : suite Allen-Bradley**

Remboursement sur le prêt :

Année	Intérêt(\$)	Capital(\$)	Dettes(\$)
1	1 382,20		
2	1 520,42		
3	1 672,46		
4	1 839,71		
5	2 023,68 <b>(8 438,47)</b>	5 295,14	8 526,86
6	852,69		
7	937,96		
8	1 031,75		
9	1 134,93		
10	1 248,42 <b>(5 205,75)</b>	8 527,86	-1 ≈ 0

**Tableau 5 : Remboursement du prêt bancaire : suite Allen-Bradley**

À la fin du projet, la valeur de revente des équipements est 0 \$ et la valeur aux livres est:

$$V_L(n=10) = (48\,822 - 47\,442,89)\$ = 1\,379,11\$.$$

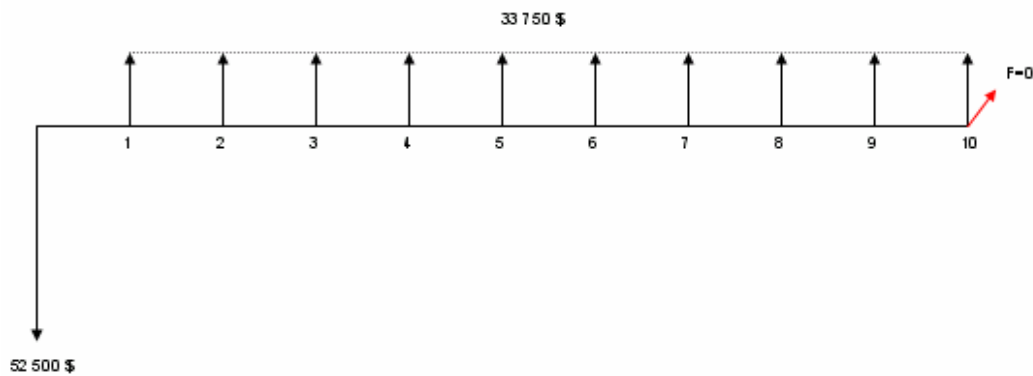
La perte de 1 379,11\$ représente la F.N.A.C.C. La valeur actualisée à la fin de la dixième année de toutes les D.P.A. étalées dans les années futures est de **-21 155,41\$**.

Année	(A) Flux avant impôts	(B) Emprunt (+) ou Remboursement (-)	(C) Intérêts sur emprunt (-)	(D) Amortissement fiscal (-)	(E) = (A) + (C) + (D) Revenu imposable	(F) = [- (E) x Taux] Flux des impôts	(G) = (A) + (B) + (C) + (F) Flux après impôt
0	(48 822,00 \$)	13 822,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(35 000,00 \$)
1	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(14 646,60 \$)	(146,60 \$)	45,48 \$	14 545,48 \$
2	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(10 252,62 \$)	4 247,38 \$	(1 317,54 \$)	13 182,46 \$
3	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(7 176,83 \$)	7 323,17 \$	(2 271,65 \$)	12 228,35 \$
4	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(5 023,78 \$)	9 476,22 \$	(2 939,52 \$)	11 560,48 \$
5	14 500,00 \$	(13 733,61 \$)	(8 438,47 \$)	(3 516,65 \$)	2 544,88 \$	(789,42 \$)	(23,03 \$)
6	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(2 461,65 \$)	12 038,35 \$	(3 734,30 \$)	10 765,70 \$
7	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(1 723,16 \$)	12 776,84 \$	(3 963,38 \$)	10 536,62 \$
8	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(1 206,21 \$)	13 293,79 \$	(4 123,73 \$)	10 376,27 \$
9	14 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(844,35 \$)	13 655,65 \$	(4 235,98 \$)	10 264,02 \$
10	14 500,00 \$	(13 733,61 \$)	(5 205,75 \$)	(591,04 \$)	8 703,21 \$	(2 699,74 \$)	(23 088,76 \$)
10a)écono	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$		(21 155,41 \$)
VL(n=15) =	1 379,11 \$		Amort. Tot. =	47 442,89 \$		Vp =	11 472,63 \$

**Tableau 6 : Flux monétaires après impôt : suite Allen-Bradley**

**Alternative #3 : Suite d'automates Omron**

Pour cette alternative, la banque exige un taux d'intérêt nominal de 10% composé annuellement sur le prêt de 17 500\$ remboursé en dix paiements égaux de fin d'année.



**Figure 3 : Diagramme des flux avant impôt : suite Omron**



L'amortissement fiscal :

<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>	<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>
1	15 750	6	2 647,10
2	11 025	7	1 852,97
3	7 717,5	8	1 297,08
4	5 402,25	9	907,96
5	3 781,58	10	635,57
			<b>Total: 51 017,01</b>

**Tableau 7 : Amortissement fiscal : suite Omron**

Remboursement sur le prêt :

<u>Année</u>	<u>Intérêt(\$)</u>	<u>Capital(\$)</u>	<u>Dettes(\$)</u>
1	1 750	1098,13	16 401,87
2	1 640,19	1 207,94	15 193,93
3	1 519,39	1 328,74	13 865,19
4	1 386,52	1 461,61	12 403,58
5	1 240,36	1 607,77	10 795,81
6	1 079,58	1 768,55	9 027,26
7	902,73	1 945,40	7 081,86
8	708,19	2 139,94	4 941,92
9	494,19	2 353,94	2 587,98
10	258,80	2 589,33	-1,35 ≈ 0

**Tableau 8 : Remboursement du prêt bancaire : suite Omron**

À la fin du projet, la valeur de revente des équipements est nulle et la valeur aux livres à la fin de la dixième année est de 1482,99\$ qui est une perte et représente la F.N.A.C.C. La valeur actualisée à la fin de la 10e année de toutes les D.P.A. étalées dans les années futures est de **-20 710,03\$**.

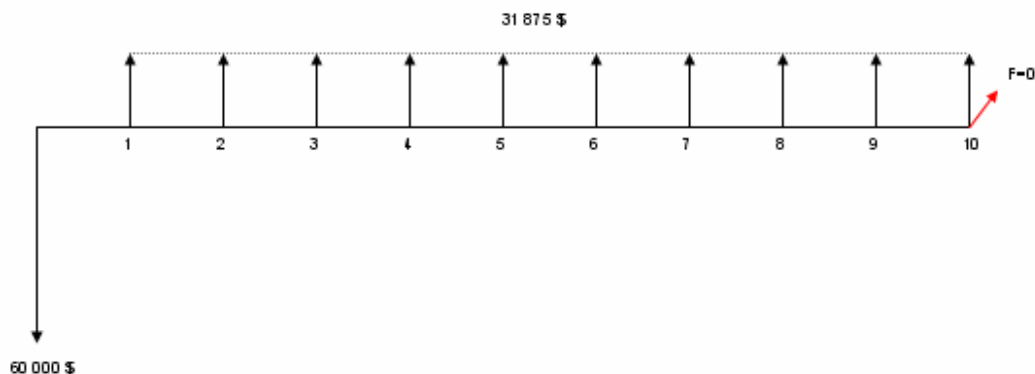
Le bilan est résumé dans le tableau suivant :

Année	(A) Flux avant impôts	(B) Emprunt (+) ou Remboursement (-)	(C) Intérêts sur emprunt (-)	(D) Amortissement fiscal (-)	(E) = (A) + (C) + (D) Revenu imposable	(F) = [- (E) x Taux] Flux des impôts	(G) = (A) + (B) + (C) + (F) Flux après impôt
0	(52 500,00 \$)	17 500,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(35 000,00 \$)
1	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 750,00 \$)	(15 750,00 \$)	16 250,00 \$	(5 040,75 \$)	25 861,12 \$
2	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 640,19 \$)	(11 025,00 \$)	21 084,81 \$	(6 540,51 \$)	24 361,36 \$
3	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 519,39 \$)	(7 717,50 \$)	24 513,11 \$	(7 603,97 \$)	23 297,90 \$
4	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 386,52 \$)	(5 402,25 \$)	26 961,23 \$	(8 363,37 \$)	22 538,50 \$
5	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 240,36 \$)	(3 781,58 \$)	28 728,06 \$	(8 911,44 \$)	21 990,43 \$
6	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(1 079,58 \$)	(2 647,10 \$)	30 023,32 \$	(9 313,23 \$)	21 588,64 \$
7	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(902,73 \$)	(1 852,97 \$)	30 994,30 \$	(9 614,43 \$)	21 287,44 \$
8	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(708,19 \$)	(1 297,08 \$)	31 744,73 \$	(9 847,22 \$)	21 054,65 \$
9	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(494,19 \$)	(907,96 \$)	32 347,85 \$	(10 034,30 \$)	20 867,57 \$
10	33 750,00 \$	(2 848,13 \$)	(258,80 \$)	(635,57 \$)	32 855,63 \$	(10 191,82 \$)	0,02 \$
10a) écono	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$		(20 710,03 \$)
VL(n=10) =	1 482,99 \$		Amort. Tot. =	51 017,01 \$		Vp =	75 197,73 \$

**Tableau 9 : Flux monétaires après impôt : suite Omron**

**Alternative #4 : Suite d'automates Modicon**

Pour cette alternative, la banque exige un taux d'intérêt nominal de 10% composé trimestriellement sur le prêt de 20 000\$. L'intérêt seulement sera payable en fin d'année pendant dix ans alors que la totalité du capital sera remboursable à la fin de la dixième année. Puisque le taux est composé trimestriellement, le taux d'intérêt effectif ( $i_{\text{eff}} = 10,38\%$ ) sera pris. La figure suivante présente la situation avant impôt.



**Figure 4 : Diagramme des flux avant impôt : suite Modicon**

L'amortissement fiscal :

<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>	<u>Année</u>	<u>Amortissement(\$)</u>
1	18 000	6	3 025,26
2	12 600	7	2 117,68
3	8 820	8	1 482,38
4	6 174	9	1 037,66
5	4 321,80	10	726,36
			<b>Total: 58 305,14</b>

**Tableau 10 : Amortissement fiscal : suite Modicon**

Remboursement sur le prêt :

<u>Année</u>	<u>Intérêt(\$)</u>	<u>Capital(\$)</u>	<u>Dettes(\$)</u>
1	2 076,26	0	20 000
2	2 076,26	0	20 000
3	2 076,26	0	20 000
4	2 076,26	0	20 000
5	2 076,26	0	20 000
6	2 076,26	0	20 000
7	2 076,26	0	20 000
8	2 076,26	0	20 000
9	2 076,26	0	20 000
10	2 076,26	20 000	0

**Tableau 11 : Remboursement du prêt bancaire : suite Modicon**

À la fin du projet, la valeur de revente des équipements est nulle et la valeur aux livres à la fin de la 10e année est de 1694,86\$ et constitue une perte représentant la F.N.A.C.C. La valeur actualisée à la fin de la 10<sup>e</sup> année de toutes les D.P.A. étalées dans les années futures est de **-31 481,46\$**.

Le tableau suivant présente les calculs des flux monétaires après impôt :

Année	(A) Flux avant impôts	(B) Emprunt (+) ou Remboursement (-)	(C) Intérêts sur emprunt (-)	(D) Amortissement fiscal (-)	(E) = (A) + (C) + (D) Revenu imposable	(F) = [- (E) x Taux] Flux des impôts	(G) = (A) + (B) + (C) + (F) Flux après impôt
0	(60 000,00 \$)	20 000,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	(40 000,00 \$)
1	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(18 000,00 \$)	11 798,74 \$	(3 659,97 \$)	26 138,77 \$
2	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(12 600,00 \$)	17 198,74 \$	(5 335,05 \$)	24 463,69 \$
3	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(8 820,00 \$)	20 978,74 \$	(6 507,61 \$)	23 291,13 \$
4	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(6 174,00 \$)	23 624,74 \$	(7 328,39 \$)	22 470,35 \$
5	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(4 321,80 \$)	25 476,94 \$	(7 902,95 \$)	21 896,79 \$
6	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(3 025,26 \$)	26 773,48 \$	(8 305,13 \$)	21 493,61 \$
7	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(2 117,68 \$)	27 681,06 \$	(8 586,66 \$)	21 212,08 \$
8	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(1 482,38 \$)	28 316,36 \$	(8 783,73 \$)	21 015,01 \$
9	31 875,00 \$	(2 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(1 037,66 \$)	28 761,08 \$	(8 921,69 \$)	20 877,05 \$
10	31 875,00 \$	(22 076,26 \$)	(2 076,26 \$)	(726,36 \$)	29 072,38 \$	(9 018,25 \$)	(30 700,97 \$)
10a)écono	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$	0,00 \$		(31 481,46 \$)
VL(n=10) =	1 694,86 \$		Amort. Tot. =	58 305,14 \$		Vp =	62 757,58 \$

**Tableau 12 : Flux monétaires après impôt : suite Modicon**

En se basant sur ces quatre résultats, il est possible de prendre une décision strictement économique en utilisant la méthode de comparaison basée sur la valeur présente  $V_p$  des différentes alternatives. Ainsi, la suite d'automates programmables de la compagnie Omron possède la  $V_p$  la plus grande et devient la recommandation pour l'entreprise. Il sera intéressant de voir si une analyse basée en grande partie sur la subjectivité des décideurs renverser la décision déjà prise.

#### Hiérarchie des critères de décision pour l'analyse multicritère:

Pour aborder le problème d'analyse des alternatives proposées, les responsables de l'entreprise ont défini une structure de critères de décision décrits ci-après. Les figures 5a et 5b montrent la hiérarchie des différents critères retenus.

**Valeur présente (C1):** Étant donné que le projet étudié tente de générer des profits, il est important de maximiser les résultats en minimisant les coûts, autant que possible. La pondération est assurée par les valeurs trouvées à l'analyse économique.

**Qualité du support technique (C2):** L'efficacité du support technique fournie par le fabricant peut devenir décisive dans les situations critiques, où le temps presse et des frais peuvent être occasionnés par un mauvais fonctionnement, une mauvaise utilisation, un bris, etc.

**Facilité d'utilisation (C3):** Les coûts de formation du personnel faisant partie des investissements, il est important que celle-ci soit dispensée de façon claire et compréhensive. La facilité d'utilisation des automates augmente donc de façon évidente le niveau de confiance et d'habileté des employés dans l'utilisation de ces équipements, et ce à l'intérieur d'une période plus courte. Ce critère en sous-tend trois autres, dans un deuxième niveau de hiérarchie.

**Profondeur de la documentation (C3a) :** Une documentation complète et précise augmente l'autosuffisance de l'entreprise face à ses fournisseurs. Un plus grand nombre de problèmes peu ainsi être réglé plus rapidement par les employés, sans avoir recours au support du fabricant qui peut parfois nécessiter certains délais.

**Ergonomie des interfaces (C3b) :** Une interface conviviale, et surtout intuitive, augmente l'efficacité d'un opérateur à travailler avec un équipement. La formation du personnel s'en trouve aussi accélérée.

**Compatibilité avec les autres équipements (C3c) :** Le fait de pouvoir interfacier des pièces d'équipement différentes sans avoir à fournir beaucoup d'efforts d'ingénierie peut réduire considérablement les coûts d'implantation du projet. Le fait de posséder plusieurs standards d'interfaces (ex. RS-232, Ethernet, etc.) peut être un atout majeur.

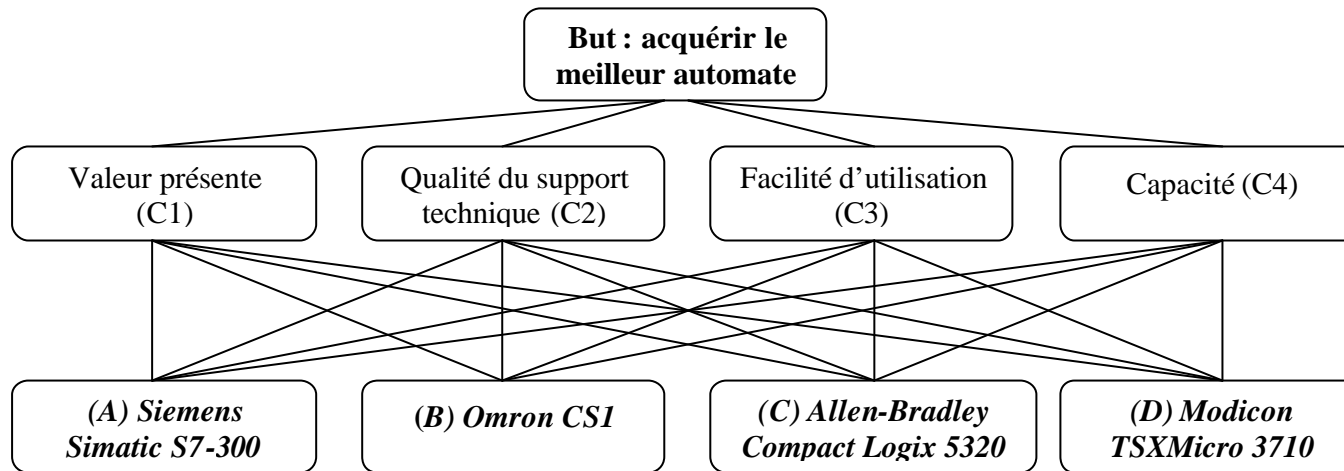


Figure 5a : Hiérarchie des critères (premier niveau)

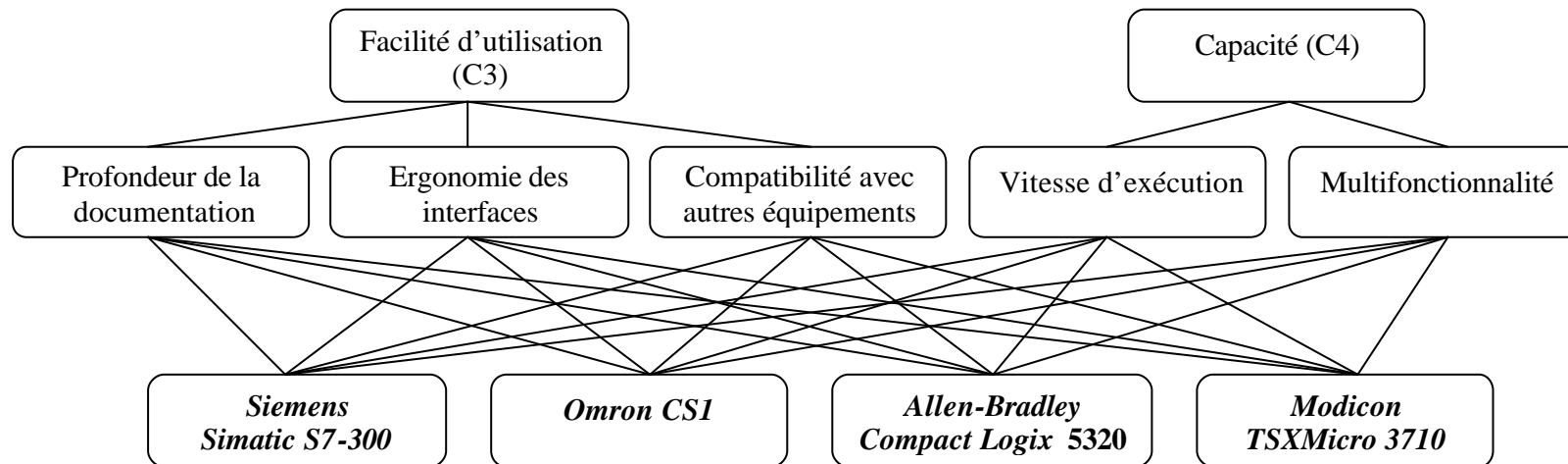


Figure 5b Hiérarchie des critères (deuxième niveau)

**Capacité (C4):** Ce critère est précisé en deux sous-critères.

**Vitesse d'exécution (C4a):** Bande passante du CPU et des différents bus, fréquence d'échantillonnage des ports entrée/sortie, capacité à gérer un certain nombre de processeurs, etc. Cela, si de qualité, permet d'absorber une augmentation potentielle de la production.

**Multi-fonctionnalité (C4b) :** Diversité des modules fournis avec le logiciel de programmation (ex. logique floue, etc.)

#### Analyse multicritère AHP:

Les critères du premier niveau ont été comparés deux à deux comme le montre la figure 6. Ainsi, comme il s'agit d'un projet à caractère économique, où la génération de profits est le but premier, le critère de la valeur présente domine tous les autres. Pour ce qui est des critères C2 et C3, les décideurs ont jugé que la facilité d'utilisation était plus importante que la qualité du support technique, dans le but de limiter les recours à ce dernier. Finalement, le critère C4 est jugé plus important que les deux précédents, vu l'importance du critère C4a (« Vitesse d'exécution ») qu'il sous-tend.

	C1	C2	C3	C4
C1		4,0	2,0	4,0
C2			2,0	2,0
C3				2,0
C4	Incon: 0,07			

**Figure 6: Poids relatifs des critères du premier niveau**

La figure 7 montre la comparaison binaire des sous-critères des critères «Facilité d'utilisation» et «Capacité». Dans le premier, le critère compatibilité a été jugé plus important que les deux autres, comme les coûts associés à l'ingénierie sont jugés comme étant généralement importants. Ainsi, leur influence sur la rentabilité du projet sera aussi plus grande. Pour le deuxième critère «Capacité», le sous-critère vitesse d'exécution a été jugé 6 fois plus important que Multi-fonctionnalité, comme il représente des caractéristiques qui sont considérées critiques dans le choix de l'automate (i.e. le choix d'un système qui pourrait ne pas suffire à une augmentation de la cadence peut s'avérer désastreux).

	C3 a	C3 b	C3 c
C3 a		1,0	5,0
C3 b			3,0
C3 c	Incon: 0,03		

	C4 a	C4 b
C4 a		6,0
C4 b	Incon: 0,00	

**Figure 7 : Poids relatifs des critères du deuxième niveau**

Matrices des alternatives :

Les différentes alternatives sont étiquetées comme suit :

- A- Siemens Simatic S7-300**
- B- Omron CS1**
- C- Allen-Bradley Compact Logix 5320**
- D- Modicon TSXMicro 3710**

Selon les caractéristiques des modèles d'automates présentés, les pondérations relatives à chacun des différents critères sont présentées dans les matrices des figures 8 à 10.

	A	B	C	D
A		9,0	5,0	9,0
B			3,0	2,0
C				2,0
D	Incon: 0,02			

	A	B	C	D
A		3,0	2,0	4,0
B			4,0	1,0
C				3,0
D	Incon: 0,03			

**Figure 8 : Comparaison des alternatives selon les critères C1 (haut) et C2 (bas)**



	A	B	C	D
A		2,0	2,0	1,0
B			1,0	2,0
C				3,0
D	Incon: 0,01			

	A	B	C	D
A		2,0	1,0	6,0
B			2,0	4,0
C				5,0
D	Incon: 0,08			

	A	B	C	D
A		1,0	2,0	4,0
B			3,0	6,0
C				2,0
D	Incon: 0,01			

**Figure 9 : Comparaison des alternatives selon les critères C3 a (haut), C3 b (centre) et C3 c (bas)**

	A	B	C	D
A		6,0	1,0	7,0
B			5,0	2,0
C				6,0
D	Incon: 0,01			

	A	B	C	D
A		2,0	2,0	1,0
B			3,0	1,0
C				1,0
D	Incon: 0,05			

**Figure 10 : Comparaison des alternatives selon les critères C4 a (haut) et C4 b (bas)**

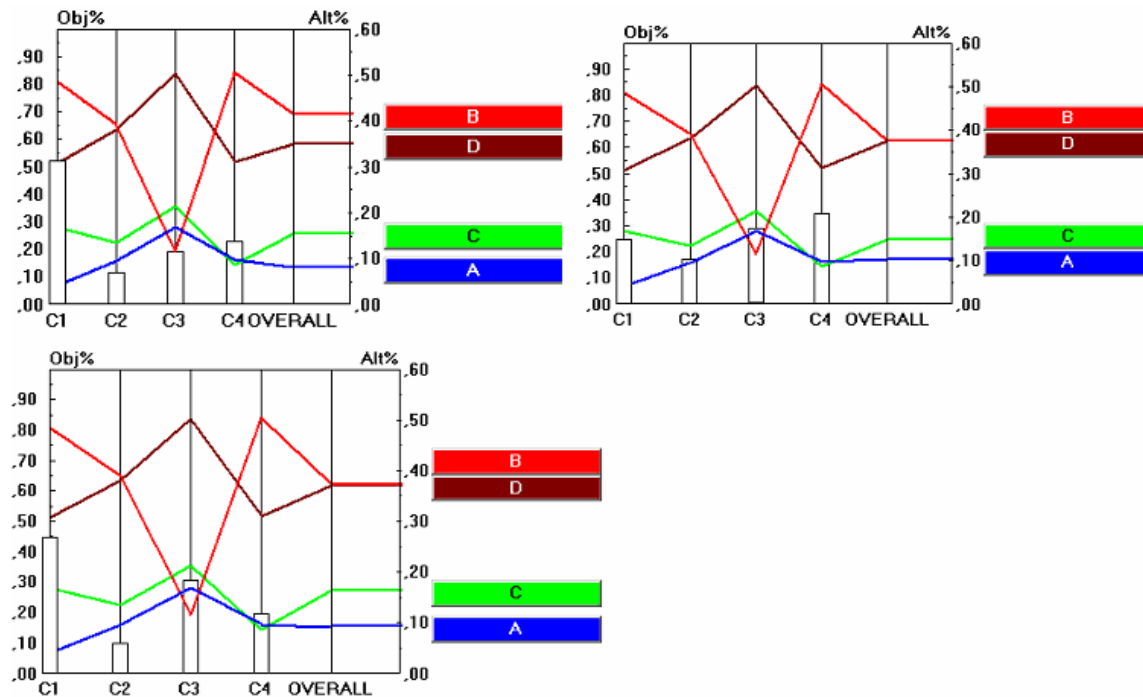
Ainsi, les alternatives obtiennent les priorités suivantes :

<b>Siemens Simatic S7-300</b>	<b>0.08</b>
<b>Omron CS1</b>	<b>0.415</b>
<b>Allen-Bradley Compact Logix 5320</b>	<b>0.155</b>
<b>Modicon TSXMicro 3710</b>	<b>0.350</b>

L'analyse multicritère conseille donc de choisir l'automate Omron.

Analyse de sensibilité :

Seulement les critères C1 et C3 peuvent renverser la décision. La figure 11(haut) montre qu'en diminuant le critère C1 (valeur présente) plus bas que 0,30, on fait pencher la balance du côté de l'automate Modicon. De même, lorsque qu'on augmente l'importance du critère C3 au-delà de 0,30, l'automate Modicon prend aussi la tête.



**Figure 11 : Analyse de sensibilité selon le premier niveau de la hiérarchie des critères; (en haut, à gauche) situation au départ; (en haut, à droite) variation du critère C1; (en bas) variation du critère C3.**

Ainsi, la décision semble être peu sensible à la majorité des critères et il a tout de même fallu une variation substantielle de C1 et C3 pour observer un changement dans la décision. Face à ces résultats, les décideurs de l'entreprise peuvent conclure que la suite *Omron* est un choix fiable par rapport à leurs exigences.

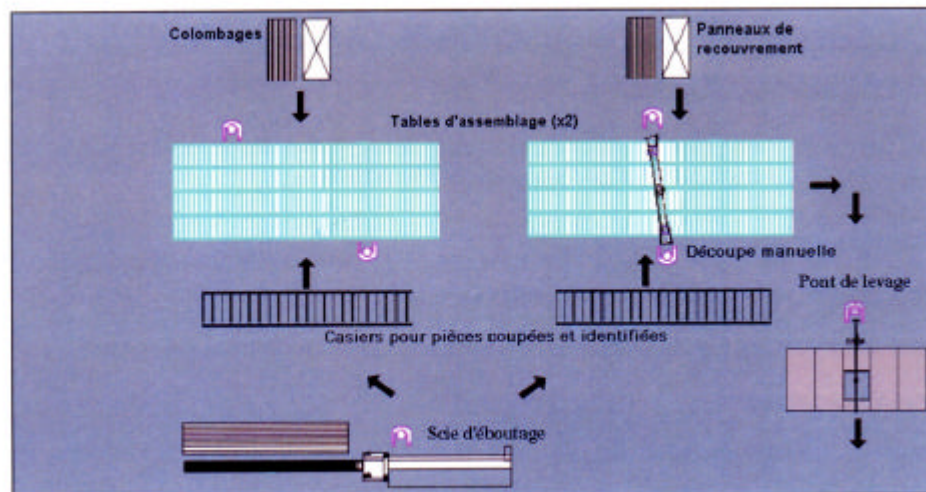
Fichier AHP : D:\PROJET\_automate.AHP

## Exemple 2: Problème d'un choix du niveau d'automatisation d'un poste de travail pour l'assemblage de cloison en bois.

Une PME québécoise spécialisée dans la fabrication de petites remises domestiques (petit bâtiment pour tondeuse, vélo, etc.) veut revoir un de ses principaux postes de travail à l'intérieure de son usine. Ce poste de travail assemble les murs ou les cloisons des divers modèles de remises. Trois alternatives se présentent pour les dirigeants de l'entreprise : un système d'assemblage automatique, un système semi-automatique et le système déjà existant, c'est-à-dire le « statu quo ».

### Système de production manuel :

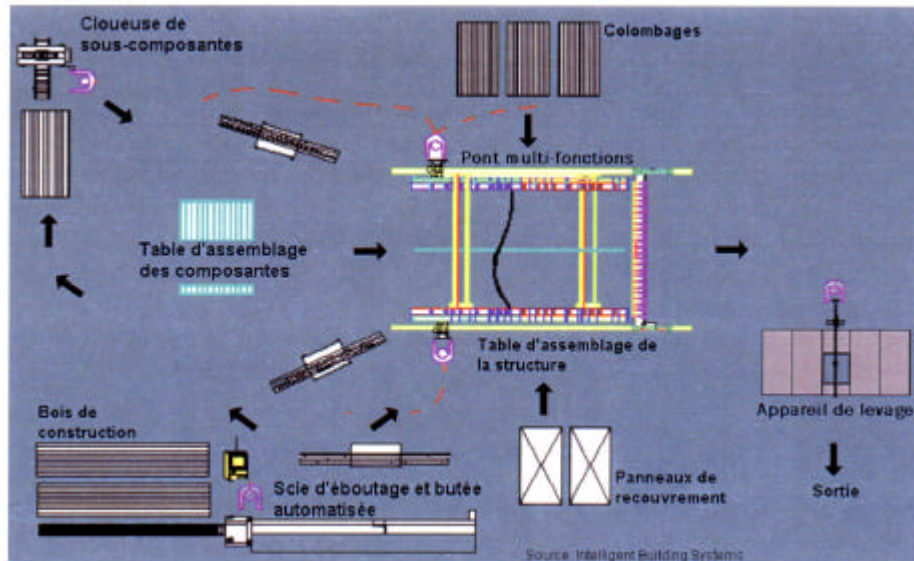
Actuellement, la technique traditionnelle nécessite seulement l'utilisation de quelques outils manuels comme les cloueuses et des tables d'assemblages. La figure 12 donne un aperçu sur l'aménagement de l'usine de production de murs basé sur les techniques manuelles.



**Figure 12 : Système existant (Manuel) d'assemblage des murs des remises**

### Système de production semi-automatique :

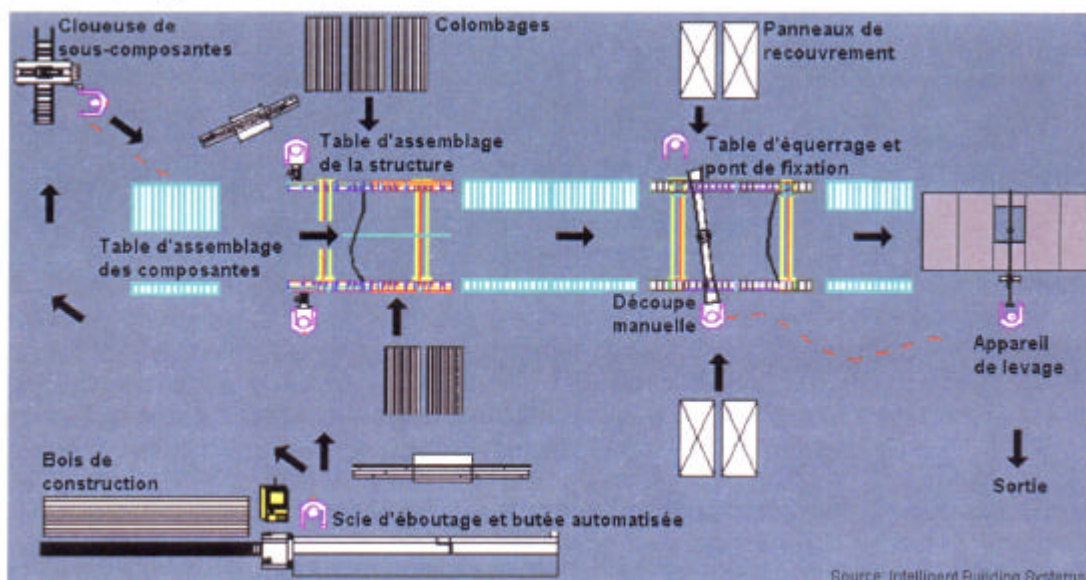
Ce système se situe entre celui de la production manuelle et le système automatique. Grâce au système de production semi-automatique, l'entreprise pourrait être capable d'avoir un taux de production beaucoup plus important par rapport au système de production manuelle. Avec ce système trois personnes sont nécessaires pour assurer la production des murs. La figure 13 donne un aperçu sur l'organisation de l'usine dans un tel type de système.



**Figure 13 : Système semi-automatique d'assemblage des murs des remises**

Système de production automatique :

Ce système de production possède une capacité de production supérieure aux autres. Avec ce système, quatre personnes sont nécessaires pour assurer la production des murs malgré le haut degré d'automatisation. La figure 14 donne un aperçu sur l'organisation du poste de travail dans l'usine.



**Figure 14 : Système automatique d'assemblage des murs de remise.**

### Analyse financière :

Dans cette étude, les calculs comprennent les coûts directs et indirects relatifs à la fabrication des murs qui sont les montants de la main d'œuvre, des prix des équipements, de la maintenance et des frais de l'électricité. Les prix des équipements pour les trois systèmes sont résumés dans le tableau suivant :

Poste de travail	Coûts des équipements
Manuelle	10 000 \$
Semi automatisée	150 000 \$
Automatisée	185 000 \$

### Amortissement :

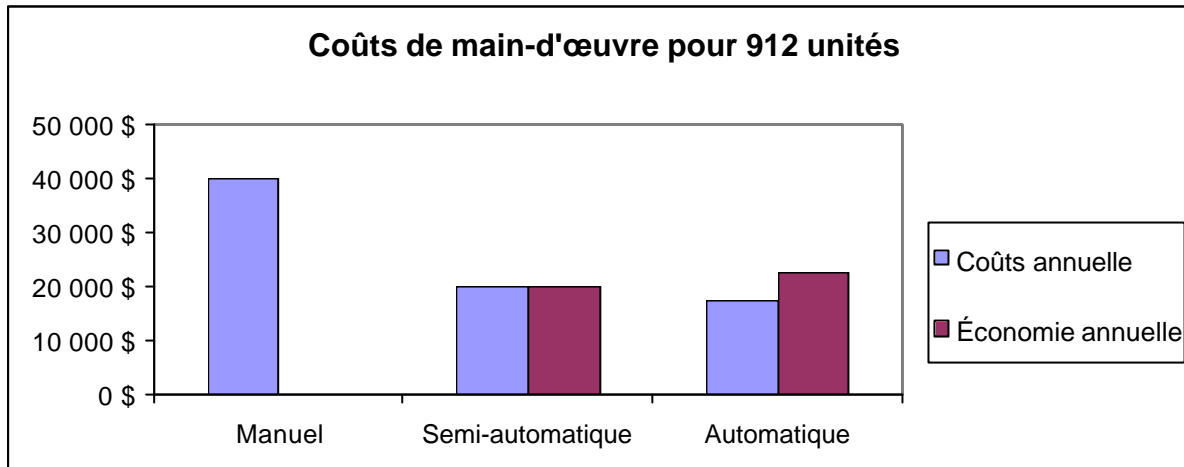
Pour ce type d'équipement l'amortissement se calcule avec la méthode du solde dégressif avec ( $K=20\%$ ). Le tableau suivant donne le calcul de la valeur au livre pour les trois systèmes pour un horizon de dix ans.

Année	Production manuelle		Système semi -automatique		Système automatique	
	Valeur au livre	Amort. $K=20\%$	Valeur au livre	Amort. $K=20\%$	Valeur au livre	Amort. $K=20\%$
0	10 000		150 000		185 000	
1	8 000	2 000	120 000	30 000	148 000	37 000
2	6 400	1 600	96 000	24 000	118 400	29 600
3	5 120	1 280	76 800	19 200	94 720	23 680
4	4 096	1 024	61 440	15 360	75 776	18 944
5	3 277	819	49 152	12 288	60 621	15 155
6	2 621	655	39 322	9 830	48 497	12 124
7	2 097	524	31 457	7 864	38 797	9 699
8	1 678	419	25 166	6 291	31 038	7 759
9	1 342	336	20 133	5 033	24 830	6 208
10	1 074	268	0	4 027	19 864	4 966

**Tableau 13 : Amortissement des équipements de chaque alternative (méthode du solde dégressif)**

### Coûts de main d'œuvre :

L'un des coûts variables les plus important dans cette étude est le coût de la main d'œuvre. Ce graphique montre d'une façon graphique le coût de mains d'œuvre selon la technique utilisée pour le taux moyen de production annuel (912 unités/an).



**Figure 15 : Coût de la main d'œuvre pour une demande de 912 unités/an.**

### Coûts d'entretien :

Les coûts d'entretien préventifs sont calculés d'après le contrat annuel d'entretien offert par le fournisseur (taux d'inflation de 5%).

Année	Système manuel existant	Système semi-automatique	Système automatique
0	0	0	0
1	500	2500	3 000
2	525	2 625	3 150
3	551	2 756	3 308
4	579	2 894	3 473
5	608	3 039	3 647
6	638	3 191	3 829
7	670	3 350	4 020
8	704	3 518	4 221
9	739	3 694	4 432
10	776	3 878	4 654

**Tableau 14 : Coûts d'entretien préventifs relatifs à chaque alternative.**

Coût de réparation dû à des pannes probables :

Année	Système manuel existant	Système semi-automatique	Système automatique
0	0	0	0
1	0	0	0
2	97	1 461	1 802
3	146	2 192	2 703
4	219	3 287	4 055
5	329	4 931	6 082
6	493	7 396	9 123
7	740	11 094	13 684
8	1 110	16 642	20 526
9	1 665	24 963	30 789
10	2 497	37 444	46 183

**Tableau 15 : Coûts de réparation des pannes relatifs à chaque alternative.**

Coûts d'électricité :

Les coûts d'électricité consommable par les machines ont été calculés selon le prix du kW/heure d'électricité applicable chez Hydro-Québec (0.07\$/ KWh).

Année	Système manuel existant	Système semi-automatique	Système automatique
0	0	0	0
1	84	169	219
2	86	173	224
3	88	178	230
4	90	182	236
5	93	187	242
6	95	191	248
7	97	196	254
8	100	201	260
9	102	206	267
10	105	211	274

**Tableau 16 : Coûts de réparation des pannes relatifs à chaque alternative.**

Analyse après impôt :

Les investissements vont être empruntés de la banque avec un taux d'intérêt de 10%. Le montant des intérêts sera payé à la fin de chaque année et le capital sera réglé à la fin de la

durée du projet prévue pour 10 ans. L'impôt est de 21% . Pour la valeur de récupération des équipements, la valeur de revente est égale à la valeur au livre.

**Système de production manuelle ( 912 unités/an ) :**

Année	(A) Flux monétaire avant impôt	(B) Capital	(C) Intérêt	(D) Amortissement fiscal (MSD)	E=A+C+D Revenu imposable	(F) = -(E)xT Flux monétaire des impôts	G=A+B+C+F Flux monétaires après impôt
0	-10 000	10000	0				
1	-40 430	0	-1000	2 000	-39 430	8 280	-33 150
2	-41 551	0	-1000	1 600	-40 951	8 600	-33 951
3	-42 649	0	-1000	1 280	-42 369	8 897	-34 751
4	-43 798	0	-1000	1 024	-43 774	9 193	-35 606
5	-45 012	0	-1000	819	-45 193	9 490	-36 521
6	-46 309	0	-1000	655	-46 653	9 797	-37 511
7	-47 717	0	-1000	524	-48 192	10 120	-38 596
8	-49 278	0	-1000	419	-49 858	10 470	-39 807
9	-51 054	0	-1000	336	-51 719	10 861	-41 193
10	-53 140	-10000	-1000	268	-53 872	11 313	-51 753
10*	1 074				0	0	1 074

La valeur de revente est égale à la valeur au livre

(228 274,12 \$)

**Système de production semi-automatique ( 912 unités/an ) :**

Année	(A) Flux monétaire avant impôt	(B) Capital	(C) Intérêt	(D) Amortissement fiscal (MSD)	E=A+C+D Revenu imposable	(F) = - (E)xT Flux monétaire des impôts	G=A+B+C+F Flux monétaires après impôt
0	150 000	150 000					
1	-22 510	-9 412	-15 000	30 000	-7 510	1 577	-45 345
2	-24 597	-10 353	-14 059	24 000	-14 655	3 078	-45 931
3	-25 971	-11 389	-13 023	19 200	-19 795	4 157	-46 226
4	-27 730	-12 527	-11 885	15 360	-24 255	5 094	-47 049
5	-30 057	-13 780	-10 632	12 288	-28 401	5 964	-48 505
6	-33 227	-15 158	-9 254	9 830	-32 650	6 857	-50 782
7	-37 651	-16 674	-7 738	7 864	-37 524	7 880	-54 182
8	-43 946	-18 341	-6 071	6 291	-43 725	9 182	-59 175
9	-53 037	-20 175	-4 237	5 033	-52 240	10 970	-66 478
10	-66 312	-22 193	-2 219	4 027	-64 505	13 546	-77 178
10*	24 779				0	0	24 779

la valeur de revente est égale à la valeur au livre

(318 189,85 \$)



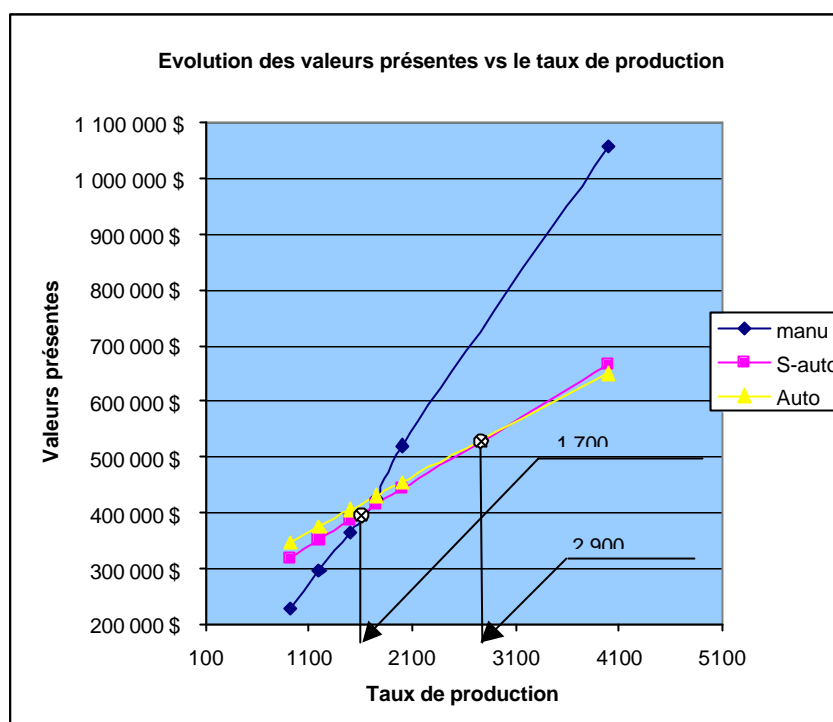
*Système de production automatique ( 912 unités/an ):*

Année	(A) Flux monétaire avant impôt	(B) Capital	(C) Intérêt	(D) Amortissement fiscal (MSD)	E=A+C+D Revenu imposable	(F) = - (E)xT Flux monétaire des impôts	G=A+B+C+F Flux monétaires après impôt
0	185 000	185 000					
1	-20 514	-11 608	-18 500	37 000	-2 014	423	-50 199
2	-22 904	-12 769	-17 339	29 600	-10 643	2 235	-50 777
3	-24 411	-14 046	-16 062	23 680	-16 794	3 527	-50 993
4	-26 388	-15 450	-14 658	18 944	-22 102	4 641	-51 855
5	-29 061	-16 995	-13 113	15 155	-27 018	5 674	-53 495
6	-32 767	-18 695	-11 413	12 124	-32 056	6 732	-56 143
7	-38 015	-20 564	-9 544	9 699	-37 860	7 951	-60 173
8	-45 566	-22 621	-7 487	7 759	-45 294	9 512	-66 162
9	-56 561	-24 883	-5 225	6 208	-55 578	11 671	-74 997
10	-72 710	-27 371	-2 737	4 966	-70 481	14 801	-68 153
10*	19 864				0	0	19 864

la valeur de revente est égale à la valeur au livre

**(346 061,91 \$)**

Si l'entreprise base son choix seulement sur le critère économique de la valeur présente et pour une demande de 912 unités/an, le présent système manuel doit resté en place. Par contre, si l'on tient compte de l'évolution valeurs présentes en fonction du volume de production, des courbes des valeurs présentes en fonction du taux de production proposent des choix différents (figure 16). Ainsi, au-delà de 1700 unités/an le système semi-automatique est plus avantageux que le manuel. Pour un taux de production qui excède 2900 unités/an, c'est le système automatique qui l'emporte.



**Figure 16 : Valeurs présentes des alternatives en fonction du taux moyen de production.**

#### Analyse multicritère AHP :

Les critères de sélection choisis par les décideurs sont les suivants.

**Critère 1, Valeur présente :** Ce critère économique est présent dans beaucoup de méthodes AHP, il est généralement le facteur déterminant, car en général, on choisit les projets qui sont les plus rentables financièrement et qui se défendent bien vis à vis des autres critères.

**Critère 2, Capacité :** La Capacité du système se manifeste comme étant un critère d'une grande importance vu qu'il est directement lié au temps de production. Ceci contribue à la minimisation du coût de revient des unités produites.

**Critère 3, Taux de rebut :** Nous considérons le taux de rebut dans notre analyse, puisqu'il est considérablement élevé et l'entreprise veut le minimiser.

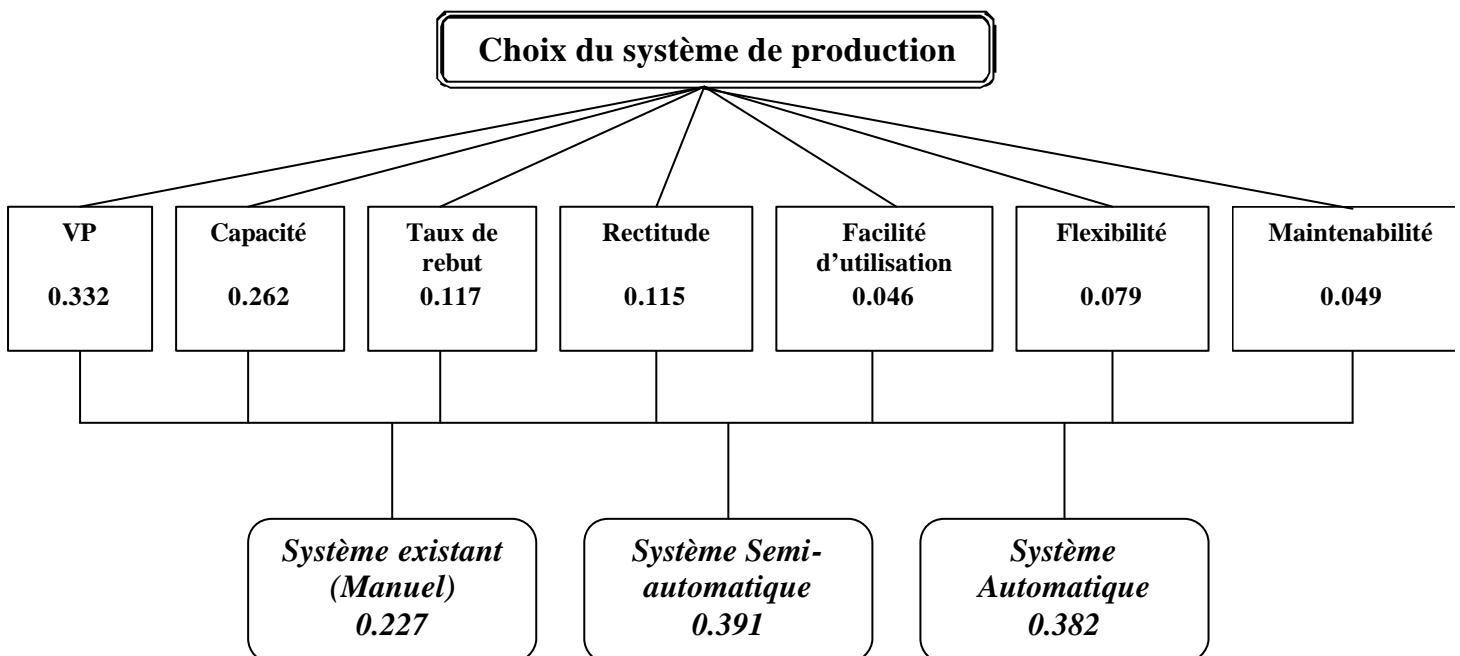
**Critère 4, Facilité d'utilisation :** Après notre discussion avec le propriétaire de l'entreprise, nous avons constaté qu'il est préférable de garder les mêmes ouvriers qui ne sont pas qualifiés

mais qui se sont familiarisés avec le système manuel, donc la facilité d'utilisation va influencer le choix de notre système.

**Critère 5, Rectitude :** C'est un critère de qualité qui consiste à s'assurer que les éléments une fois assemblés sont droits et à l'équerre.

**Critère 6, Flexibilité :** Dans un environnement économique de plus en plus concurrentiel, les entreprises cherchent des formes d'organisation et de production plus flexible et plus innovantes pour augmenter les performances économiques compte tenu de l'évolution technologique. En effet, la tendance est de plus en plus axée sur l'utilisation de systèmes de production flexibles pour pouvoir subvenir aux besoins du marché qui deviennent en majeure partie fluctuants. Donc, la flexibilité des systèmes de production est donc essentielle pour faire face aux changements technologiques et à l'évolution rapide de la demande.

**Critère 7, Maintenabilité :** La maintenabilité est l'aptitude à entretenir et maintenir ou dans le cas échéant réparer la machine dans un temps assez réduit. Ceci a un impact direct sur la production du fait que plus le temps d'arrêt du système est prolongé, plus le manque à gagner est important.

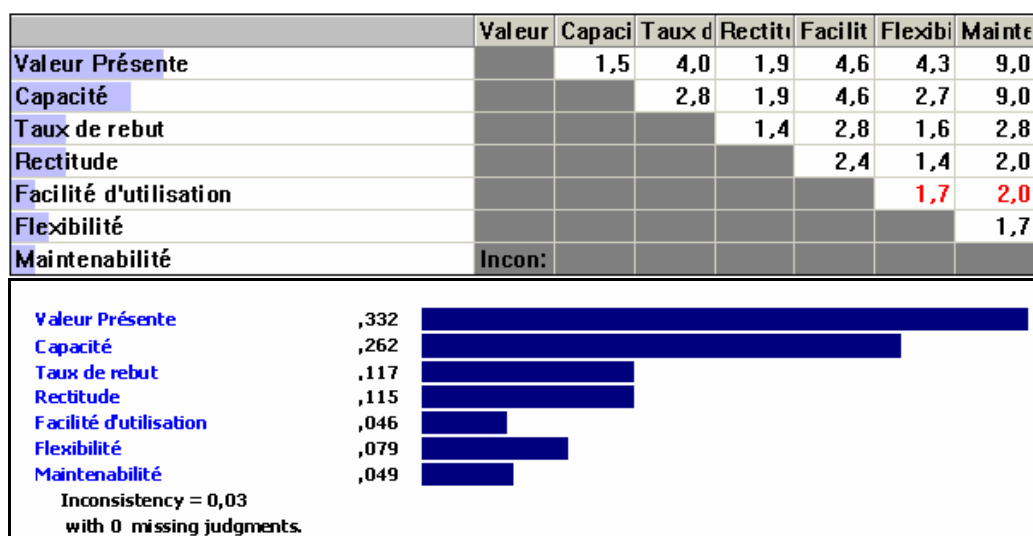


**Figure 17 : Hiérarchie pour le choix du meilleur système de production**

La figure 17 montre la hiérarchie de l'analyse avec la pondération finale de l'analyse faite pour une demande de 2000 unités/an qui représente le mieux la demande moyenne future. Le système semi-automatique s'avère l'alternative qui correspond le mieux aux attentes des décideurs de l'entreprise.

Matrice de pondération des critères et des alternatives :

C'est à partir des matrices suivantes que la pondération de la figure 17 fut obtenue. Le logiciel *Expert Choice 2000* fut utilisé pour l'analyse.



**Figure 18 : Pondération binaire des critères de sélection**

Du côté de la pondération des alternatives par rapport à chaque critère, des outils graphiques ont servi pour la pondération des critères qualitatifs comme par exemple la « facilité d'utilisation » (figure 19). On remarque un léger ratio d'incohérence de 0.03 dans la pondération des décideurs mais cela demeure négligeable (< 0.10).

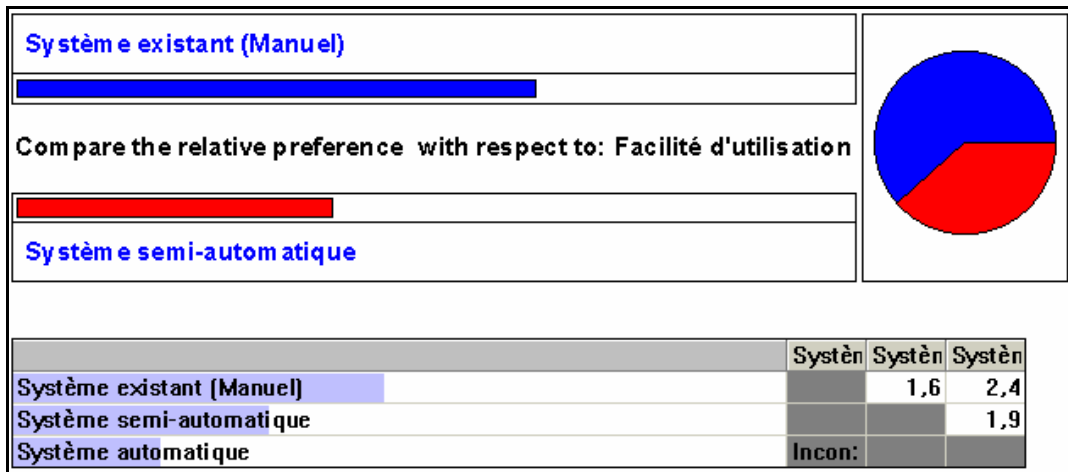


Figure 19 : Pondération des alternatives par rapport à la facilité d'utilisation.

Aussi pour les critères quantitatifs, la pondération fut faite mais directement à l'aide de données chiffrées transformés par ratio ce qui explique un ratio d'incohérence de 0.00 pour le critère de la valeur présente (figure 20).

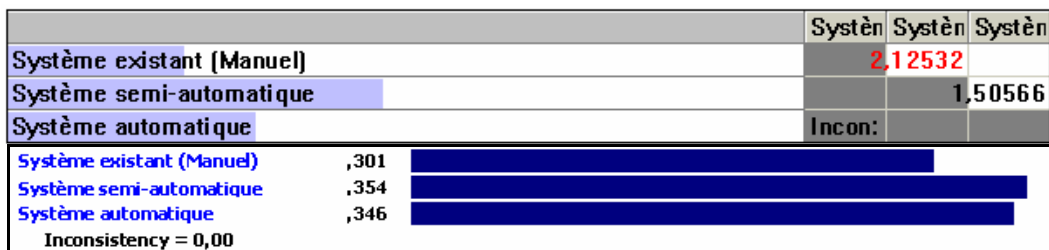


Figure 20: Pondération des alternatives par rapport à la valeur présente.

Une fois la pondération complétée des alternatives par rapport à chaque critère, le vecteur de priorité globale est obtenu avec un ratio d'incohérence de 0.02 (figure 21).

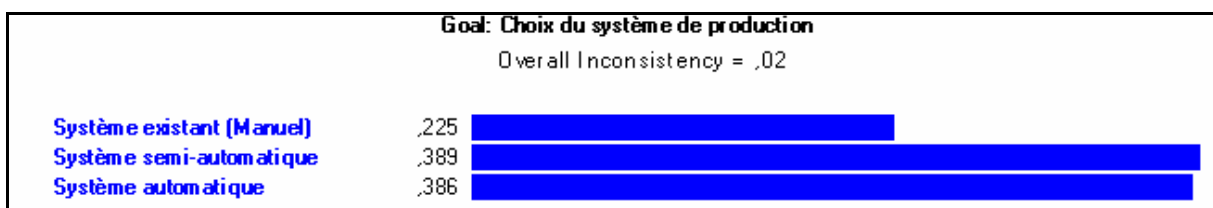


Figure 21: Vecteur de priorité global des alternatives de solution.

Analyse de sensibilité :

Les variations des poids accordés à la maintenabilité, à la flexibilité, à la facilité d'utilisation n'affectent pas le classement des alternatives (figure 22). Leur pondération doit varier de beaucoup trop pour favoriser le système manuel.

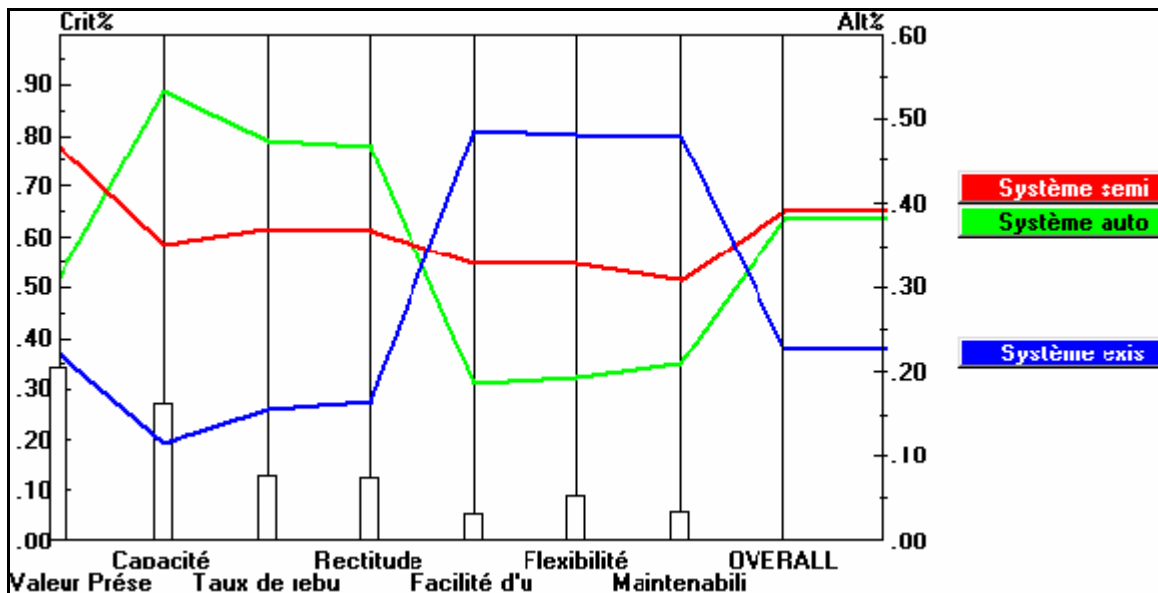


Figure 22: Graphe de performance de la synthèse de l'analyse AHP.

Par contre, les critères affectant le choix de la meilleure alternative sont analysés comme suit :

**La valeur présente :** en bas de 30%, c'est le système automatique qui devient la meilleure alternative. Donc, une révision de la pondération de seulement 3% inférieure pourrait changer le choix pour l'automatisation complète.

**La capacité :** Pour ce critère, le système automatique est la meilleure alternative pour des poids supérieurs à 29.6%, et ce, pour une légère variation positive de 3% encore.

Pour **le taux de rebut** et **la rectitude**, ils influencent le choix final de la même façon, soit si le poids de ces deux critères est supérieur à 16 % (variation de 4 %). Le système automatique est le meilleur choix dans ces cas.

En résumé, l'entreprise l'analyse propose de changer son système existant mais le choix entre le système automatique et celui semi-automatique demeure sensible aux poids accordés aux critères énoncés ci-avant. Si les décideurs sont confiants de leur pondération initiale, ils doivent choisir le système semi-automatique; autrement, l'automatisation complète deviendra leur solution.

Fichier AHP : D:\ projet Remise(dem 2000).AHP

### **Exemple 3: Problème d'un choix d'une machine d'analyse de carte électronique.**

Une multinationale fabrique des cartes électroniques entrant dans la composition des ordinateurs et des systèmes de télécommunication. Afin de s'assurer de fournir des produits de qualité à ses clients, le département de l'ingénierie a décidé d'entreprendre une évaluation de trois nouvelles machines automatique d'inspection optique. Les trois fabricants dont les machines seront évaluées sont : **Orbotech, Teradyne** et **MVP**.

Description des alternatives de solution :

#### **1) Orbotech (VT-8000)**



**Figure 23 : Système AOI de Orbotech (VT-8000)**

La machine VT-8000 utilise un processeur Pentium et roule sur un système OS2 Warp.

<b>Prix du VT-8000 de Orbotech</b>	
<i>Système de base</i>	225 000 (\$)
<i>Station de réparation</i>	6 000 (\$)
<i>Station hors-ligne</i>	14 260 (\$)

**Tableau 17 : Prix du VT-8000 de Orbotech**

En tenant compte de la qualité d'inspection ainsi de la vitesse d'inspection, nous obtenons les recettes (profits générés) et les dépenses annuelles (réparations, salaire de l'opérateur, coût de maintenance) suivantes :

<b>Recettes, dépenses et valeur résiduelle</b>	
<i>Recettes annuelles</i>	120 000 (\$)
<i>Dépenses annuelles</i>	35 000 (\$)
<i>Valeur résiduelle (après 5 ans)</i>	80 000 (\$)

**Tableau 18: Recettes, dépenses et valeur résiduelle du VT-8000**

## **2) Teradyne (Série 5539)**

Ce système roule sur le système Windows NT et a une interface graphique de Teradyne. Le plus importante caractéristique de cette machine est l'installation de caméras sur les côtés car cela augmente la qualité d'inspection.

<b>Prix du Série 5539 de Teradyne</b>	
<i>Système de base</i>	217 260 (\$)
<i>Station de réparation</i>	8 500 (\$)
<i>Station hors-ligne</i>	7 800 (\$)

**Tableau 19 - Prix du Série 5539 de Teradyne**

En tenant compte de la qualité et de la vitesse d'inspection, nous obtenons les recettes et les dépenses annuelles suivantes :

<b>Recettes, dépenses et valeur résiduelle</b>	
<i>Recettes annuelles</i>	78 000 (\$)
<i>Dépenses annuelles</i>	25 000 (\$)
<i>Valeur résiduelle (après 5 ans)</i>	55 000 (\$)

**Tableau 20 - Recettes, dépenses et valeur résiduelle du Série 5539**



### 3) MVP (AutoInspector 1820)



**Figure 24 : Système AOI de MVP (AutoInspector 1820)**

Le système AutoInspector 1820 fonctionne sur une plate-forme UNIX.

<b>Prix du AutoInspector 1820 de MVP</b>	
<i>Système de base</i>	178 000 (\$)
<i>Station de réparation</i>	13 500 (\$)
<i>Station hors-ligne</i>	19 500 (\$)

**Tableau 21- Prix du AutoInspector 1820 de MVP**

<b>Recettes, dépenses et valeur résiduelle</b>	
<i>Recettes annuelles</i>	70 000 (\$)
<i>Dépenses annuelles</i>	25 000 (\$)
<i>Valeur résiduelle (après 5 ans)</i>	55 000 (\$)

**Tableau 22 : Recettes, dépenses et valeur résiduelle du AutoInspector 1820**

Paramètres utilisés dans l'analyse de rentabilité :

<b>Sommaire des paramètres de l'analyse</b>	
<b>Durée de vie (n)</b>	5 ans
<b>Taux d'imposition</b>	40 %
<b>Amortissement</b>	Méthode de solde dégressif (k = 30 %) en appliquant la règle de la demi-année
<b>Avoirs propres</b>	100 000 (\$)
<b>Emprunt à un taux annuel de 10 %</b>	Balance de l'achat Mode de remboursement : - Intérêt à la fin de chaque année - Capital à la fin de la cinquième année
<b>Taux de rendement minimal (TRAM) après impôt</b>	15 %

**Tableau 23 : Sommaire des paramètres de l'analyse de rentabilité**

L'analyse de rentabilité après impôt a été effectuée pour les 3 machines. Pour mieux représenter les résultats, l'analyse a été réalisée à l'aide du chiffrier Excel.

**Orbotech (VT-8000)**

<b>Prix de la machine</b>	<b>\$245,260.00*</b>	Amortissement (solde dégressif K=30%, règle de la demi-année)					
<b>Valeur résiduelle</b>	<b>\$80,000.00*</b>						
<b>Recettes</b>	<b>\$280,000.00*</b>	<b>Année</b>	<b>VLn</b>	<b>Dn</b>			
<b>Dépenses</b>	<b>\$160,000.00*</b>	<b>0</b>	<b>\$245,260.00</b>				
<b>Avoirs propres</b>	<b>\$100,000.00</b>	<b>1</b>	<b>\$208,471.00</b>	<b>\$36,789.00</b>			
<b>Emprunt</b>	<b>\$145,260.00</b>	<b>2</b>	<b>\$145,929.70</b>	<b>\$62,541.30</b>			
<b>Taux annuel</b>	<b>10%</b>	<b>3</b>	<b>\$102,150.79</b>	<b>\$43,778.91</b>			
<b>Taux d'imposition</b>	<b>40%</b>	<b>4</b>	<b>\$71,505.55</b>	<b>\$30,645.24</b>			
<b>TRAM</b>	<b>15%</b>	<b>5</b>	<b>\$50,053.89</b>	<b>\$21,451.67</b>			
<b>Solde dégressif (K)</b>	<b>30%</b>						
<b>Année</b>	<b>Flux avant impôt</b>	<b>Emprunt</b>	<b>Intérêt</b>	<b>Amortissement</b>	<b>Revenu imposable</b>	<b>Flux des impôts</b>	<b>Flux après impôt</b>
<b>0</b>	<b>-\$245,260.00</b>	<b>\$145,260.00</b>					<b>-\$100,000.00</b>
<b>1</b>	<b>\$120,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$14,526.00</b>	<b>-\$36,789.00</b>	<b>\$68,685.00</b>	<b>-\$27,474.00</b>	<b>\$78,000.00</b>
<b>2</b>	<b>\$120,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$14,526.00</b>	<b>-\$62,541.30</b>	<b>\$42,932.70</b>	<b>-\$17,173.08</b>	<b>\$88,300.92</b>
<b>3</b>	<b>\$120,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$14,526.00</b>	<b>-\$43,778.91</b>	<b>\$61,695.09</b>	<b>-\$24,678.04</b>	<b>\$80,795.96</b>
<b>4</b>	<b>\$120,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$14,526.00</b>	<b>-\$30,645.24</b>	<b>\$74,828.76</b>	<b>-\$29,931.51</b>	<b>\$75,542.49</b>
<b>5</b>	<b>\$120,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$14,526.00</b>	<b>-\$21,451.67</b>	<b>\$84,022.33</b>	<b>-\$33,608.93</b>	<b>\$71,865.07</b>
<b>5</b>	<b>\$80,000.00</b>	<b>-\$145,260.00</b>		<b>-\$50,053.89</b>	<b>\$29,946.11</b>	<b>-\$11,978.45</b>	<b>-\$77,238.45</b>
<b>Valeur présente</b>	<b>\$128,239.16</b>						

**Tableau 24 : Analyse de rentabilité après impôt pour Orbotech (VT-8000)**

**Teradyne (Série 5539)**

<b>Prix de la machine</b>	<b>\$233,560.00*</b>	Amortissement (solde dégressif K=30%, règle de la demi-année)					
<b>Valeur résiduelle</b>	<b>\$55,000.00*</b>						
<b>Recettes</b>	<b>\$215,000.00*</b>	<b>Année</b>	<b>VLn</b>	<b>dn</b>			
<b>Dépenses</b>	<b>\$125,000.00*</b>	<b>0</b>	<b>\$233,560.00</b>				
<b>Avoirs propres</b>	<b>\$100,000.00</b>	<b>1</b>	<b>\$198,526.00</b>	<b>\$35,034.00</b>			
<b>Emprunt</b>	<b>\$133,560.00</b>	<b>2</b>	<b>\$138,968.20</b>	<b>\$59,557.80</b>			
<b>Taux annuel</b>	<b>10%</b>	<b>3</b>	<b>\$97,277.74</b>	<b>\$41,690.46</b>			
<b>Taux d'imposition</b>	<b>40%</b>	<b>4</b>	<b>\$68,094.42</b>	<b>\$29,183.32</b>			
<b>TRAM</b>	<b>15%</b>	<b>5</b>	<b>\$47,666.09</b>	<b>\$20,428.33</b>			
<b>Solde dégressif (K)</b>	<b>30%</b>						
<b>Année</b>	<b>Flux avant impôt</b>	<b>Emprunt</b>	<b>Intérêt</b>	<b>Amortissement</b>	<b>Revenu imposable</b>	<b>Flux des impôts</b>	<b>Flux après impôt</b>
<b>0</b>	<b>-\$233,560.00</b>	<b>\$133,560.00</b>					<b>-\$100,000.00</b>
<b>1</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$13,356.00</b>	<b>-\$35,034.00</b>	<b>\$41,610.00</b>	<b>-\$16,644.00</b>	<b>\$60,000.00</b>
<b>2</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$13,356.00</b>	<b>-\$59,557.80</b>	<b>\$17,086.20</b>	<b>-\$6,834.48</b>	<b>\$69,809.52</b>
<b>3</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$13,356.00</b>	<b>-\$41,690.46</b>	<b>\$34,953.54</b>	<b>-\$13,981.42</b>	<b>\$62,662.58</b>
<b>4</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$13,356.00</b>	<b>-\$29,183.32</b>	<b>\$47,460.68</b>	<b>-\$18,984.27</b>	<b>\$57,659.73</b>
<b>5</b>	<b>\$90,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$13,356.00</b>	<b>-\$20,428.33</b>	<b>\$56,215.67</b>	<b>-\$22,486.27</b>	<b>\$54,157.73</b>
<b>5</b>	<b>\$55,000.00</b>	<b>-\$133,560.00</b>		<b>-\$47,666.09</b>	<b>\$7,333.91</b>	<b>-\$2,933.56</b>	<b>-\$81,493.56</b>
<b>Valeur présente</b>	<b>\$65,537.99</b>						

**Tableau 25 : Analyse de rentabilité après impôt pour Teradyne (Série 5539)**

*MVP (AutoInspector 1820)*

<b>Prix de la machine</b>	<b>\$211,000.00*</b>	Amortissement (solde dégressif K=30%, règle de la demi-année)					
<b>Valeur résiduelle</b>	<b>\$55,000.00*</b>						
<b>Recettes</b>	<b>\$220,000.00*</b>	<b>Année</b>	<b>VLn</b>	<b>dn</b>			
<b>Dépenses</b>	<b>\$125,000.00*</b>	<b>0</b>	<b>\$211,000.00</b>				
<b>Avoirs propres</b>	<b>\$100,000.00</b>	<b>1</b>	<b>\$179,350.00</b>	<b>\$31,650.00</b>			
<b>Emprunt</b>	<b>\$111,000.00</b>	<b>2</b>	<b>\$125,545.00</b>	<b>\$53,805.00</b>			
<b>Taux annuel</b>	<b>10%</b>	<b>3</b>	<b>\$87,881.50</b>	<b>\$37,663.50</b>			
<b>Taux d'imposition</b>	<b>40%</b>	<b>4</b>	<b>\$61,517.05</b>	<b>\$26,364.45</b>			
<b>TRAM</b>	<b>15%</b>	<b>5</b>	<b>\$43,061.94</b>	<b>\$18,455.12</b>			
<b>Solde dégressif (K)</b>	<b>30%</b>						
Année	Flux avant impôt	Emprunt	Intérêt	Amortissement	Revenu imposable	Flux des impôts	Flux après impôt
<b>0</b>	<b>-\$211,000.00</b>	<b>\$111,000.00</b>					<b>-\$100,000.00</b>
<b>1</b>	<b>\$95,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$11,100.00</b>	<b>-\$31,650.00</b>	<b>\$52,250.00</b>	<b>-\$20,900.00</b>	<b>\$63,000.00</b>
<b>2</b>	<b>\$95,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$11,100.00</b>	<b>-\$53,805.00</b>	<b>\$30,095.00</b>	<b>-\$12,038.00</b>	<b>\$71,862.00</b>
<b>3</b>	<b>\$95,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$11,100.00</b>	<b>-\$37,663.50</b>	<b>\$46,236.50</b>	<b>-\$18,494.60</b>	<b>\$65,405.40</b>
<b>4</b>	<b>\$95,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$11,100.00</b>	<b>-\$26,364.45</b>	<b>\$57,535.55</b>	<b>-\$23,014.22</b>	<b>\$60,885.78</b>
<b>5</b>	<b>\$95,000.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$11,100.00</b>	<b>-\$18,455.12</b>	<b>\$65,444.89</b>	<b>-\$26,177.95</b>	<b>\$57,722.05</b>
<b>5</b>	<b>\$55,000.00</b>	<b>-\$111,000.00</b>		<b>-\$43,061.94</b>	<b>\$11,938.07</b>	<b>-\$4,775.23</b>	<b>-\$60,775.23</b>
<b>Valeur présente</b>	<b>\$85,419.47</b>						

**Tableau 26 : Analyse de rentabilité après impôt pour MVP (AutoInspector 1820)**

**Machine de Orbotech : VP = 128 239.16 (\$)**

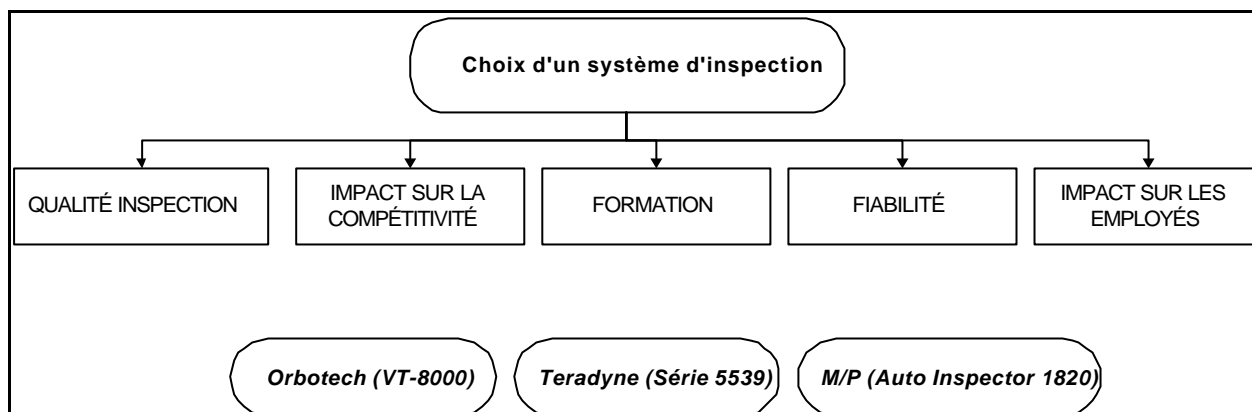
**Machine de Teradyne : VP = 65 537.99 (\$)**

**Machine de MVP : VP = 85 419.47 (\$)**

La machine de **Orbotech** offre la valeur présente la plus élevée représente le meilleur choix selon l'analyse de rentabilité..

Analyse multicritère AHP :

Les dirigeants de l'entreprise ne veulent pas baser leur choix uniquement sur le critère économique. Les critères de décision furent établis par ses décideurs et sont décrits ci-dessous :



**Figure 25 : Modèle hiérarchique d'un choix de système d'inspection de cartes électroniques.**

**Qualité d'inspection des cartes électroniques :** La machine effectue l'inspection des cartes par rapport aux soudures et à la présence des composants électroniques sur la carte.

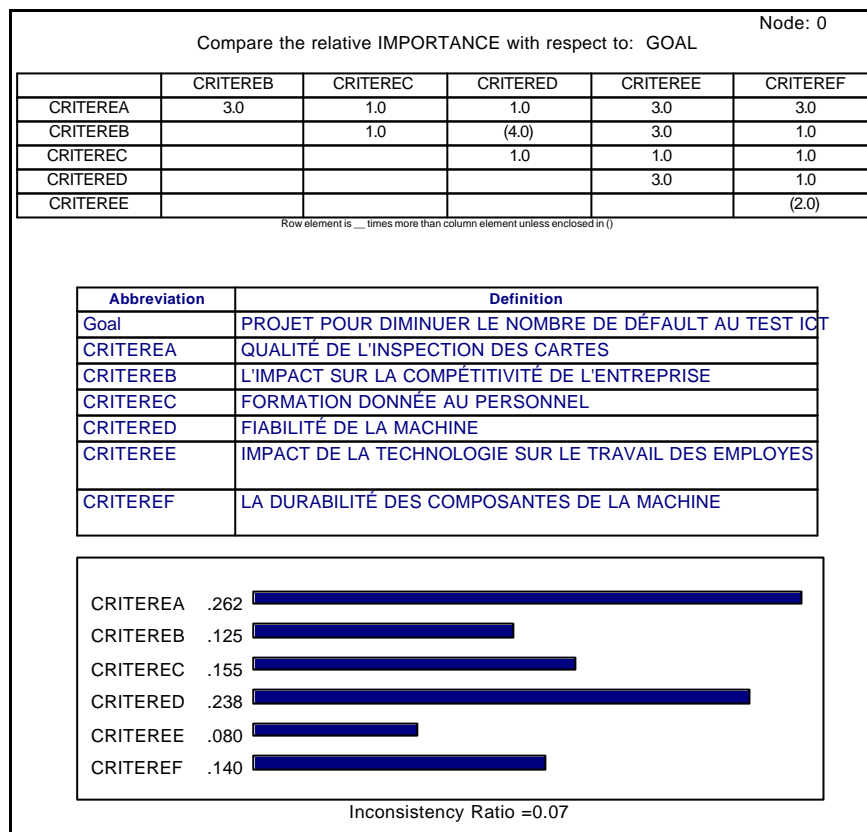
**L'impact sur la compétitivité de l'entreprise:** Est-ce que la machine choisie aura une influence sur la concurrence ? Un impact positif aura pour effet de gagner de nouveaux clients.

**La formation du personnel :** C'est le temps qui sera alloué à la formation du personnel pour lors de l'implantation de la machine.

**La fiabilité de la machine:** La fiabilité de la machine se traduit par les caractéristiques de maintenabilité de son système en terme de temps moyen de bon fonctionnement et temps moyen de réparation?

**L'impact de la technologie sur les employés:** L'effet de l'implantation de la nouvelle technologie sur le travail des employés. On peut rencontrer de la résistance au changement.

L'analyse de la matrice de comparaison binaire donne les résultats suivants :



**Figure 26 : Matrice de comparaison binaire des critères.**

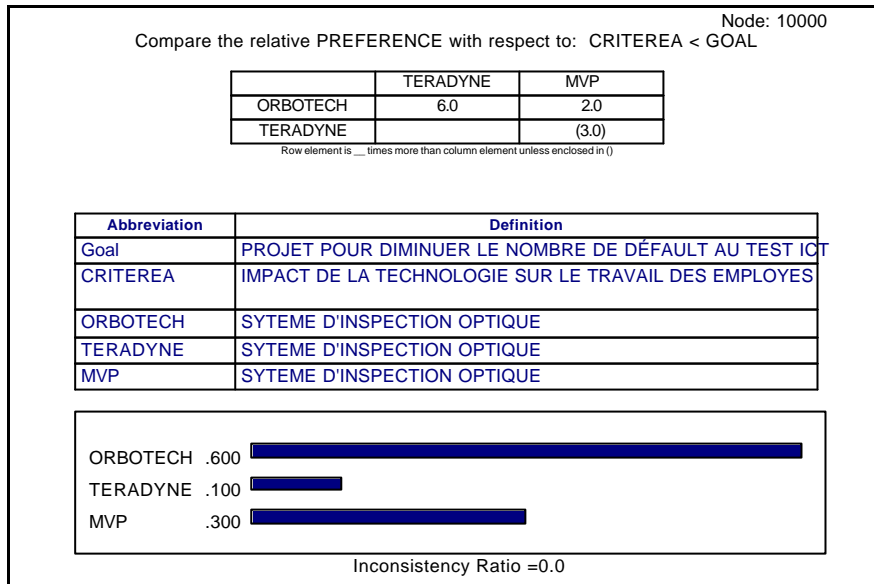
Le ratio de cohérence fut de 0.07 ce qui peut être jugé acceptable ( $< 0.10$ ). On peut constater que le critère de la qualité de l'inspection des cartes électroniques (critère A) est le plus important pour l'évaluation des trois machines car l'entreprise désire être plus compétitive avec ce critère sur le marché.

Le critère de la fiabilité de la machine (critère D) vient en deuxième place, ce qui est tout à fait normal, car cela évitera à l'entreprise des dépenses supplémentaires pour la réparation de la machine.

Les critères (C) et (F) ont presque le même degré d'influence sur l'évaluation des trois machines, car avec une nouvelle machine, l'entreprise aura besoin d'un personnel qualifié pour optimiser le taux d'utilisation. De plus, elle recherche une machine fiable qui nécessite un minimum de risque de pannes étant donné les délais de livraison de plus en plus exigeants.

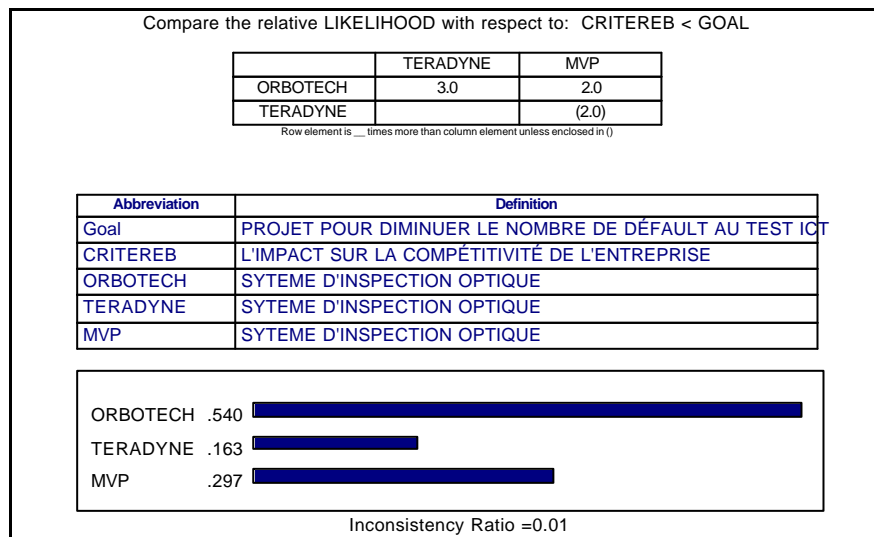
Enfin, les critères (B) et (E) viennent en dernier. Il faut noter que le critère (B) se démarque de façon significative du critère de l'impact de la technologie sur le travail des employés (E).

Matrice de pondération des alternatives par rapport à chaque critère :



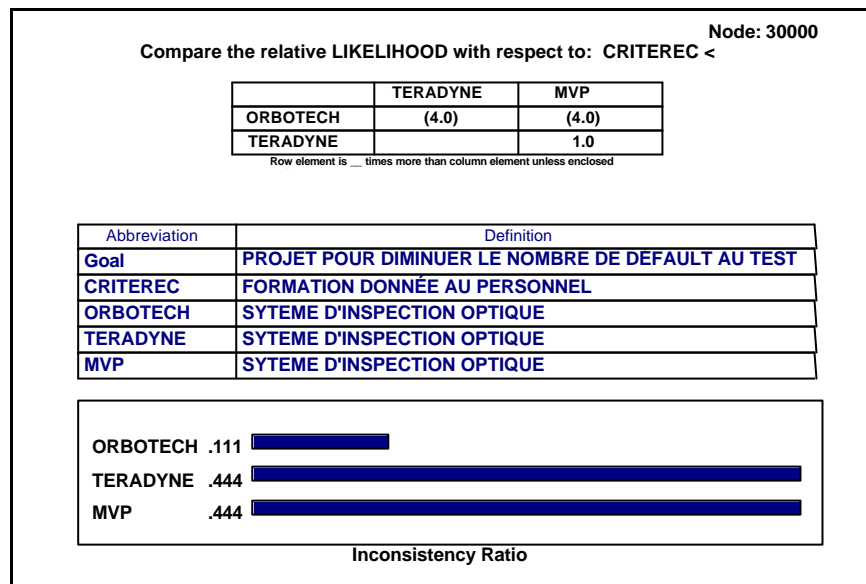
**Figure 27 : Matrice du critère de la qualité d'inspection des cartes**

L'analyse du critère de la qualité de l'inspection des cartes montre que la machine d'inspection automatique optique de la compagnie **Orbotech** est la plus appropriée.



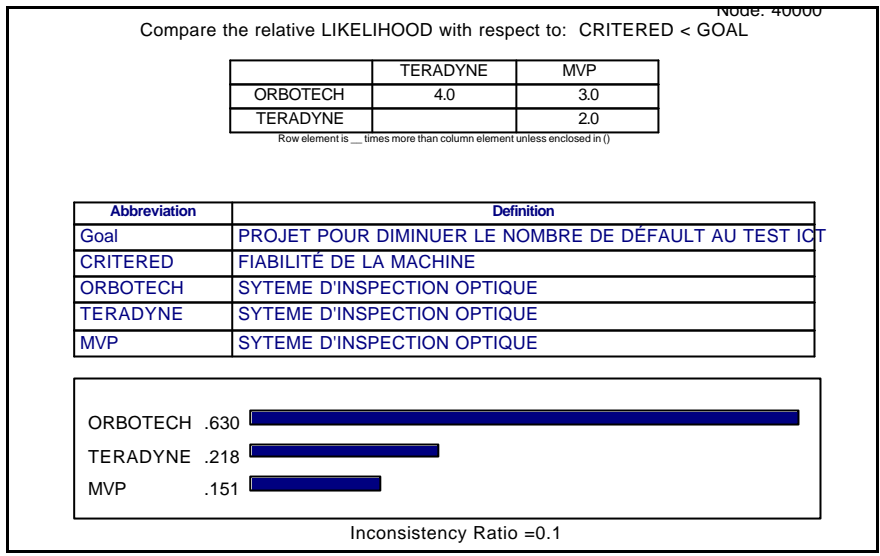
**Figure 28: Matrice du critère de l'impact sur la compétitivité de l'entreprise**

Avec un ratio très acceptable de 1%, l'analyse du critère B démontre que la machine de **Orbotech** est nettement supérieure aux autres machines, avec un pourcentage de 54% par rapport à 16% et 30%



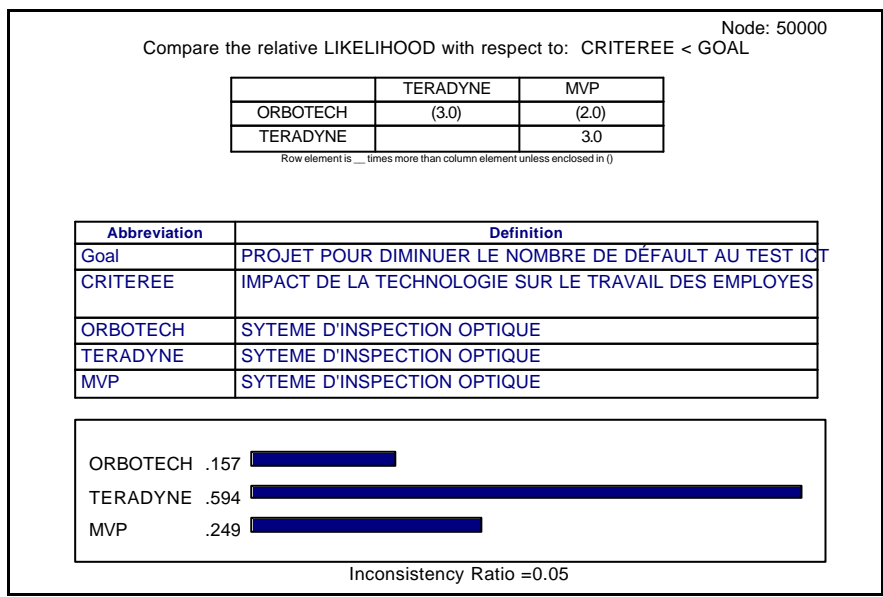
**Figure 29 : Matrice du critère de la formation du personnel**

Le ratio de cohérence pour ce critère est de zéro. Les machines des compagnies **Teradyne** et **MVP** sont d'une importance égale avec un même pourcentage (44%). Ils dominent de loin la machine de la compagnie **Orbotech**. Les deux machines **Teradyne** et **MVP** demandent une formation moins ardue du personnel, ce qui représentera des coûts moindres pour la compagnie **SCI**.



**Figure 30 : Matrice du critère de la fiabilité de la machine**

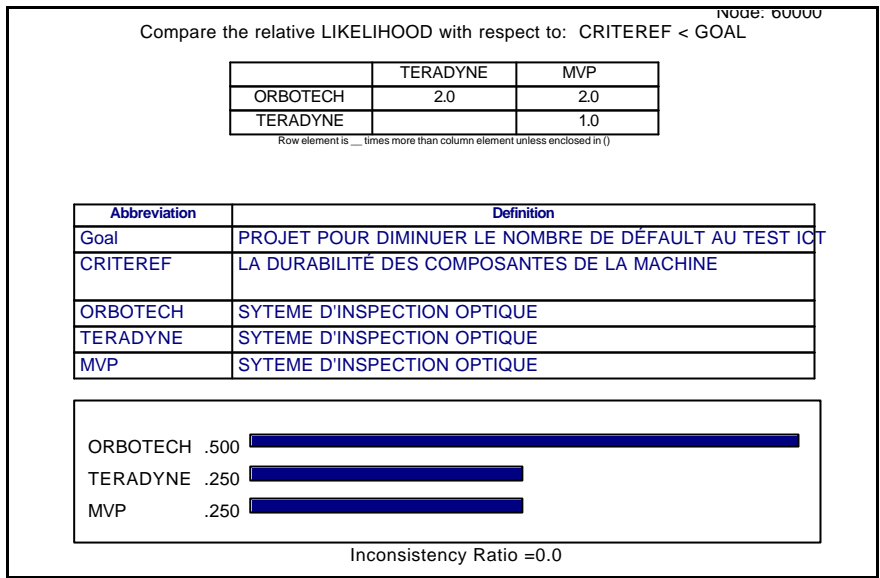
Avec ce critère, on remarque que la machine de la compagnie **Orbotech** domine les autres machines avec un pourcentage de 63%. Le ratio de cohérence est à la limite de l'acceptabilité(0.1).



**Figure 31: Matrice du critère de l'impact de la technologie sur le travail des employés**

Avec ce critère, la machine **Teradyne** domine les autres machines car elle est plus conviviale. Le ratio de cohérence est ici de 5% ce qui est largement acceptable.

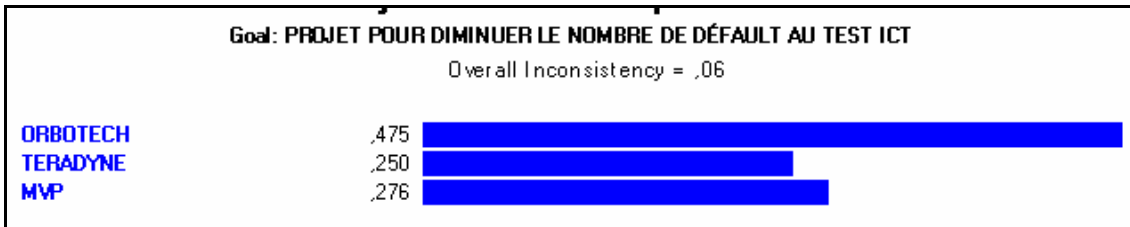




**Figure 32 : Matrice du critère de la durabilité des composantes de la machine**

L'analyse du critère de la durabilité des composantes de la machine (figure 32) démontre que la machine de la compagnie **Orbotech** est nettement supérieure aux autres projets avec un pourcentage de 50% par rapport à 25%.

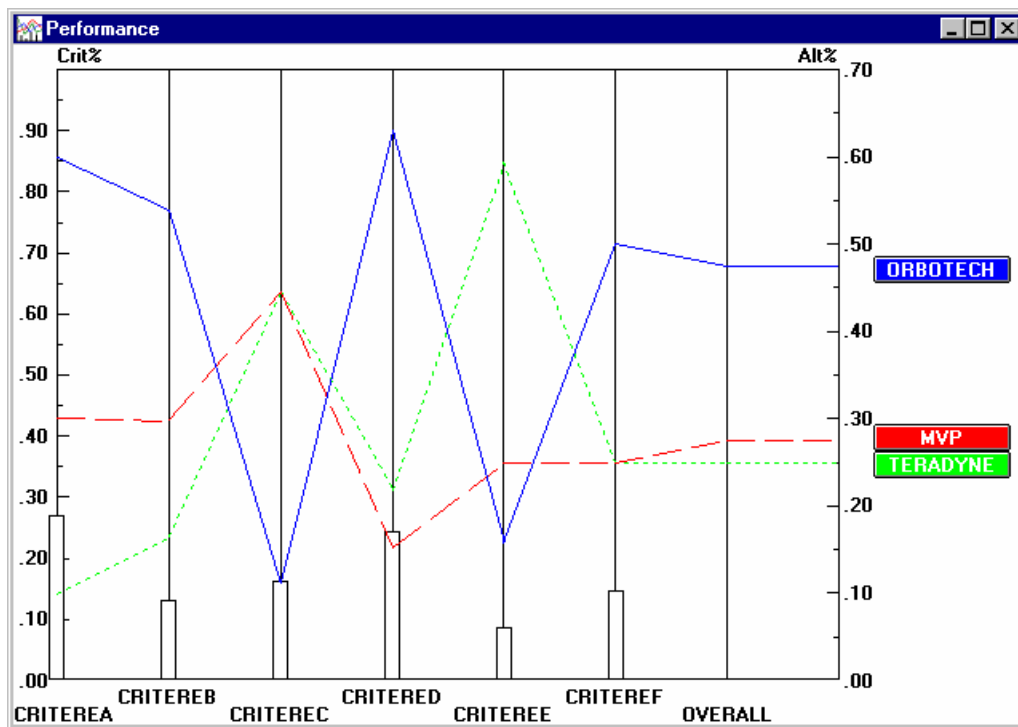
De cette analyse, on peut affirmer que la machine **Orbotech** est la meilleure option pour l'entreprise avec un poids de 47.5% tel que le démontre la figure 33.



**Figure 33 : Vecteur global de priorité des alternatives.**

### Analyse de sensibilité :

En analysant la variation des poids des critères sur le graphique de performance, on remarque que la machine **Orbotech** n'est pas toujours la meilleure machine, car en modifiant les paramètres C et E, les machines des compagnies **MVP** et **Teradyne** dépassent la machine **Orbotech**.



**Figure 34 : Graphique de performance de la synthèse de l'AHP.**

Les observations suivantes ont été faites :

Si on augmente le pourcentage du critère C de 15,5% à 48%:

Choix de la machine Orbotech : diminue

Choix de la machine MVP : **augmente et devient 1<sup>er</sup>**

Choix de la machine Teradyne : augmente

Si on augmente le pourcentage du critère E de 8 à 39 %:

Choix de la machine Orbotech : diminue

Choix de la machine MVP : diminue

Choix de la machine Teradyne : **augmente et devient 1<sup>er</sup>**

On remarque que pour déclasser Orbotech, il faut une variation considérable des poids des critères analysés. Or, un choix fiable et robuste est fait si la pondération possède un intervalle de confiance élevé. Le choix de Orbotech peut donc représenter un choix robuste car les variations observées sont beaucoup trop grande. Ainsi, même si les poids des critères changent de quelques peu, le premier choix ne changera pas.

Fichier AHP : D:\ projet\_syst\_inspection.ahp

#### **Exemple 4: Choix d'une nouvelle ligne de montage de groupes électrogènes**

Ce projet vise la mise en place d'une nouvelle ligne de montage pour la fabrication de groupes électrogènes au sein d'une société française. Cette entreprise française est située au 3<sup>ème</sup> rang mondial des fabricants de groupes électrogènes. Actuellement, la fabrication d'une partie des groupes de moyenne puissance est implantée sur Réaumur alors que l'autre usine nommée K2 à Brest en produit également et possède des installations plus modernes et à la fois plus d'espace. Trois alternatives principales s'offrent à la société:

- 1. Des installations plus modernes sont implantées à Réaumur dans le but d'améliorer la productivité en remplacement de l'ancienne chaîne de montage et des vieux équipements.**
- 2. La production de moyenne puissance de l'usine Réaumur est rapatriée sur le site K2 et est insérée à la ligne de montage actuellement en place mais qui subit déjà un fort taux d'utilisation dans les périodes de forte demande (nombre limité de plate-formes). Il faudrait donc implanter une chaîne de montage en parallèle des installations existantes.**
- 3. La direction décide d'implanter une nouvelle chaîne de montage spécifique aux groupes de moyenne puissance capable d'accueillir la production globale actuelle de K2 et Réaumur. La direction souhaiterait également que cette chaîne soit capable d'accueillir d'autres types de groupes électrogènes afin d'être en mesure de respecter les commandes pour tous les types de groupes dans les périodes de forte demande.**

L'étude est réalisée, dans un premier temps, avant impôt et s'il y a lieu après impôt et sur 15 ans.

### ***Calculs pour la 1<sup>ère</sup> alternative :***

Détail de l'investissement :

- Convoyeur (22 longueurs de 10 pieds, soit 220 pieds à 600 \$/pied) : 132 000 \$
- 4 courbes (5 000 \$/unité) : 20 000 \$
- 23 supports au prix unitaire de 75 \$ : 1 725 \$
- Les prestations techniques pour l'installation: 61 490 \$.
- Moteur du convoyeur : 7 000 \$.

12 postes de travail, ce qui se décompose ainsi :

- Acquisition de tables de travail au prix unitaire de 350 \$ : 4200 \$
- Acquisition de support pour les outils au prix unitaire de 130 \$ : 1560 \$
- Acquisition de rail porte bacs au prix unitaire de 65 \$ : 780 \$
- Acquisition de tablettes au prix unitaire de 50 \$ : 600 \$
- Acquisition de panneaux perforés au prix unitaire de 70 \$ : 840 \$
- Outillage pour 12 personnes : 11 400 \$

En considérant ces différents éléments, l'investissement initial s'élève à **241 595 \$**.

Détail des coûts et revenus annuels :

Le convoyeur et le moteur engendrent des coûts d'entretien de :

- 13 000 \$ / an pour le convoyeur
- 900 \$ / an pour le moteur

D'un autre côté, l'amélioration des temps entraîne une modification de la production et par conséquent, une baisse dans le coût de main d'œuvre. Le gain s'élève à 1,4 heures par groupe sachant que l'ouvrier est payé 140 F/h (33,33 \$/h), ceci revient à une économie de 46,67 \$ (1,4\*33,33) par groupe.

Le moteur ayant une durée de vie de 7 ans et une valeur de récupération de 1 000 \$, on a un produit de disposition à la 7<sup>me</sup> année de 1 000 \$. De plus, il est nécessaire d'acheter un nouveau moteur à la 8<sup>ème</sup> année d'où un investissement de 7 000 \$ cette année-là.

Finalement, après 15 ans, le convoyeur est estimé avoir une valeur équivalente à 20% de sa valeur initiale et le moteur une valeur de récupération de 1 000 \$. Ce qui revient à un produit de disposition de **31745\$**.

Détail de l'amortissement :

Les biens amortissables de notre étude sont : le convoyeur, les postes de travail, l'outillage, les moteurs. Ceux-ci entrent tous dans la catégorie fiscale 8, c'est-à-dire que l'on utilise la méthode d'amortissement à solde dégressif avec un taux maximal de 20%.

Pour savoir si, à la fin des 15 années, chacun des éléments entraîne une perte ou un gain, nous calculons la valeur au livre de chaque équipement et nous comparons avec la valeur de récupération, ce qui nous donne :

	Valeur aux livres	Valeur de récupération	Perte / Gain
Convoyeur	5 408,72 \$	30 745,00 \$	25 336,28 \$
Postes de travail	280,77 \$	280,77 \$	0,00 \$
Outillage	401,10 \$	2 280,00 \$	1 878,90 \$
Moteur	1 468,01 \$	1 000 \$	-468,01 \$

Dans le cas particulier des moteurs, on a aussi une valeur aux livres pour le moteur 1 à la 7<sup>ème</sup> année de 1468,01 \$ et une valeur de récupération de 1 000 \$.

Pour les valeurs de récupération, nous avons estimé que le convoyeur et l'outillage avaient une valeur correspondant à 20% de leur valeur d'acquisition au bout de 15 ans ; par contre, les postes de travail ont une valeur de récupération équivalente à la valeur aux livres ; quant aux moteurs, leur valeur de récupération est fixée à 1 000 \$ chacun après 7 ans.

A la fin de la 7<sup>ème</sup> année et de la 15<sup>ème</sup> année, il n'y a pas aliénation des biens de la catégorie, donc en fonction des résultats (gain ou perte) aux années 7 et 15, nous devons déterminer la valeur présente des économies d'impôt dans le cas d'une perte et des sommes dues aux impôts dans le cas d'un gain, tout ceci suite à l'amortissement des années précédentes.



$$VP = -241\,595 + R1.(P/F,10\%,1) + R2.(P/F,10\%,2) + R3.(P/F,10\%,3) + R4.(P/F,10\%,4) + R5.(P/F,10\%,5) + R6.(P/F,10\%,6) + R7.(P/F,10\%,7) + R8.(P/F,10\%,8) + R9.(P/F,10\%,9) + R10.(P/F,10\%,10) + R11.(P/F,10\%,11) + R12.(P/F,10\%,12) + R13.(P/F,10\%,13) + R14.(P/F,10\%,14) + 64\,294,72.(P/F,10\%,15)$$
 La valeur présente après impôt s'élève donc à : **52 528,68 \$**

### *Calculs pour la 2<sup>ème</sup> alternative*

Détail de l'investissement :

- Convoyeur: 132 000 \$
- 23 supports au prix unitaire de 75 \$ : 1 725 \$
- Installation du convoyeur: 53 490 \$.
- Moteur du convoyeur : dont le prix s'élève à 7 000 \$.

Il faut également adapter 12 postes de travail, ce qui se décompose ainsi :

- Acquisition de tables de travail au prix unitaire de 350 \$ : 4200 \$
- Acquisition de support pour les outils au prix unitaire de 130 \$ : 1560 \$
- Acquisition de rail porte bacs au prix unitaire de 65 \$ : 780 \$
- Acquisition de tablettes au prix unitaire de 50 \$ : 600 \$
- Acquisition de panneaux perforés au prix unitaire de 70 \$ : 840 \$
- Outillage : 11 400 \$
- Travaux d'aménagement : 250 000 \$.
- Zone de stockage (étagères, poutres, montants, etc..) : 17082,00 \$.

En considérant ces différents éléments, l'investissement initial s'élève à **480 677 \$**.

Détail des coûts et revenus annuels :

Le convoyeur et le moteur engendrent des coûts d'entretien de :

- 13 000 \$ / an pour le convoyeur
- 900 \$ / an pour le moteur

D'un autre côté, l'amélioration des temps entraîne une modification de la production et par conséquent, une baisse dans le coût de main d'œuvre. Le gain s'élève à 1,4 heures par groupe sachant que l'on gagne 100 F/h (23,81 \$/h), ceci revient à une économie de 33,33 \$ (1,4\*23,81) par groupe. Dans cette alternative, il y a aussi des économies relatives à la disparition des navettes vers Réaumur. Celles-ci s'élèvent à 2,38 \$ par groupe.

Le moteur ayant une durée de vie de 7 ans et une valeur de récupération de 1 000 \$, on a un produit de disposition à la 7<sup>me</sup> année de 1 000 \$. De plus, il est nécessaire d'acheter un nouveau moteur à la 8<sup>me</sup> année d'où un investissement de 7 000 \$ cette année-là.

Finalement, après 15 ans, le convoyeur est estimé avoir une valeur équivalente à 20% de sa valeur initiale et le moteur une valeur de récupération de 1 000 \$. Ce qui revient à un produit de disposition de **27745\$**.

Ceci nous permet de calculer la valeur présente sachant que le TRAM de l'entreprise est de 10% :

Année	Investissement	Coûts/an	Revenus/an	Val. Récup.	Total cash flow
0	480677,00				-480 677,00 \$
1		13900,00	45476,07		31 576,07 \$
2		13900,00	46547,50		32 647,50 \$
3		13900,00	47618,93		33 718,93 \$
4		13900,00	48690,36		34 790,36 \$
5		13900,00	49761,79		35 861,79 \$
6		13900,00	50833,21		36 933,21 \$
7		13900,00	51904,64	1000,00	39 004,64 \$
8	7000,00	13900,00	52976,07		32 076,07 \$
9		13900,00	54047,50		40 147,50 \$
10		13900,00	55118,93		41 218,93 \$
11		13900,00	56190,36		42 290,36 \$
12		13900,00	57261,79		43 361,79 \$
13		13900,00	58333,21		44 433,21 \$
14		13900,00	59404,64		45 504,64 \$
15		13900,00	60476,07	27745,00	74 321,07 \$

$$VP = -480\ 677 + R1.(P/F,10\%,1) + R2.(P/F,10\%,2) + R3.(P/F,10\%,3) + R4.(P/F,10\%,4) + R5.(P/F,10\%,5) + R6.(P/F,10\%,6) + R7.(P/F,10\%,7) + R8.(P/F,10\%,8) + R9.(P/F,10\%,9) + R10.(P/F,10\%,10) + R11.(P/F,10\%,11) + R12.(P/F,10\%,12) + R13.(P/F,10\%,13) + R14.(P/F,10\%,14) + 74\ 321,07.(P/F,10\%,15)$$

La valeur présente avant impôt s'élève donc à : - **193 598,23 \$**

Celle-ci étant négative, le projet n'est pas rentable avant impôt. L'analyse avant impôt donnant un résultat non rentable, il n'est pas nécessaire d'effectuer l'analyse après impôt. En effet, cette alternative peut être éliminée dès la fin de l'analyse avant impôt.



### *Calculs pour la 3<sup>ème</sup> alternative*

Détail de l'investissement :

- 8 convoyeurs : 852 000 \$
- 4 courbes au prix unitaire de 5 000 \$ : 20 000 \$
- 2 embranchements Y au prix unitaire de 2 000\$ : 4 000\$
- 149 supports au prix unitaire de 75 \$ : 11 175 \$
- L'installation du convoyeur : 353 270 \$.
- Moteurs du convoyeur : 56 000 \$.

Il faut également adapter 82 postes de travail, ce qui se décompose ainsi :

- Acquisition de tables de travail au prix unitaire de 350 \$ : 28 700 \$
- Acquisition de support pour les outils au prix unitaire de 130 \$ : 10 660 \$
- Acquisition de rail porte bacs au prix unitaire de 65 \$ : 5 330 \$
- Acquisition de tablettes au prix unitaire de 50 \$ : 4 100 \$
- Acquisition de panneaux perforés au prix unitaire de 70 \$ : 5 740 \$
- Outillage des postes : 11 400 \$
- Travaux d'aménagement évalués à 400 000 \$
- Zone de stockage (étagères, poutres et montants): 17082,00 \$

Il y aura aussi récupération des 39 « skids » de K2, ce qui permet de récupérer 95,24 \$ pour chacun, soit un total de 3714,36 \$. En considérant ces différents éléments, l'investissement initial s'élève à **1 771 742,64 \$**.

Détail des coûts et revenus annuels :

Les convoyeurs et les moteurs engendrent des coûts d'entretien de :

- 13 000 \$ / an par convoyeur
- 900 \$ / an par moteur

D'un autre côté, l'amélioration des temps entraîne une modification de la production et par conséquent, une baisse dans le coût de main d'œuvre. Le gain s'élève à 1,4 heures par groupe sachant que les ouvriers sont payés 180 F/h (42,86 \$/h), ceci revient à une économie de 60 \$ (1,4\*42,86) par groupe.

Dans cette alternative, il y a aussi des économies relatives à la disparition des navettes vers Réaumur. Celles-ci s'élèvent à 2,38 \$ par groupe.

Les moteurs ayant une durée de vie de 7 ans et une valeur de récupération de 1 000 \$, on a un produit de disposition à la 7<sup>me</sup> année de 7 000 \$. De plus, il est nécessaire d'acheter un nouveau moteur à la 8<sup>me</sup> année d'où un investissement de 56 000 \$ cette année-là.

Finalement, après 15 ans, les convoyeurs sont estimés avoir une valeur équivalente à 20% de sa valeur initiale et les moteurs une valeur de récupération de 1 000 \$ chacun. Ce qui revient à un produit de disposition de **1 421 080 \$**.

Détail de l'amortissement :

Les biens amortissables de notre étude sont : les convoyeurs, les postes de travail, l'outillage, les moteurs. Ceux-ci entrent tous dans la catégorie fiscale 8, c'est-à-dire que l'on utilise la méthode d'amortissement à solde dégressif avec un taux maximal de 20%.

En ce qui concerne les moteurs, ils sont amortis chacun sur sept ans, par conséquent, dans le calcul global nous le même amortissement des années 1 à 7 pour le moteur 1 et des années 8 à 15 pour le moteur 2.

Pour savoir si, à la fin des 15 années, chacun des éléments entraîne une perte ou un gain, la valeur au livre de chaque équipement est calculée et comparée avec la valeur de récupération, ce qui donne :

	Valeur aux livres	Valeur de récupération	Perte / Gain
Convoyeur	31 073,96 \$	1 413 080,00 \$	1 382 006,04 \$
Postes de travail	1918,60 \$	1918,60 \$	0,00 \$
Outillage	401,10 \$	2 280,00 \$	1 878,90 \$
Moteur	11 744,05 \$	8 000 \$	-3 744,05 \$

Dans le cas particulier des moteurs, on a aussi une valeur aux livres pour le moteur 1 à la 7<sup>me</sup> année de 11 744,05 \$ et une valeur de récupération de 8 000 \$.

Pour les valeurs de récupération, nous avons estimé que le convoyeur et l'outillage avaient une valeur correspondant à 20% de leur valeur d'acquisition au bout de 15 ans ; par contre, les postes de travail ont une valeur de récupération équivalente à la valeur aux livres; quant aux moteurs, leur valeur de récupération est fixée à 1 000 \$ chacun après 7 ans.

A la fin de la 7<sup>ème</sup> année et de la 15<sup>ème</sup> année, il n'y a pas aliénation des biens de la catégorie, donc en fonction des résultats (gain ou perte) aux années 7 et 15, nous devons déterminer la valeur présente des économies d'impôt dans le cas d'une perte et des sommes dues aux impôts dans le cas d'un gain, tout ceci suite à l'amortissement des années précédentes.

La formule permettant de faire le calcul de cette valeur présente est :

$$VP = P * (t * K / (i + K))$$

où P est la perte ou le gain  
K = 20%  
t = 40% (taux d'imposition)  
i = 10% (TRAM)

A l'année 7, la revente du moteur engendre une perte de 3744,05 \$, ce qui donne à l'année 7, par la formule précédente, une valeur présente de : 998,41 \$.

A l'année 15, la revente de l'ensemble des équipements engendre un gain global de 1 380 140,89 \$, ce qui donne à l'année 15, par la formule précédente, une valeur présente de : - 368 037,57 \$.

Détail du remboursement de l'emprunt :

Étant donné le montant important de l'investissement, l'entreprise a décidé d'emprunter 800 000 \$ à un taux de 8% composé semestriellement. Ceci donne un taux d'intérêt annuel effectif de :  $ieff = (1 + 0.08/2)^2 - 1 = 8,16\%$ . Des remboursements égaux à chaque année durant 15 ans sont considérés. L'annuité s'élève à :  $A = 800\ 000 * (A/P, 8,16\%, 15) = \mathbf{94\ 378,72\ \$}$ .

Année	Emprunt	Intérêts	Remb.empr.	Reste
1	800000,00	65280,00	29098,72	770901,28
2	770901,28	62905,54	31473,18	739428,10
3	739428,10	60337,33	34041,39	705386,71
4	705386,71	57559,56	36819,17	668567,55
5	668567,55	54555,11	39823,61	628743,94
6	628743,94	51305,51	43073,22	585670,72
7	585670,72	47790,73	46587,99	539082,73
8	539082,73	43989,15	50389,57	488693,16
9	488693,16	39877,36	54501,36	434191,80
10	434191,80	35430,05	58948,67	375243,13
11	375243,13	30619,84	63758,88	311484,24
12	311484,24	25417,11	68961,61	242522,64
13	242522,64	19789,85	74588,87	167933,76
14	167933,76	13703,39	80675,33	87258,43
15	87258,43	7120,29	87258,43	0,00

La valeur présente est calculée au tableau suivant sachant que le TRAM de l'entreprise est de 10% :

Année	Flux av. impôt	Emprunt	Intérêts	Amort.	Rev. Impos.	Flux impôt	Flux ap. impôt
0	-1771742,64	<b>800000,00</b>					-971742,64
1	503030,14	<b>29098,72</b>	<b>65280,00</b>	<b>201021,00</b>	<b>236729,14</b>	<b>94691,66</b>	379239,76
2	517501,57	<b>31473,18</b>	<b>62905,54</b>	<b>160816,80</b>	<b>293779,22</b>	<b>117511,69</b>	368516,70
3	531973,00	<b>34041,39</b>	<b>60337,33</b>	<b>128653,44</b>	<b>342982,22</b>	<b>137192,89</b>	360738,72
4	546444,42	<b>36819,17</b>	<b>57559,56</b>	<b>102922,75</b>	<b>385962,12</b>	<b>154384,85</b>	355240,41
5	560915,85	<b>39823,61</b>	<b>54555,11</b>	<b>82338,20</b>	<b>424022,54</b>	<b>169609,02</b>	351483,23
6	575387,28	<b>43073,22</b>	<b>51305,51</b>	<b>65870,56</b>	<b>458211,21</b>	<b>183284,49</b>	349029,58
7	597858,71	<b>46587,99</b>	<b>47790,73</b>	<b>52696,45</b>	<b>497371,53</b>	<b>198948,61</b>	352322,11
8	548330,14	<b>50389,57</b>	<b>43989,15</b>	<b>51008,35</b>	<b>453332,64</b>	<b>181333,06</b>	316607,51
9	618801,57	<b>54501,36</b>	<b>39877,36</b>	<b>40806,68</b>	<b>538117,53</b>	<b>215247,01</b>	349053,20
10	633273,00	<b>58948,67</b>	<b>35430,05</b>	<b>32645,34</b>	<b>565197,60</b>	<b>226079,04</b>	348245,28
11	647744,42	<b>63758,88</b>	<b>30619,84</b>	<b>26116,27</b>	<b>591008,31</b>	<b>236403,32</b>	347582,22
12	662215,85	<b>68961,61</b>	<b>25417,11</b>	<b>20893,02</b>	<b>615905,72</b>	<b>246362,29</b>	346891,96
13	676687,28	<b>74588,87</b>	<b>19789,85</b>	<b>16714,42</b>	<b>640183,02</b>	<b>256073,21</b>	346025,20
14	691158,71	<b>80675,33</b>	<b>13703,39</b>	<b>13371,53</b>	<b>664083,78</b>	<b>265633,51</b>	344849,87
15	705630,14	<b>87258,43</b>	<b>7120,29</b>	<b>8348,42</b>	<b>690161,43</b>	<b>276064,57</b>	342307,13
15	1421080,00						1421080,00

\* Récupération à la 8ème année par l'impôt pour le moteur 1  
(à ajouter dans le cash flow)

$VP = P * (t * K / (i + K))$  998,41 \$

D'où la valeur à l'année 8 : 317 605,93 \$

\* Récupération à la 15ème année par l'impôt pour tous les équipements

**Gain total 1380140,89**

$VP = P * (t * K / (i + K))$  -368 037,57 \$

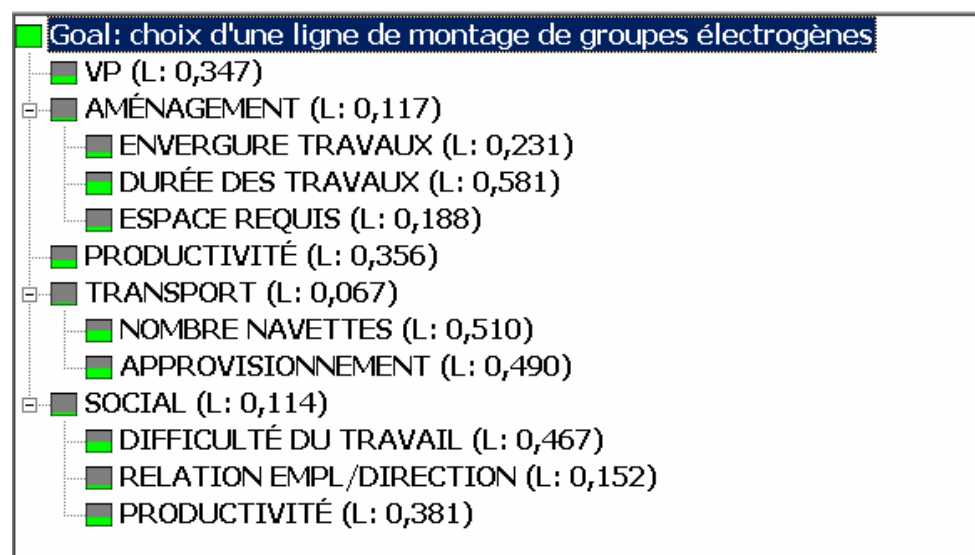
D'où la valeur à l'année 15 : 1 053 042,43 \$

$$VP = -971\,742,64 + R1.(P/F,10\%,1) + R2.(P/F,10\%,2) + R3.(P/F,10\%,3) + R4.(P/F,10\%,4) + R5.(P/F,10\%,5) + R6.(P/F,10\%,6) + R7.(P/F,10\%,7) + R8.(P/F,10\%,8) + R9.(P/F,10\%,9) + R10.(P/F,10\%,10) + R11.(P/F,10\%,11) + R12.(P/F,10\%,12) + R13.(P/F,10\%,13) + R14.(P/F,10\%,14) + 1\,395\,349,56.(P/F,10\%,15) = 1\,975\,185,99 \$$$

Celle-ci étant positive, le projet est rentable après impôt. Les résultats de l'analyse avant impôt fait ressortir deux alternatives rentables, la première et la troisième et permettent surtout d'éliminer la deuxième qui n'est pas rentable. On s'aperçoit aussi que cette analyse donne un résultat plus favorable à l'alternative 3 car la valeur présente est supérieure. Cependant, la troisième alternative garde un net avantage puisque la valeur présente trouvée pour la solution 3 est près de 40 fois supérieure à celle de la solution 1. Finalement, après l'analyse économique, la recommandation se porte sur la solution 3.

Analyse multicritère AHP :

La figure 35 présente la hiérarchie des critères de décision proposés par les décideurs de l'entreprise.



**Figure 35 : Hiérarchie des critères de sélection (logiciel Expert Choice)**

**La valeur présente :** Elle évalue la rentabilité d'un projet, elle est donc indispensable à inclure dans l'analyse. La valeur présente représente ici en fait les parties précédentes de cette étude de faisabilité notamment l'analyse économique. Nous n'expliquerons donc pas davantage ce

critère. Ce critère n'a pas de sous-critères et englobe les coûts d'achat, l'investissement et les profits, etc...

**L'aménagement** : Ce critère spécifie l'importance des travaux et aménagements à réaliser afin de préparer l'installation de la chaîne de montage au sein de l'usine. En effet, ce critère est l'un des plus importants pour la décision de choisir telle ou telle alternative. L'entreprise sera peut-être réticente à effectuer des travaux importants au sein de l'usine qui pourraient perturber la fabrication pendant de longues périodes. Inversement, l'entreprise peut souhaiter effectuer ces travaux car elle les considère nécessaires et indispensables pour l'amélioration de la production.

Ce critère possède 3 sous-critères au *niveau 2* de la hiérarchie :

- **l'envergure des travaux de gros œuvre**
- **la durée des travaux**
- **l'espace requis pour l'installation du système.**

**La productivité** : Ce critère spécifie les changements suite à l'installation du système : productivité, augmentation de la production et sécurité du système. En effet, l'installation de convoyeurs dans l'étude aura pour effet d'améliorer la productivité dans l'entreprise. Sous ce critère, 3 sous-critères au *niveau 2* précise ce dernier traitant de l'impact du réaménagement sur le processus de fabrication de l'entreprise.

**Le transport (fournisseurs)** : Ce critère spécifie l'organisation de l'entreprise avec les fournisseurs: nombre de navettes/jour, système d'approvisionnement. En effet, si l'entreprise souhaite regrouper sa production ou augmenter celle-ci, il est nécessaire qu'elle s'entende avec ses fournisseurs sur les modalités des approvisionnements de composants. Plus spécifiquement, pour le cas de la société dans notre étude, elle s'entendra sur le nombre de navettes/jour qui assureront l'approvisionnement des composants. Fonctionnant selon le juste-à-temps, l'entreprise doit s'assurer, qu'en cas d'augmentation de production, ses fournisseurs soient capables d'approvisionner les centres de production, et ce, dans le respect des délais.

Le deuxième sous-critère du *niveau 2* concerne le système d'approvisionnement des convoyeurs et des racks de libre-service directement dans l'usine. En effet, actuellement, les

fournisseurs viennent approvisionner de façon journalière les racks de libre-service consommables. Il faut également que de ce côté, la prestation logistique de l'entreprise soit assurée même en cas de forte demande de la part de la société.

### **Le critère « social » :**

Ce critère spécifie les caractéristiques concernant l'aspect social du projet. Nous pensons qu'il ne fallait surtout pas oublier ce critère, surtout dans le projet de mise en place d'une « chaîne de montage ». En effet, ce genre de projet n'est jamais populaire auprès des opérateurs qui y voient le travail difficile, les tâches répétitives et ennuyeuses. En effet, ce système de fabrication semi-automatique les oblige à respecter une certaine cadence de travail mais permet un plus grand volume de production. Il faut d'autant plus tenir compte d'un tel critère car la majorité des opérateurs sont syndiqués à la société, ce qui peut éventuellement devenir un obstacle à la réalisation d'un tel projet.

Ainsi, ce critère possède 3 autres sous-critères au niveau 2: **la difficulté du travail, les relations salariés/direction et la productivité**. Cette dernière se retrouve sous le critère social car le projet sera d'autant plus impopulaire au sein de la masse salariale que la productivité aura augmenté. En ce qui concerne les relations entre la direction et les employés, elles seront d'autant plus tendues que le projet prévoit d'être en défaveur des opérateurs. Par exemple, si le site de Réaumur était équipé d'un nouveau convoyeur, les relations entre salariés et direction resteraient bonnes : en effet, Réaumur emploie de nombreux intérimaires et O.S dont le niveau de rémunération est plus faible et qui ne restent généralement pas longtemps, seulement quelques mois. Les opérateurs embauchés depuis longtemps par l'entreprise travaillent sur K2 en majorité. Par contre, si, sur K2, il était décidé d'installer une chaîne de montage, alors que jusque là ils connaissaient un tout autre système, les relations salariés/direction en pâtiraient sûrement beaucoup plus car ils seraient directement concernés par le changement qui ne serait pas en leur faveur.

Les poids des critères du niveau 1 ont été pondérés à l'aide de la matrice de pond :

<b>Valeur présente :</b>	<b>W = .347</b>
<b>Aménagement :</b>	<b>W = .117</b>
<b>Productivité :</b>	<b>W = .356</b>
<b>Transport :</b>	<b>W = .067</b>
<b>Social :</b>	<b>W = .114</b>

L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel Expert Choice. Les résultats sont présentés ci-dessous. Nous obtenons les résultats suivants :

**Aménager le site K2 et installer les convoyeurs : 0.511**

**Mettre en parallèle au système existant un convoyeur : 0.229**

**Moderniser Réaumur et y installer un nouveau convoyeur : 0.260**

La meilleure alternative suite à l'analyse AHP est de réaménager complètement le site K2 et d'installer un système de convoyeurs automatiques. Elle domine assez largement les autres alternatives, principalement car, même si elle demande d'importants travaux d'aménagement, elle assure une valeur présente très grande et une productivité accrue comparée aux autres alternatives.

Fichier AHP : D:\Projet ligne elctrog.ahp

#### **Exemple 5 : Choix pour le remplacement d'un logiciel de CAO.**

La problématique se situe dans la sélection d'un logiciel CAO de dessins visant à remplacer celui en place, le populaire logiciel «Autocad ». Pour effectuer leur choix, les analyste ont fait une analyse multicritère composée de deux arbres car le produit recherché comprend deux parties (logiciel de base et celui d'expansion). L'analyse de rentabilité après impôts n'a pas été faite pour cette étude. Par contre, un critère quantitatif représentant les coûts est présent. Les alternatives de sélection retenues sont les logiciels suivants :

- **Solid Work**
- **Solid Edge**
- **Mechanical Desktop**
- **Top Solid**
- **Cad Key**

Les critères retenus pour le choix du logiciel de base sont les suivants :



**Rapidité :** Les algorithmes utilisés par les programmeurs peuvent influencer le temps nécessaire pour l'exécution de certaines manipulations du modèle. Certains logiciels sur un ordinateur de puissance équivalente vont prendre moins de temps que les autres pour effectuer les mêmes tâches ou manipulations. Ce critère permet d'augmenter substantiellement l'efficacité du dessinateur.

**Complexité :** La complexité d'apprentissage va influencer le temps nécessaire pour apprendre à utiliser efficacement le logiciel. La complexité va aussi influencer la quantité de commandes qu'un nouvel utilisateur pourra retenir pour une utilisation future. Les commandes utilisées moins fréquemment seront plus facilement oubliées et l'utilisateur risquera d'être moins efficace.

**Mise en page :** Comme le but premier du dessin est la fabrication des pièces, les dessins réalisés doivent offrir une mise en page claire. L'addition de bons symboles de tolérances géométriques et des symboles de soudure est très intéressante pour augmenter l'efficacité.

**Support :** Le support technique est un service offert par les revendeurs de logiciels pour aider les utilisateurs à résoudre des problèmes reliés à l'utilisation de ceux-ci. Un bon support technique aidera l'utilisateur à sélectionner les commandes adéquates pour réaliser la tâche.

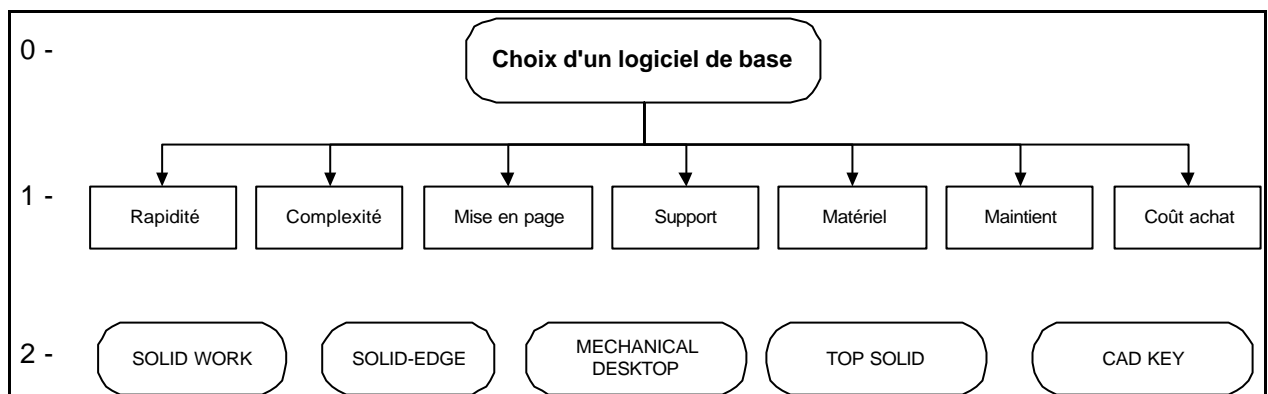
**Maintient:** Les coûts de maintien sont les coûts reliés au maintien d'une licence d'utilisation d'un logiciel. Ces frais doivent être payés chaque année pour avoir accès au support technique et aux versions corrigées du logiciel acheté.

**Matériel :** Le matériel informatique nécessaire pour exploiter pleinement le logiciel influencera grandement l'investissement de départ pour un logiciel donné. Comme le domaine de l'informatique évolue à une grande vitesse, il est intéressant de choisir un logiciel qui a des demandes plus modestes sur le plan du matériel pour éviter d'avoir à changer les ordinateurs et périphériques déjà en place.

**Compatibilité :** La compatibilité avec les autres logiciels CAO est un facteur important dans le choix. Comme la compagnie a à traiter avec des clients qui utilisent d'autres logiciels de CAO, il est intéressant d'être capable d'ouvrir leurs dessins pour aller chercher les dimensions

manquantes ou obtenir un point de vue différent sur les objets. Ceci permet aussi d'envoyer les fichiers informatiques via Internet au lieu d'utiliser le fax, ce qui augmente de beaucoup la clarté des petits caractères.

**Coût Achat :** Comme cette étude tend à le prouver, le coût n'est pas le seul critère à évaluer lors du choix d'un logiciel de CAO. Les retombées générées par l'efficacité d'un logiciel justifieront le prix payé.



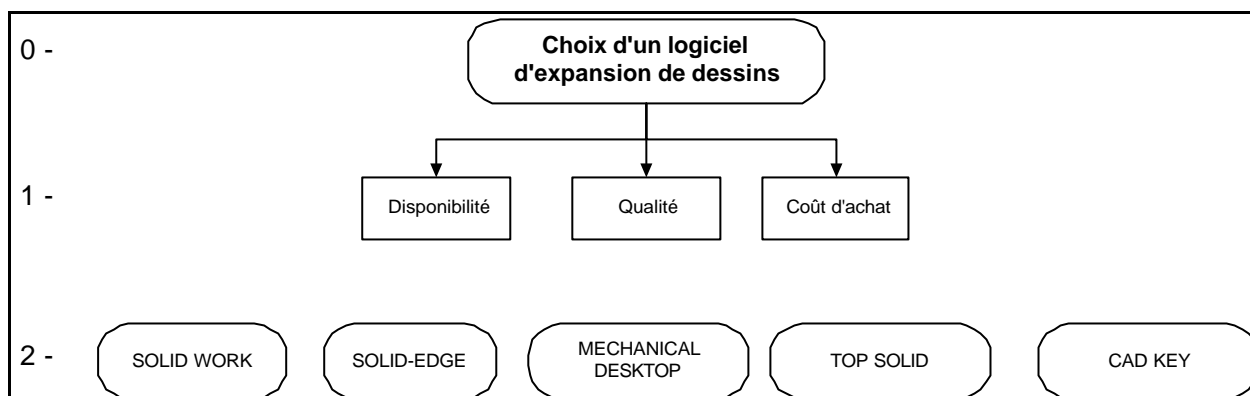
**Figure 36 : Modèle hiérarchique du logiciel de base**

Les critères retenus pour le logiciel d'expansion (i.e. banques de pièces standard, modules pour dessiner, etc.) sont les suivants :

**Coût d'achat:** Tout comme pour le logiciel de base, le coût d'achat est un critère de second plan mais possède aussi un certain poids dans la décision.

**Disponibilité:** Les compagnies offrent certains types d'expansion. Il est intéressant de voir si les extensions nécessaires pour notre domaine sont disponibles.

**Qualité:** La qualité est caractérisée par la quantité de pièces standard (roulements, vis, goupilles, etc.) incluses dans les bibliothèques. Pour les extensions de métal en feuilles ou tubulure, la facilité d'utilisation et la l'efficacité font la différence.



**Figure 37 : Modèle hiérarchique du logiciel d'expansion**

Les fichiers de l'analyse faite sur le logiciel Expert Choice sont téléchargeable à partir des liens suivants (le logiciel est disponible en version essai sur le site [www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com)):

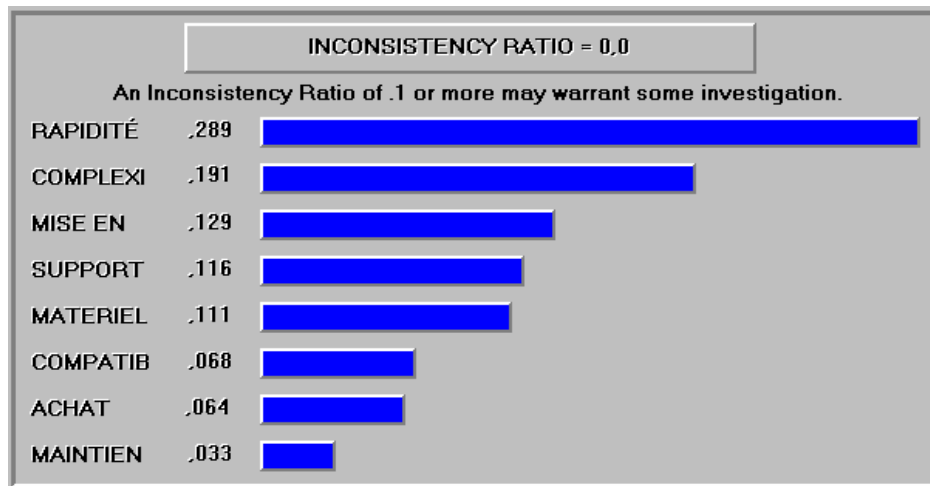
[D:\Logiciels\Logibase.ec1](#)

[D:\Logiciels\Logiexp.ec1](#)

Les tableaux suivants montrent les pondérations exécutées par les décideurs à l'aide du logiciel *Expert Choice* (ECpro version 9.5). Comme le montre le tableau 27, l'analyse fut débutée par l'attribution d'un poids pour chaque critère fait à l'aide de la matrice de comparaison binaire des critères. La figure 38 démontre l'avantage d'utiliser un outil informatique convivial comme *ECpro*, car il fourni automatique le vecteur de priorité relatif aux critères de décision et son ratio d'incohérence relatif (« Inconsistency ratio »).

[Best Fit]	COMPLEXI	MISE EN	SUPPORT	MATERIEL	COMPATIB	ACHAT	MAINTIEN
RAPIDITÉ	← 1.5	2.2	2.5	2.6	4.3	4.5	8.8
COMPLEXI		1.5	1.6	1.7	2.8	3.0	5.8
MISE EN			1.1	1.2	1.9	2.0	3.9
SUPPORT				1.0	1.7	1.8	3.5
MATERIEL					1.6	1.7	3.3
COMPATIB						1.1	2.0
ACHAT							1.9

**Tableau 27 : Matrice de comparaison binaire des critères.**

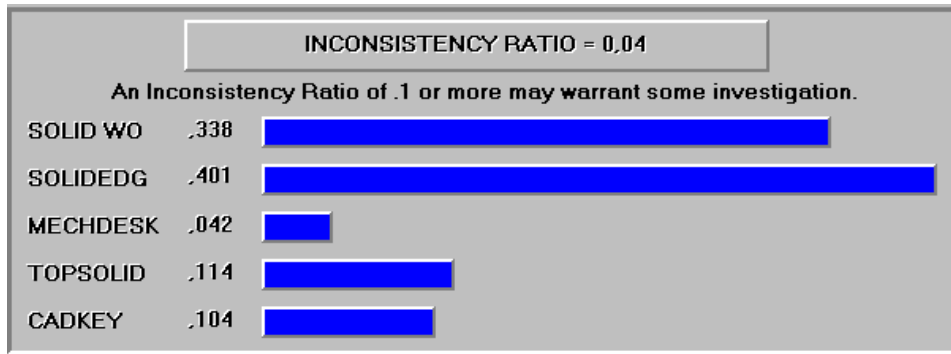


**Figure 38 : Vecteur prioritaire des poids des critères.**

Ainsi, cette figure indique que les décideurs s'entendent pour dire que la rapidité d'exécution du logiciel de base demeure le critère de sélection le plus important suivi de la complexité à utiliser le logiciel. On peut remarquer que pour l'entreprise, les coûts d'achat et de maintenance ont peu d'importance ce qui pourrait signifier que la compagnie recherche le plus performant des logiciels sur le marché. Étant donné cette pondération, cette analyse multicritère démontre ici qu'une simple analyse de faisabilité basée uniquement sur le retour sur l'investissement (« ROI ») deviendrait inadéquate pour cette entreprise. Pourtant, bon nombre de départements d'informatique dans les grandes multinationales continuent encore d'utiliser le ROI pour choisir leurs nouveaux outils ou équipements...

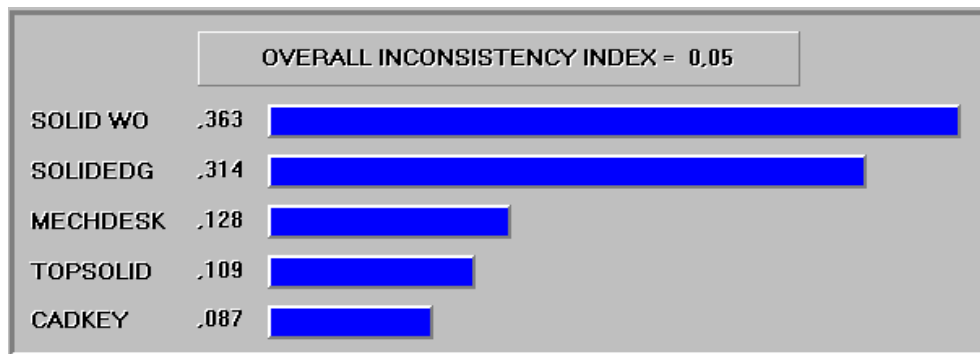
[Best Fit]	SOLIDEDG	MECHDESK	TOPSOLID	CADKEY
SOLID WO	↑ 1,2	5,0	3,0	5,0
SOLIDEDG		9,0	5,0	3,0
MECHDESK			4,0	3,0
TOPSOLID				1,1

**Tableau 28 : Matrice de comparaison des alternatives par rapport à la « Rapidité »**

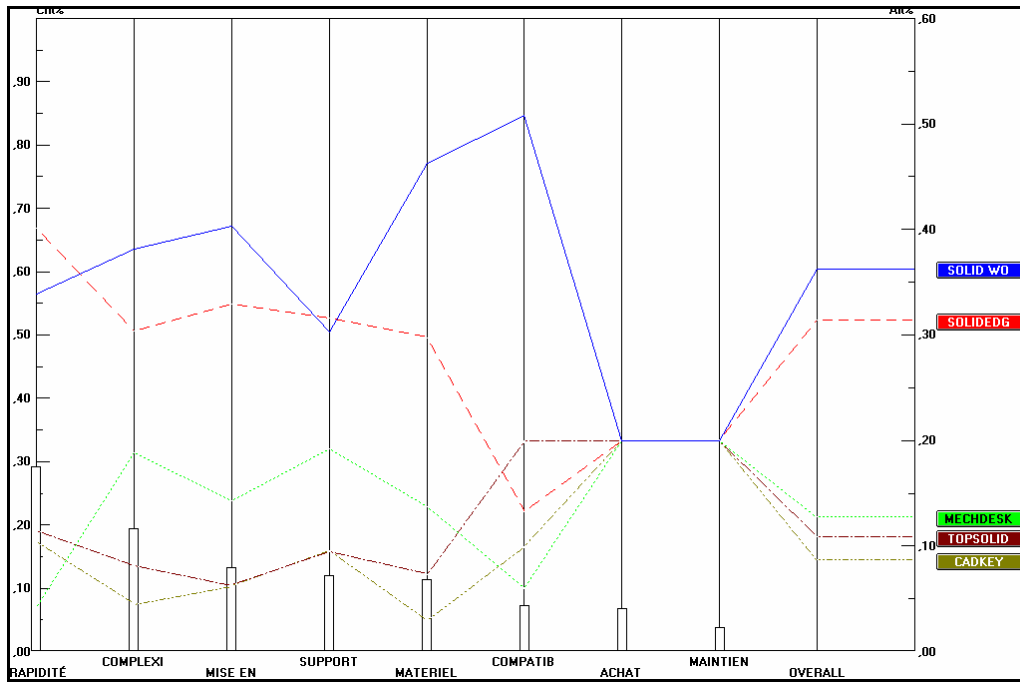


**Figure 39 : Vecteur prioritaire du rang des alternatives par rapport à la « Rapidité »**

Le tableau 28 et la figure 39 démontrent pour leur part un exemple de pondération des alternatives par rapport à un critère (la rapidité du logiciel). Tel que fait pour les critères, la matrice de comparaison binaire a servi à attribuer de façon subjective une note à chaque alternative de solution par rapport à leur rapidité d'exécution, et ce, pour obtenir le vecteur relatif de priorité des alternatives. On remarque que le ratio d'incohérence mesuré fut de 0.04 ce qui demeure négligeable par rapport à la règle de Saaty (acceptabilité si  $< 0.10$ ). Une fois cet exercice de pondération fait sous chaque critère, le vecteur global est obtenu où le rang de chaque alternative est obtenu (figure 40).



**Figure 40 : Vecteur prioritaire global du rang des alternatives.**



**Figure 41 : Graphe de performance pour l'analyse de sensibilité.**

L'analyse de sensibilité permet de vérifier si le choix proposé par le vecteur global est robuste et fiable. La figure 41 illustre le graphe de performance fourni par le logiciel *ECpro*. On peut apercevoir facilement que les deux premières alternatives (*Solid Work* et *Solid Edge*) surclassent les autres logiciels sous tous les critères. Peu importe une révision des poids des critères, les autres alternatives ne pourraient déclasser les deux premières alternatives, car leur courbe relative ne dépasse jamais celles des deux premières. Par contre, si on analyse la robustesse du choix de *Solid Work*, deux critères pourraient favoriser le second choix : la Rapidité et le Support. Pour le premier critère, il faudrait doubler le poids (28.9% à 60.2%) de son critère pour faire passer devant *Solid Edge* ce qui serait beaucoup trop comme changement d'opinion des décideurs. De même, pour le critère Support, il faut beaucoup trop varier son poids (de 11% à 81%) pour faire passer devant *Solid Edge*. Cette analyse confirme qu'en choisissant *Solid Work* comme logiciel de base, ce choix se révèle robuste et fiable et qu'il correspond bien aux critères de sélection et aux jugements des décideurs. Il faudrait que ces derniers changent de beaucoup leur avis sur la pondération des critères pour qu'ils optent pour la deuxième option.

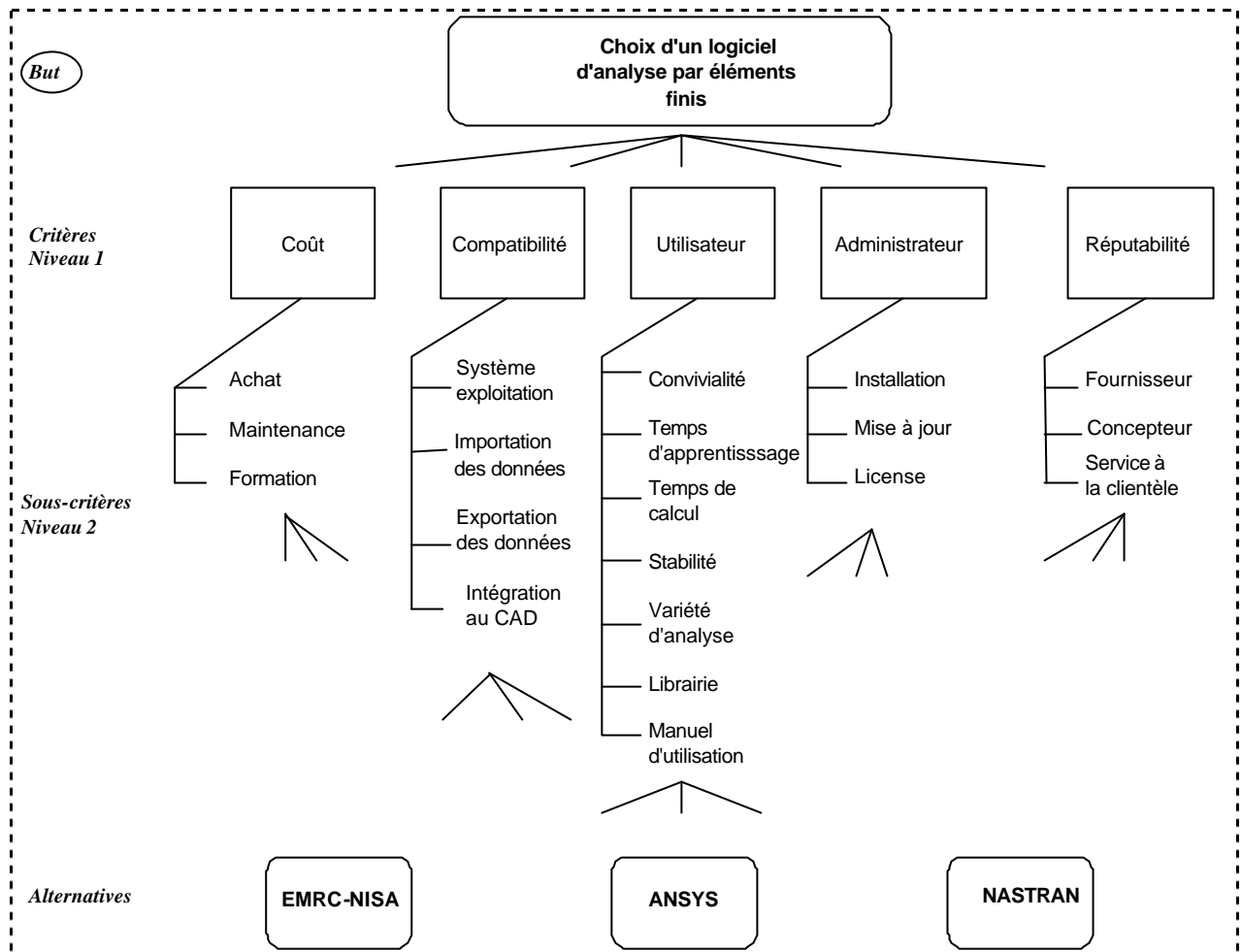
Enfin, les décideurs ont fait le même type d'analyse pour le logiciel d'expansion afin de vérifier si la même alternative sortait gagnante (fichier ci-joint plus haut mentionné). Cette analyse aurait aussi pu être intégrée à l'analyse précédente comme critère à des autres.

### **Exemple 6: Choix d'un logiciel d'analyse par éléments finis**

Une compagnie spécialisée dans la conception de simulateur de grandeur naturelle désire faire l'acquisition d'un logiciel d'analyse par éléments finis. Les décideurs de la compagnie ont élaboré une structure hiérarchique de décision à trois niveaux. Les options qui s'offrent à elle sont :

- **EMRC-NISA**
- **ANSYS**
- **NASTRAN**

Dans le cadre de l'étude, les décideurs ont choisi de confronter avec les deux autres logiciels le logiciel d'analyse EMRC-NISA qui ne comporte aucun déboursé à l'achat puisqu'il est présentement utilisé depuis un bon nombre d'années dans l'entreprise. Évidemment, ANSYS et NASTRAN nécessiteront pour leur part des investissements importants à l'achat. Les trois logiciels offrent des possibilités d'analyses comparables. Les décideurs ont choisi d'obtenir une licence comportant la majorité des modules et trois licences ayant les modules requis pour l'analyse structurelle seulement comme c'est le cas présentement avec le logiciel NISA. Pour leur analyse multicritère, les décideurs ont élaboré une structure hiérarchique des critères de sélection pour ce projet tel qu'illustré à la figure 42.



**Figure 42 : Modèle hiérarchique d'un choix de logiciel d'éléments finis.**

Les critères et les sous-critère sont définis comme suit :

**Coûts :** Ce sont les coûts que l'entreprise devra déboursier à l'achat du logiciel et les coûts de maintenance annuelle tout au cours de l'utilisation du logiciel. Pour ce critère, plus les coûts sont bas plus le pointage sera élevé.

**Achat:** Coût que l'entreprise doit déboursier pour détenir les droits (quantité de 4 licences dont une ayant la majorité des modules) pour l'utilisation du logiciel ainsi que les frais de la documentation en papier (quantité de 1 copie complète).

**Maintenance:** Coût que l'entreprise doit déboursier après les premiers 90 jours d'utilisation du logiciel et pour les années subséquentes prévues d'utilisation (7 ans).



La maintenance permet d'obtenir les mises à jours du produit ainsi que le support technique pour des questions sur l'utilisation du produit.

**Formation:** Coût que l'entreprise doit déboursier pour former le personnel affecté à l'utilisation du logiciel.

**Compatibilité :** La compatibilité est définie comme étant l'interaction avec différentes composantes d'un système informatique complet. Les systèmes d'exploitation supportés, la production de rapport, l'importation et l'exportation de géométrie de et vers des systèmes CAO évolués sont quelques-unes de ces composantes auquel il faut porter une attention particulière lors de l'achat d'un tel logiciel.

**Système exploitation:** Panoplies de systèmes d'exploitation sur lesquels le programme peut fonctionner de façon tout à fait fiable. (Ex: Windows 9X, Windows NT, Unix, Linux). Le logiciel compatible avec le plus grand nombre de système d'exploitation recevra le plus haut pointage.

**Importation des données:** Les formats de données de géométrie CAO que les logiciels peuvent accepter (Ex : IGES, STEP, SAT, DXF, etc.). Le logiciel pouvant importer le plus grand nombre de format aura le pointage le plus haut.

**Exportation des données:** Les résultats peuvent être exportés comment pour la création de rapports ou pour être envoyé à des clients et/ou des fournisseurs ? Aussi, la possibilité de pouvoir directement copier et coller de l'information directement dans des logiciels de traitement de texte courants. Ici, un logiciel offrant plusieurs possibilités se verra recevoir le plus haut pointage.

**Intégration au logiciel de CAO:** L'intégration au système CAO est la possibilité que le logiciel d'éléments finis peut faire partie intégrante au logiciel CAO dont nous disposons. Il offre soit une interface de conversion directe de la géométrie ou il apparaîtra comme étant est un module intégré au logiciel de CAO. Un logiciel complètement intégré recevra un plus haut pointage qu'une interface de conversion.

**Utilisateur :** Ce que l'utilisateur devra faire face pour l'utilisation du logiciel.

**Convivialité:** Est-ce que l'utilisateur est capable de comprendre en peu de temps comment le logiciel fonctionne ? Est-ce que le logiciel est vraiment facile d'utilisation ou bien est-ce que l'utilisateur doit faire plein de détours pour faire une opération ? Le logiciel permettant une opération de base avec le moins d'opérations possibles recevra le plus haut pointage.

**Temps d'apprentissage:** Ce sous-critère signifie le temps que l'utilisateur doit prendre pour pouvoir connaître les opérations de base afin de faire des analyses précises. L'alternative ayant un temps d'apprentissage bas (courbe d'apprentissage) recevra un bon pointage.

**Temps de calcul:** Le temps de calcul est le temps que le logiciel prend pour résoudre une pièce ou un ensemble de pièces, et ce, autant pour des analyses simples ou que complexes.

**Stabilité du programme:** Est-ce que le programme a des bugs avec certains types de pièces ou selon les modules d'analyse utilisés ? A-t-il soudainement des arrêts de fonctionnement en plein calcul ?

**Variété d'analyses:** C'est la variété d'analyses que le logiciel peut faire, soit des analyses de contraintes statiques, des analyses de contrainte dynamique, des analyses thermique ou encore des analyses de déformation et de fatigue; etc.

**Librairie des matériaux disponibles:** Les bibliothèques de matériaux sont la liste de matériaux qui sont déjà dans la base de données du logiciel, soit les matériaux standards comme les sortes d'acier ou d'aluminium (acier 1020, acier 1045, aluminium 6061-T6) ou bien les matériaux plus complexes comme les plastiques, les caoutchoucs et les matériaux ductiles comme les alliages de matériaux légers. Le logiciel offrant une plus grande panoplie de matériaux dans ses bibliothèques recevra le plus haut pointage.

**Manuel d'utilisation:** Est-ce que le manuel d'opération est clair et bien détaillé? Est-ce qu'il faut que l'utilisateur appelle le soutien technique ou bien s'il trouve la majorité de ces réponses dans les manuels d'opération en ligne ou dans la documentation sous forme imprimée? Une documentation claire, concise et précise recevra le haut pointage.

**Administrateur :** Les critères que l'administrateur informatique attiré prendra en considération lors de l'achat d'un logiciel.

**Installation:** Facilité qu'aura l'administrateur informatique à faire l'installation des composantes nécessaires à l'utilisation optimale du logiciel. Un logiciel facile à installer se verra recevoir le plus haut pointage.

**Mise à jour:** L'administrateur informatique de la compagnie aura-t-il de la difficulté à faire les mises à jour du logiciel. Est-ce que les mises à jour sont automatiques ou bien s'il faut procéder à une désinstallation et réinstallation complète pour faire à une mise à jour ?

**Licence:** Le type de licence que le logiciel peut avoir, soit une licence générale pour un temps illimité, une licence spécifique pour chaque poste (« hardware lock » ou « software lock »). Un système polyvalent et central de licences recevra un plus fort pointage.

**Réputation :** La réputation du concepteur ainsi que du fournisseur local doit être prisent en considération lors de l'achat d'un tel logiciel. Quel est la liste existante des clients dans la région, quel est le nombre de licences vendues dans la région et à travers le monde sont tous des indices permettant de mieux cerner la fiabilité des intervenants et la valeur du support après vente.

**Fournisseur:** Est-ce que le fournisseur offrant le produit à une réputation des plus fiable?

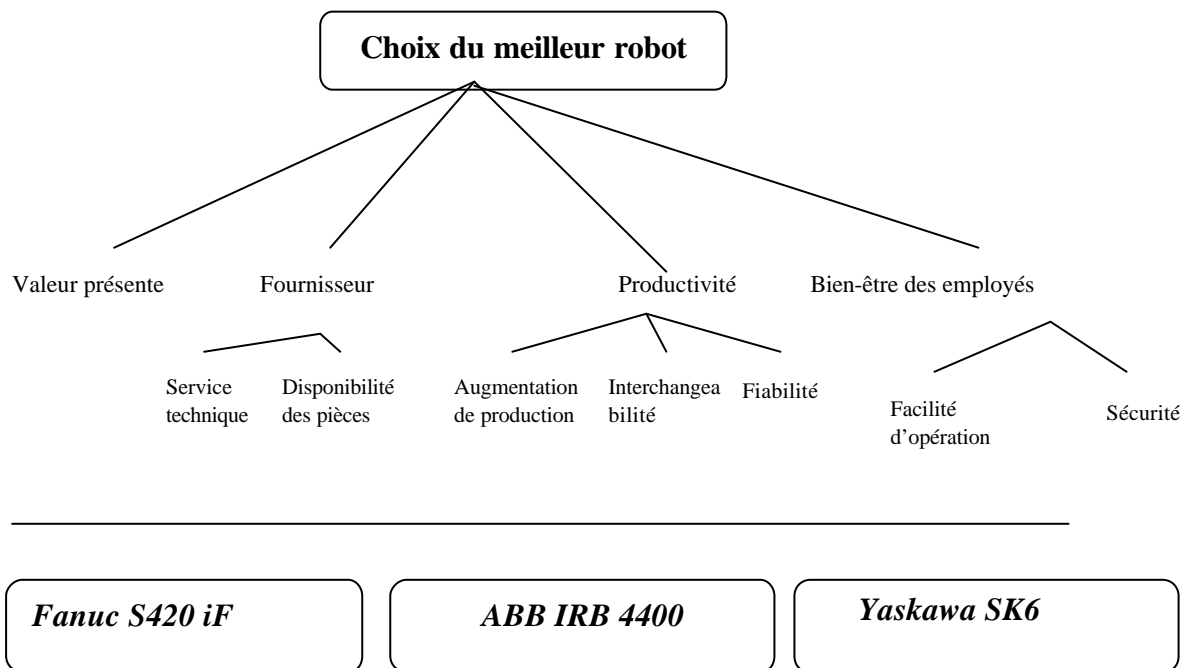
**Concepteur:** Est-ce que le concepteur du logiciel a une bonne réputation ? Est-ce que le logiciel est reconnu et utilisé par les grandes industries ?

**Service à la clientèle:** Est-ce que le concepteur et le fournisseur travaillent en partenariat avec le client et peuvent-ils offrir un service après vente de qualité ?

L'analyse est faite sur le logiciel Expert Choice. ([D:\Logiciels\Trav\\_ses.ec1](D:\Logiciels\Trav_ses.ec1))

**Exemple 7: Choix de remplacement d'un nouveau transporteur robotisé.**

Ce cas se limite à représenter un exemple de hiérarchie de critères de décision pour le choix entre 3 alternatives pour le remplacement d'un robot désuet servant au transport de pièces dans une usine de fabrication de pare-brise d'auto. L'usine *PPPVitre* possède environ 50 robots. En se basant sur leur expérience, les ingénieurs de l'usine ont déterminé les critères et les sous-critères essentiels pour effectuer une analyse multicritère des alternatives proposées (figure 43).



**Figure 43 : Modèle hiérarchique d'un choix de robot de transport.**

Les critères de l'analyse sont :

**La valeur présente:** Comme toutes les compagnies, l'entreprise doit s'assurer que leurs projets sont rentables. Il est donc normal de voir ce critère parmi les critères de base. Ce critère n'a pas de sous critère, cependant il sera basé sur les coûts et les profits générés par le projet. Les coûts sont l'achat, l'installation, la formation du personnel et le coût de l'entretien du robot.

**La qualité du fournisseur:** Le fournisseur du robot est celui dont va dépendre la compagnie lorsqu'il y aura un problème important avec le robot. Des mauvaises expériences dans le passé ont contribué à l'ajout de ce critère dans la liste des critères de base. Ce critère a engendré deux sous critères.

**La qualité du service technique :** Lorsqu'un ingénieur appelle pour de l'aide technique, est-il répondu rapidement? Le technicien est-il compétent? Lorsque le technicien ne connaît pas la réponse, est-ce qu'il rappelle rapidement?

**La disponibilité des pièces de rechange:** Lorsqu'un bris majeur survient, les pièces de rechange sont-elles disponibles? Nous voyons que si la livraison d'une pièce prend « i » mois, les conséquences associées à la production seront majeures.

**La production:** Ce critère vise à vérifier l'impact du robot sur la production. Ce critère engendre trois sous critères.

**L'augmentation de la production :** Le fonctionnement du robot et sa vitesse d'opération permettent-ils d'augmenter le taux de production et ainsi la rentabilité de la compagnie?

**L'interchangeabilité:** Si un nouveau robot est installé à un autre endroit sur la ligne de production et que le robot remplacé est encore bon pour opérer à un endroit moins critique dans l'usine. Est-il facilement transférable à ce nouveau poste (son niveau de flexibilité en regard d'espace et de tâches)? C'est une action qui se présente souvent dans l'entreprise.

**La fiabilité:** Ce sous critère cherche à savoir si ce type de robot brise régulièrement. Il est évident que le bris fréquent d'un robot peut entraîner des coûts importants pour la compagnie.

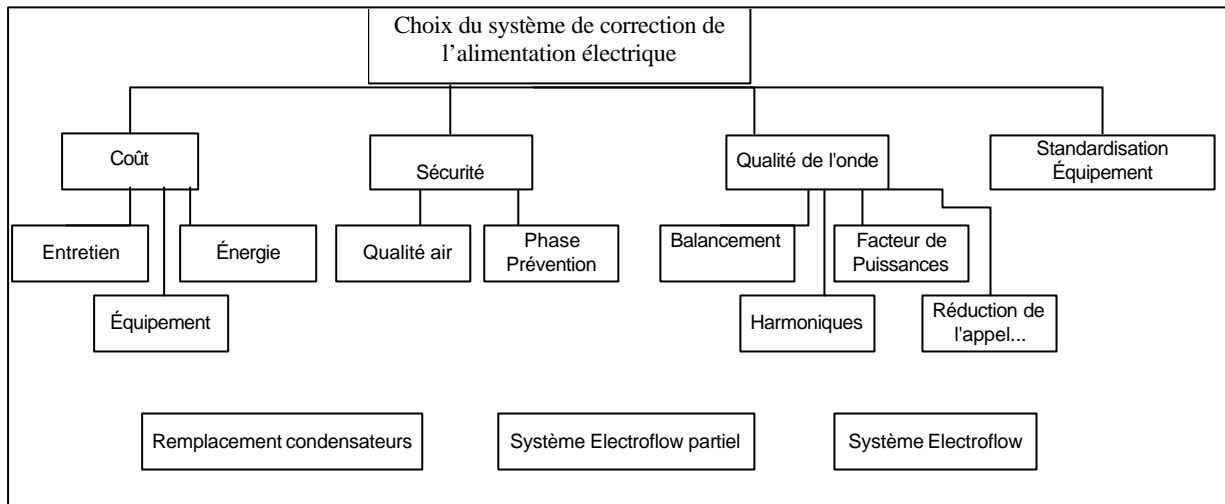
**Bien-être des employés :** L'entreprise se donne comme mission d'offrir à ses employés un milieu de travail sécuritaire où les employés aiment travailler. Ce critère engendre donc deux sous critères.

**La sécurité des employés :** Les dispositifs d'urgences et les dispositifs de protection sont donc évalués par ce sous critère.

**La complexité d'opération du robot :** Le robot doit donc permettre à l'ingénieur de créer une interface simple et facile d'utilisation pour les opérateurs.

**Exemple 8 : Décision pour un système de correction de l'alimentation électrique pour la ventilation d'un tunnel routier urbain.**

Voici un exemple d'une hiérarchie de critères de décision pour le choix entre plusieurs alternatives pour un système de correction de l'alimentation électrique pour la ventilation d'un tunnel routier urbain. Ce cas implique une entreprise qui décroche un contrat pour améliorer l'unité de puissance du système de ventilation d'un tunnel routier. Trois solutions ont été générées lors de la conception, soit le remplacement des condensateurs, l'installation d'un système Electroflow partiel ou encore un système Electroflow complet. La décision dépendra d'une structure de critères sur 2 niveaux.



**Figure 44: Modèle hiérarchique d'un choix de système de correction d'alimentation électrique.**

Description des critères et des sous-critères de sélection:

**Coût de l'équipement:** Le coût de l'équipement représente la somme à investir pour obtenir le matériel relatif à une alternative et à l'installation/désinstallation de cet équipement.

**Balancement des trois phases:** Le balancement des phases est un critère concernant la qualité de l'onde électrique. Il est considéré car il peut permettre une économie d'électricité et une diminution de l'entretien. Certains systèmes sont capables d'effectuer automatiquement ce balancement.

**Élimination des distorsions (ex: harmoniques):** Le critère nommé 'élimination des distorsions' est aussi un critère de qualité de l'onde. Il est considéré car il peut permettre une économie d'électricité et une diminution de l'entretien. Certains systèmes sont capables d'effectuer automatiquement l'atténuation des distorsions nuisibles.

**Réduction du danger relié à l'entretien:** Ce critère de sélection représente un aspect subjectif de l'évaluation. Il ne peut être évalué en terme de dollars. Il est important cependant, car il peut permettre de sauver une vie, qui n'a pas de prix. La façon de réduire le danger d'entretien à travers ce projet serait en diminuant la fréquence de la maintenance près de sources de tension élevées.

**Correction du facteur de puissance sans pour autant créer d'effets négatifs:** On sait que le facteur de puissance doit être le plus près possible de 1. Si on s'éloigne de cette consigne (0.9 et moins), la facture d'électricité sera d'autant plus grande, car l'Hydro-Québec chargera une pénalité. C'est donc un facteur important concernant les économies possibles.

**Réduction de l'appel maximal de puissance:** Quand Hydro-Québec rédige la facture de consommation d'électricité pour les deux derniers mois de service, elle met l'accent sur le moment où la puissance consommée a été maximale pour charger un prix associé à cette valeur durant toute la période considérée. Si le système électrique actuel occasionne des pointes de courant importantes, la facture sera plus chère. La réduction de l'appel maximal de puissance permet donc une économie substantielle.

**Réduction de la consommation d'énergie:** Si on peut diminuer la consommation d'énergie par un quelconque moyen, les économies associées pourraient être intéressantes.

**Amélioration de la qualité de l'air dans le tunnel:** En installant un système d'alimentation électrique fiable, diminuant les arrêts inutiles des ventilateurs, on occasionnera une amélioration de la qualité de l'air présente. C'est un facteur subjectif. Il aura comme impact de rendre l'environnement plus sain pour les passagers et les employés dans le tunnel.

**Réduction du coût d'entretien:** L'alternative qui réussira à diminuer la fréquence des entretiens diminuera le coût associé à cette tâche et sera par conséquent avantageuse.

**Utilisation d'équipement standard:** L'utilisation de matériel standard est souhaitée. Par ce fait, on facilitera le remplacement de pièces lorsque nécessaire. Il sera plus facile d'obtenir le matériel voulu avec des délais respectables. De plus, il est moins risqué de tomber sur de l'équipement qui aura éventuellement été discontinué.



## **Bibliographie et hyper liens :**

- Saaty T.L.; “The Analytic Hierarchy Process” Mcgraw-Hill, New York; 1980
- Huber R, F. , 1985 “Justified-barrier to competitive manufacturing” Production, 1985
- Saaty T.L.; “Analytical Planning” RWS Publication, Pittsburgh; 1991
- Gharbi A., Notes de cours « Analyse de faisabilité », Département de Génie de la production automatisée, École de Technologie Supérieure, automne 1998.
- J R Canada & W G Sullivan, “Economic & Multiattribute Evaluation of Advanced Manufacturing Systems”; Prentice Hall, 1989
  
- [www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com) : Site du logiciel d’analyse multicritère ExpertChoice. Plusieurs informations et exemples pratiques y paraissent.
- <http://faculty.fuqua.duke.edu/daweb/dasw1.htm> : Site d’une faculté d’une Université américaine où plusieurs logiciels de l’analyse AHP sont cités.
- <http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html> : Site du laboratoire de l’université Dauphine à Paris qui offre une autre méthode d’analyse multicritère, ELECTRE.