

I. Analyse Economique et écologique du projet

Une fois l'installation solaire est adéquatement dimensionnée, nous nous attacherons à analyser ses performances par rapport à la chaudière qu'on cherche à remplacer. L'analyse des performances englobera une analyse économique et une analyse écologique pour évaluer la rentabilité du projet.

I.1. Analyse économique

L'analyse économique d'un système de production d'énergie permet de dégager deux types d'information : le coût d'investissement du système et les coûts annuels qu'il engendre.

Le coût d'investissement représente le coût total nécessaire à la mise en marche d'un projet avant qu'il ne commence à générer des économies ou des revenus. Il englobe les coûts estimés pour l'étude de faisabilité, pour le développement, pour les travaux d'ingénierie, pour les équipements, et leur installation, pour les infrastructures connexes et autres frais divers. C'est une donnée nécessaire pour évaluer la rentabilité du projet.

Les coûts engendrés représentent le surcoût total lié à l'entretien, la maintenance et l'exploitation du système sur sa durée de vie. Dans nos calculs, nous ferons le choix de la durée économique en fonction du fait que la durée estimée de l'installation solaire est de 25 ans.

I.1-1-Coût d'investissement

Dans notre cas de figure, l'estimation du coût d'investissement est donnée par le tableau de la page suivante :

NB : les coûts représentés dans le tableau sont en Million de dollars noté (Prix (\$)) et en Million de Dirhams noté (Prix (MAD))

	Prix(\$)	Prix (MAD)	Pourcentage dans le coût d'investissement
Montage du champ solaire et préparation du site	1,3	10,6	21,6
Champ solaire	0,2	1,9	3,9
Préparation du site et infrastructure	0,5	3,7	7,4
Construction métallique	0,2	1,5	3,1
Conduites	0,1	1,0	2,2
Installations électriques et Autres	0,3	2,5	5,1
Equipements : Champ solaire & fluide caloporteur	3,1	24,7	48,6
Miroirs	0,5	4,1	8,2
Tubes récepteurs	0,6	4,5	9,1
Acier de construction	0,9	6,8	13,7
Pylônes	0,1	0,6	1,2
Fondations	0,2	1,4	2,6
Suiveur (vérins hydrauliques et moteurs électriques)	0,0	0,2	0,5
Joints rotatifs	0,1	0,4	0,8
Système HTF (Conduites, isolation, échangeur de chaleur, pompes)	0,4	3,4	6,8
Fluide caloporteur (VP1-therminol)	0,2	1,3	2,6
Equipements électriques, électroniques, et de contrôle	0,3	2,0	3,1
système de stockage thermique	0,7	5,7	11,4
Fluide caloporteur (VP1-therminol)	0,4	3,2	6,5
Réservoirs de stockage	0,2	1,2	2,3
Isolations du matériel	0,0	0,1	0,2
Fondations	0,1	0,4	0,8
Pompes	0,0	0,2	0,5
Système de régulation	0,1	0,6	1,2
Circuit eau surchauffée	0,1	0,8	1,7
Conduites, isolation du système	0,1	0,7	1,5
Pompes	0,0	0,1	0,2
Autres	1,0	8,3	16,7
Développement du projet	0,2	1,8	3,7
Gestion du projet	0,6	5,0	9,9
Imprévus	0,2	1,5	3,1
Total	6,3	50,1	100,0

Tableau 45 : Ensemble des charges du projet

Nous constatons que le coût du champ solaire et le fluide caloporteur représente la part du lion dans le coût d'investissement avec un pourcentage de 48.6 %.

La figure illustrative suivante, donne une idée sur la répartition du coût d'investissement suivant les différentes charges du projet :

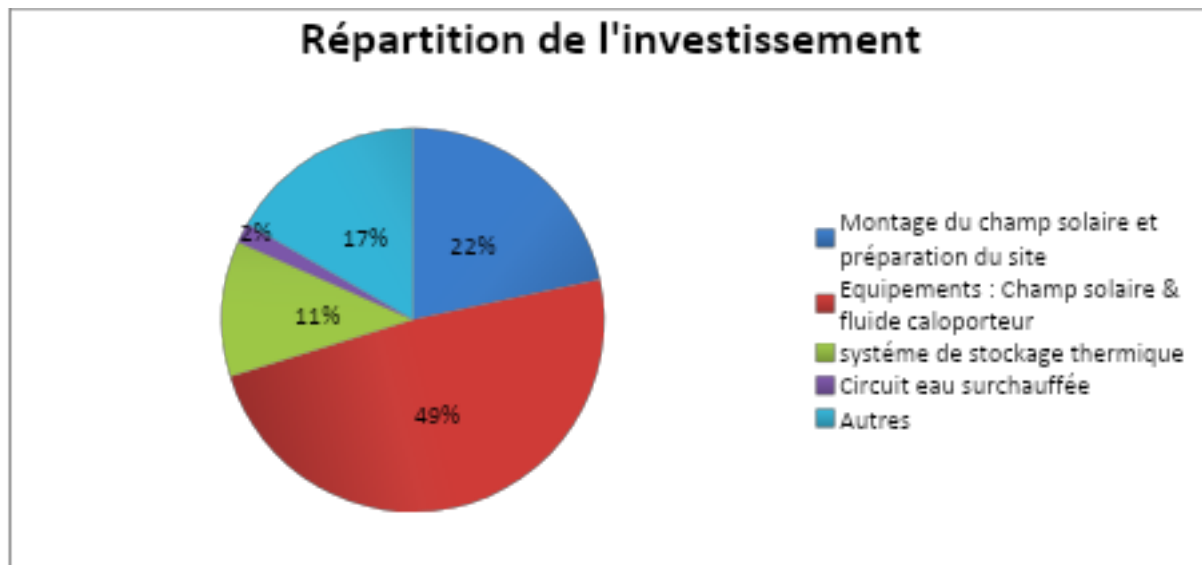


Figure 33 : Répartition de l'investissement sur les différentes charges

Le coût d'exploitation et de la maintenance de l'installation solaire représentent 2 % du coût d'investissement, ce qui revient à dire un coût de : 1 Million de Dirhams

Le coût d'investissement Total du projet sera donc :

$$I = 51.12 \text{ Millions de Dirhams}$$

1.1.2. Recettes de l'installation solaire

L'objectif de l'installation solaire de puissance thermique de 6.3 MWth avec 5 heures stockage est de fournir la puissance thermique demandée par les réchauffeurs de la centrale et assurer un fonctionnement normal des turbines indépendamment des anomalies de la chaudière.

Les recettes globales de l'installation solaire sont de deux types :

-Recette Directe : Qui réside dans la quantité du fioul et gazoil non consommés pendant le fonctionnement des réchauffeurs de la centrale.

-Recette indirecte : Qui réside dans les tonnes de carbones annuelles non émises dans l'atmosphère.

a-Recette annuelle directe

Pour déterminer la quantité du fioul et gazoil non consommée pour répondre aux besoins des réchauffeurs, nous allons dans un premier temps déterminer la quantité annuelle consommée par les chaudières, et puis l'énergie thermique demandée par les réchauffeurs

en se basant sur les heures de fonctionnement de la centrale, et par la suite nous pouvons déterminé la quantité annuelle du Fioul et du Gasoil consommée pour répondre uniquement aux besoins des réchauffeurs. Nous allons également déterminer le taux de remplacement de la chaudière en tenant compte des heures de stockage, et comme ça nous allons déduire les recettes annuelles du champ solaire.

Pour mener à bien l'étude économique, nous avons demandé des données sur quatre ans (2010-2011-2012 et 2013).Le tableau suivant résume la consommation annuelle en tonne des chaudières en fioul et en gasoil :

année	Fioul oil (tonne)	Gasoil (tonne)
2010	1535,538	206,42
2011	1464,06	557,211
2012	1194,836	650,4
2013	435,7107	1059,810
Moyenne	1157,53618	618,460145

Tableau 46 : Consommation annuelle des chaudières en Fioul et gasoil

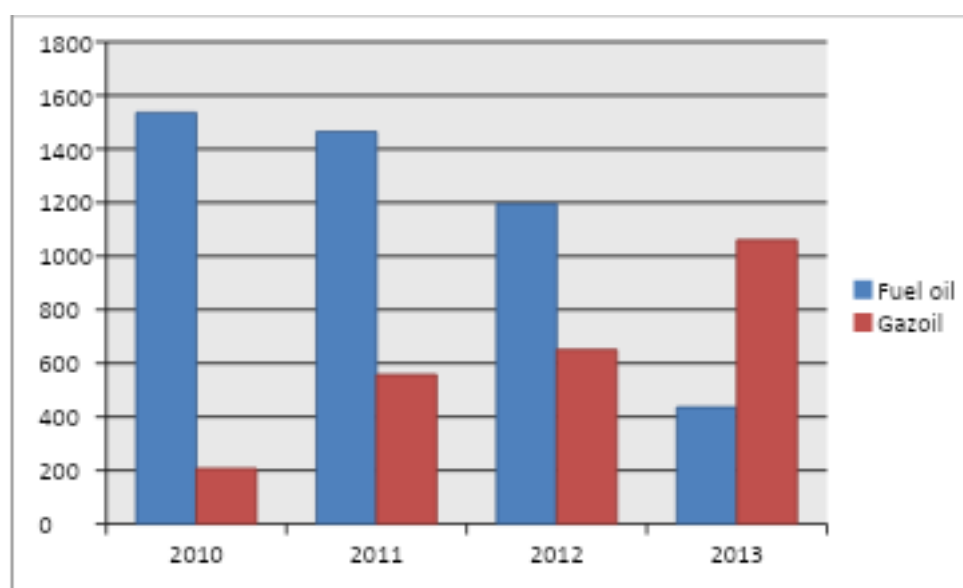


Figure 34 : La consommation moyenne des chaudières pendant les quatre années.

Nous avons remarqué d'après le graphe que la consommation du fioul décroît au cours des années, alors que la consommation du gasoil augmente, chose qui va engendrer des surcoûts énormes concernant l'achat du combustible dédié au fonctionnement de la chaudière surtout avec un prix du gasoil qui est égale à trois fois le prix du fioul.

Connaissant les pouvoirs calorifiques du fioul et gasoil, et en se basant sur la consommation moyenne annuelle en fioul et en gasoil, nous pouvons déduire l'énergie thermique moyenne annuelle fournie par les chaudières :

	<i>Pouvoir calorifique (KWh/Kg)</i>	<i>Puissance thermique annuelle fournie(MWh_{th})</i>	<i>La part dans la production annuelle(%)</i>
<i>Fioul</i>	11.16	12918,10	64,15
<i>Gasoil</i>	11.67	7217,43	35,85
	<i>Total</i>	20135.53	100

Tableau 47 : L'énergie moyenne annuelle fournie par les chaudières

D'autre part, et comme nous l'avons déjà calculé, la consommation énergétique thermique moyenne annuelle des réchauffeurs (de puissance totale 4.2 MW) est 12388,502 MWh.

La part des besoins énergétiques des réchauffeurs dans la production totale des chaudières est : 61,53 %.

En se basant sur l'énergie thermique moyenne annuelle demandée par les trois réchauffeurs de la centrale, et la part du Fioul et du Gasoil dans la production annuelle des chaudières, nous avons respectivement les nombres de MWh thermiques produites par le Fioul et le Gasoil pour répondre uniquement au besoin des réchauffeurs : 7947,94 et 4440,56 MWh.

A partir du pourcentage de 61,53 % nous avons pu estimer respectivement la consommation du Fioul et du Gasoil pour répondre aux besoins énergétiques des réchauffeurs uniquement : 712,18 et 380,51 tonnes.

Les coûts moyens pondérés sur trois ans du Fioul et Gasoil en (MAD/tonne) avec la subvention de l'Etat sont respectivement 2393,63 et 7802,66. Les montants annuels à payer pour la consommation du Fioul et du Gasoil sont donnés par le tableau suivant :

<i>Montant annuel à payer pour le 'Fioul'(MAD)</i>	1704696,91
<i>Montant annuel à payer pour le 'Gasoil'(MAD)</i>	2968998,53
<i>Total(MAD)</i>	4673695,44

Tableau 48 : Montant annuel à payer pour répondre aux besoins des réchauffeurs

A noter que l'Etat subvention le Fioul à la hauteur de 2/3 du prix réel sur le marché, donc le montant total annuel à payer par l'ONEE sera 8083089,26 MAD au lieu de 4673695,44 MAD.

Nous avons déjà conclu que l'installation solaire va assurer en moyenne 3,5 heures de stockage par jour, et qu'il y aura un excès de production en quelques mois estimé à 5209,83 MWh_{th} (thermique) annuellement. Cet excès de production au profit de l'eau surchauffée va participer considérablement à réduire des dépenses financières liées à l'achat des combustibles, car il va permettre d'éviter de brûler une quantité considérable de Fioul et de Gasoil.

Par le stockage et l'excès de production, nous pouvons remplacer une énergie thermique de 3342,41 MWh_{th} produite à partir du Fioul, et 1867,43MWh_{th} à partir du Gasoil. Ce qui va permet de réduire la consommation de 299,50 tonnes de Fioul et 160,02 tonnes du Gasoil annuellement. Ainsi le stockage et l'échange de l'excès de production va permettre de remplacer la production de la chaudière à la hauteur de 25,87 %.

Le gain annuel engendré par le stockage et l'excès de production uniquement, est de l'ordre de 1965466,18 MAD avec la subvention de l'Etat, et de 3399245,57 MAD sans Subvention de l'Etat.

Les recettes financières total annuelles de l'installation solaire sont de l'ordre 6639161,61 MAD avec la subvention et à 11482334,83 sans subvention de l'Etat.

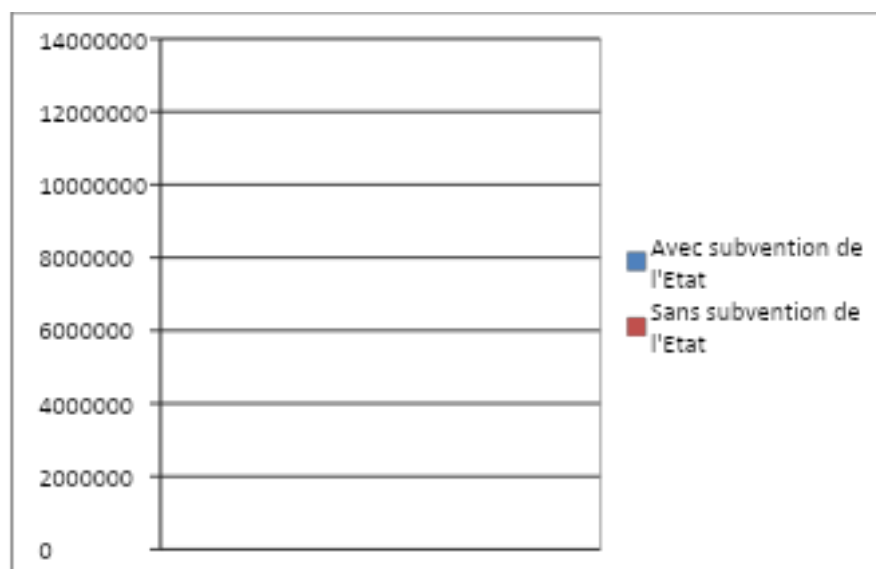


Figure 35 : Recettes annuelles de l'installation solaire avec et sans subvention de l'Etat(MAD)

Nous récapitulons dans le tableau suivant les principaux résultats des recettes directes :

	<i>Fioul (Tonnes)</i>	<i>Gasoil (Tonnes)</i>	<i>Coût(MAD)/tonne sans Subvention (MAD)</i>		<i>Coût(MAD)/tonne avec Subvention (MAD)</i>		<i>Total Avec Subvention (MAD)</i>	<i>Total Sans Subvention (MAD)</i>
			<i>Fioul</i>	<i>Gasoil</i>	<i>Fioul</i>	<i>Gasoil</i>		
<i>Consommation pour répondre uniquement aux besoins des réchauffeurs</i>	712,18	380,51	7180,89	7802,66	2393,63	7802,66	4673695,4 4	8083089,26
<i>Les tonnes non consommées en présence du stockage et l'échange de l'excès de production</i>	299,50	160,02	7180,89	7802,66	2393,63	7802,66	1965466,1 8	3399245,57
						Total	6639161,6 2	11482334,8 3

Tableau 49 : Principaux résultats des recettes directes de l'installation solaire

b-Recette annuelle indirect

Les recettes annuelles indirectes englobent d'une part les tonnes carbones non émises dans l'atmosphère à cause de la consommation directe des combustibles (Fioul et Gasoil) pour répondre aux besoins des réchauffeurs, et d'autre, les tonnes carbones non émises à cause du stockage et l'excès de production. Nous résumons dans le tableau suivant les résultats de l'étude environnementale :

<i>Carburant</i>	<i>Fioul</i>	<i>Gasoil</i>
------------------	--------------	---------------

Consommation pour répondre aux besoins des réchauffeurs (tonnes)	712,18	380,51
Les tonnes évitées avec le stockage et l'échange de l'excès	299,5	160,02
Total des tonnes non consommées	1011,68	540,53
Kg équivalent CO₂/tonne (Source ADEME)	851	859
Réduction annuelle (tonnes de CO₂)	860,94	464,32
	Total (tonnes)	1325,25

Tableau 50 : tonnes carbonées non émises en présence de l'installation solaire

Le total des tonnes carbonées (1325,25 tonnes) non émises dans l'atmosphère est équivalent à 1557,19 tonnes de Fioul, ou bien à 1542,79 tonnes du Gasoil consommées annuellement.

I.1.3. Rentabilité du projet

Dans cette partie nous allons entamer l'étude de la rentabilité de notre projet solaire avec et sans subvention de l'Etat. Pour ce faire, nous allons calculer la Valeur Actuelle Nette appelée « VAN », qui est un indicateur qui permet de prendre la décision quant à la rentabilité ou pas d'un projet d'investissement. Elle consiste à comparer les gains d'un projet à son investissement initial.

I.1.3.1-Etude de la rentabilité avec la subvention de l'Etat

a-Notion d'actualisation

La valeur de l'argent change avec le temps, un Dirham d'aujourd'hui n'est plus le même il y a deux ou trois ans voir même plus. Pour cela il faut actualiser les cash-flows futurs générés par le projet pour obtenir la valeur actuelle, c'est-à-dire la valeur des cash-flows au début de notre projet pour pouvoir les comparer avec l'investissement initial.

Pour l'actualisation des cash-flows, les économistes utilisent ce qu'on appelle le taux d'actualisation qui prend en compte l'inflation des prix et les risques spécifiques aux projets d'investissement.

b-Valeur Actuelle Nette : VAN

La formule de la VAN est la suivante :

$$VAN_n = CF_1(1 + i)^{-1} + CF_2(1 + i)^{-2} \dots + CF_n(1 + i)^{-n} - I$$

Où :

I : c'est l'investissement initial

VAN_n : la valeur actuelle nette du projet d'un nombre n d'années

CF_n : les gains ou le cash-flow de la n^{ème} année

'i' : le taux d'actualisation

Sachons que la durée de vie de notre projet est de 25 ans, et que les économies annuelles de l'installation solaire (Avec subvention de l'Etat) sont de l'ordre de 6639161,62 MAD, avec un taux d'actualisation fixé à 8 % (valeur généralement prise par les économistes), nous pouvons déterminer les économies actualisées de l'installation solaire voir le tableau suivant :

<i>Année</i>	<i>économies actualisées(MAD)</i>	<i>Année</i>	<i>économies actualisées(MAD)</i>
1	6147371,87	14	2260375,879
2	5692010,991	15	2092940,629
3	5270380,547	16	1937907,989
4	4879981,988	17	1794359,25
5	4518501,841	18	1661443,75
6	4183798,001	19	1538373,842
7	3873887,038	20	1424420,224
8	3586932,442	21	1318907,615
9	3321233,743	22	1221210,755
10	3075216,429	23	1130750,699
11	2847422,619	24	1046991,388
12	2636502,425	25	969436,4701
13	2441205,949		

Tableau 51 : Les Recettes actualisées de l'installation solaire suivant l'année

La somme des recettes actualisées sur 25 ans est de : 70 871 564,37 Dirhams

Le coût d'investissement initial de l'installation solaire est de 51 120 000 Dirhams. La valeur actuelle nette sera :

$$VAN_{25} = 70\,871\,564,37 - 51\,120\,000 = 19\,751\,564,37 \text{ Dirhams}$$

c-Temps de Retour Actualisé

C'est le nombre d'années nécessaire pour que le cumul des économies annuelles actualisées équilibre l'investissement ou le surcoût d'investissement. Dans notre cas, le temps de retour actualisé est légèrement supérieur à 12 ans, voir le tableau suivant :

		Année	
Année	Cash-flow actualisé cumulé	e	Cash-flow actualisé cumulé
1	-44972628,1	14	3614821,76
2	-39280617,1	15	5707762,39
3	-34010236,6	16	7645670,38
4	-29130254,6	17	9440029,63
5	-24611752,8	18	11101473,4
6	-20427954,8	19	12639847,2
7	-16554067,7	20	14064267,4
8	-12967135,3	21	15383175,1
9	-9645901,54	22	16604385,8
10	-6570685,11	23	17735136,5
11	-3723262,49	24	18782127,9
12	-1086760,06	25	19751564,4
13	1354445,88		

Tableau 52 : Détermination du temps de retour actualisé

Le graphe du cash-flow cumulé pour la détermination du temps de retour sur investissement actualisé est donné par la figure suivante :

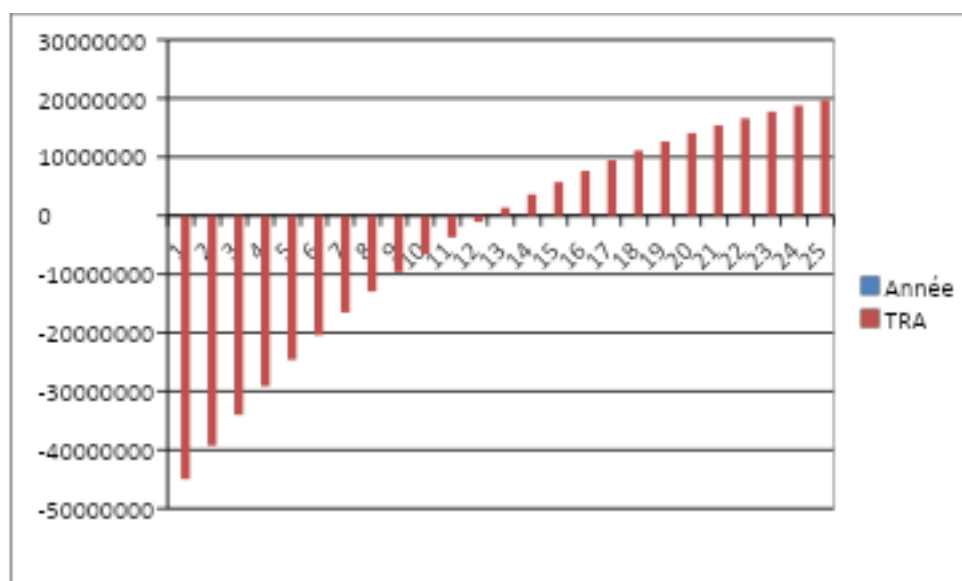


Figure 36 : Digramme du cash-flow actualisé-cumulé sur 25 ans

d-Temps de Retour Brut (TRB)

C'est le temps nécessaire pour que le cumul des économies annuelles équilibre l'investissement ou le surcoût d'investissement, il ne prend pas en compte la notion d'actualisation et constitue donc un indicateur économique peu pertinent.

Dans notre cas, l'économie annuelle est de 6639161,62 Dirhams, donc le TRB vaut :

$$TRB = \frac{51\,120\,000}{6\,639\,161,62} = 7,677 \text{ ans}$$

Le temps de retour sur investissement brut sera : 7,677 ans

I.1.3.2. Etude de la rentabilité sans subvention de l'Etat

Nous allons adopter la même démarche qu'auparavant, sauf que l'économie annuelle dans ce cas est de 11 482 334,83 Dirhams. Et par conséquent :

$$VAN_{25} = 71\,451\,354,43 \text{ Dirhams}$$

Le temps de retour actualisé sera de l'ordre de :

$$TRA = 5 \text{ ans et demi}$$

La figure suivante représente le cash-flow actualisé (sans subvention de l'Etat) pour la détermination du temps de retour actualisé.

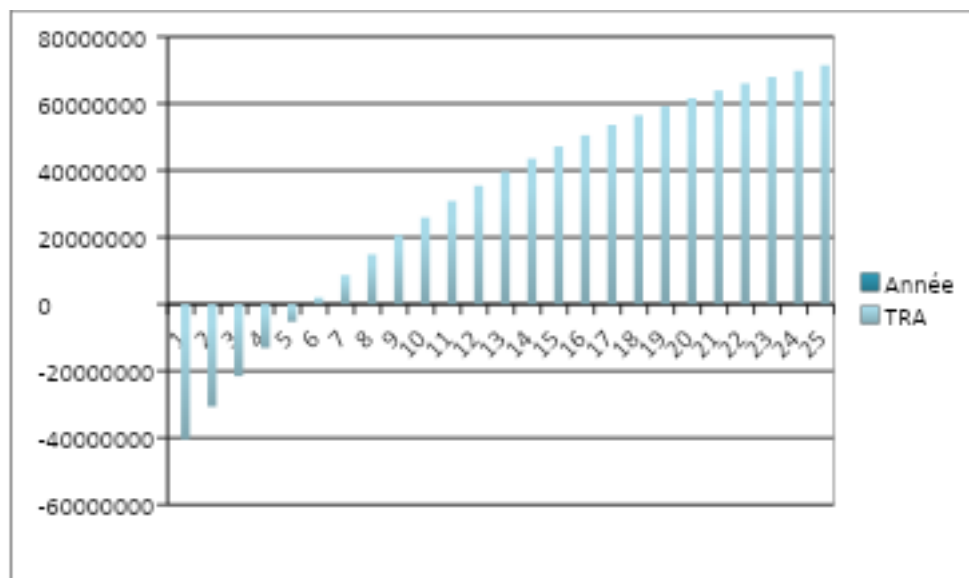


Figure 37 : Cash-flow actualisé cumulé sur 25 ans (sans subvention de l'Etat)

Le temps de retour brut sans subvention de l'Etat est :

$$TRB = 4,45 \text{ ans}$$

I.1.4. Influence sur le coût du KWh produit par la centrale

Nous allons voir dans cette partie l'effet de l'implantation de l'installation solaire sur le coût de KWh.

Le prix du KWh produit par la centrale en ne tenant compte que de la consommation du Fioul et du Gasoil se calcul par l'équation suivante :

$$\text{Coût du KWh} = \frac{(C.T.F + C.C.F) * P.F + (C.T.G + C.C.G) * P.G}{\text{Production nette}}$$

Où :

C.T.F : Consommation des Turbines en Fioul

C.C.F : Consommation des Chaudières en Fioul

P.F : Prix Fioul et P.G : Prix Gasoil

C.T.G : Consommation des Turbines en Gasoil

C.C.G : Consommation des Chaudières en Gasoil

Les résultats de calcul du prix du KWh moyen annuel avant l'installation solaire sont donnés par le tableau suivant :

	<i>Fioul</i>	<i>Gasoil</i>
	193383,95	2796,8722
<i>Consommation des turbines (tonnes)</i>	4	8
	1157,5361	618,46014
<i>Consommation des chaudières (tonnes)</i>	8	5
<i>Prix avec subvention (Dhs/tonne)</i>	2393,63	7802,66
<i>Prix sans subvention (Dhs/tonne)</i>	7180,89	7802,66
<i>La production moyenne annuelle nette (GWh)</i>	641,29	
	0,7676854	
<i>Coût du KWh avec subvention(DH)</i>	9	
	2,2199468	
<i>Coût du KWh sans subvention(DH)</i>	6	

Tableau 53 : Le coût du KWh avec et sans subvention de l'Etat

Maintenant, et pour déterminer le nouveau coût du KWh en présence de l'installation solaire, nous allons tout simplement prélever les recettes annuelles du champ solaire dans l'équation qui permet de calculer le coût du KWh:

	6639161,6
<i>Recettes annuelles du champ solaire avec subvention (DH)</i>	2
	11482334,
<i>Recettes annuelles du champ solaire sans subvention (DH)</i>	8
	0,7573326
<i>Coût du KWh avec subvention(DH)</i>	6
<i>Coût du KWh sans subvention(DH)</i>	2,2020418
	0,0103528
<i>Participation du champ solaire dans la réduction du coût de KWh avec la subvention (DH)</i>	2
	0,0179050
<i>Participation du champ solaire dans la réduction du coût de KWh sans subvention (DH)</i>	6

Tableau 54 : Coût du KWh en présence du champ solaire

L'implantation du champ solaire va participer à réduire le coût du KWh à la hauteur de 1,035 centimes avec la subvention de l'Etat, et à la hauteur de 1,79 centimes sans la subvention de l'Etat.