

# **Etude Technico-Économique et Gestion des Projet des Energies Renouvelables**



**Pr Cherif BOUGRIOU**

[c.bougriou@univ-batna2.dz](mailto:c.bougriou@univ-batna2.dz)

**Master 2 – Energies Renouvelables**

**Département de Mécanique**

**Faculté de Technologie**

**Université Mostefa BENBOULAIID – BATNA**

**Version – 1.0**

**2017-2018**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Acquérir des connaissances et compétences technico-économiques en management de projets « énergies renouvelables et efficacité énergétique, décrire l'état de l'art des technologies renouvelables, analyser les aspects économiques associés à ces technologies, utiliser des outils méthodologiques pour mettre en œuvre des projets.

Une installation des énergies renouvelables est normalement réalisée qu'après une étude d'optimisation en utilisant les différentes techniques telles que : l'Algorithme Génétique, optimisation multiobjectif.

Le but de ce cours est de réaliser une étude technico-économique pour connaître le temps nécessaire de retour de l'investissement appelé : amortissement. Dans le cours on donne les différentes formules de calcul ainsi que quelques exemples des installations réalisées dans le domaine des énergies renouvelables ainsi que leurs études technico-économiques.

### **Formulation simple d'une étude technico-économique**

En négligeant les différents coûts : maintenance, main-d'œuvre ; taux d'intérêt, actualisation des prix, etc., l'amortissement d'une installation en énergies renouvelables est donné par la formule ci-dessous en connaissant le coût de l'investissement  $I$ , le prix d'énergie nécessaire pour son fonctionnement (électricité, etc.) et le prix de vente du produit : eau distillée, électricité, eau chaude, etc., Figure 1.

$$-I = (a - b) x$$

Avec,

$a$  : charge énergétique supplémentaire (pompe, électricité, etc.) en DA/unité du produit

$b$  : prix de la vente du produit en DA/unité du produit

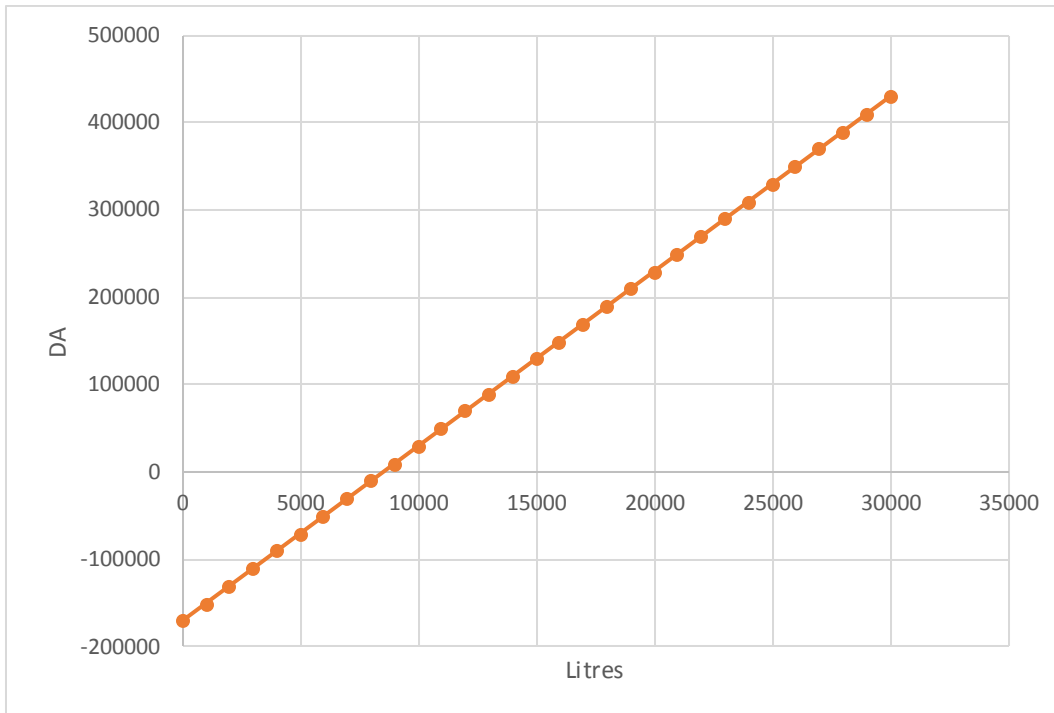
$x$  : produit (eau distillée, eau chaude, électricité, etc.)

Le temps nécessaire pour l'amortissement de l'installation ou le retour de l'investissement :

$$t_a = \frac{I}{8760 y (b - a)}$$

où,

$y$  : production horaire (unité/heure)



**Figure 1 :** Cout d'une installation de distillation à multi-étage en fonction de la production d'eau distillée

### **Mythe du jeu d'échecs**

La légende la plus célèbre sur l'origine du jeu d'échecs raconte l'histoire du roi Belkib qui cherchait à tout prix à tromper son ennui. Il promet donc une récompense exceptionnelle à qui lui proposerait une distraction qui le satisferait.

Lorsque le sage Sissa, fils du Brahmine Dahir, lui présenta le jeu d'échecs, le souverain, enthousiaste, demanda à Sissa ce que celui-ci souhaitait en échange de ce cadeau extraordinaire.

Humblement, Sissa demanda au prince de déposer un grain de blé sur la première case, deux sur la deuxième, quatre sur la troisième, et ainsi de suite pour remplir l'échiquier en doublant la quantité de grain à chaque case, Figure 2.



Figure 2 : Grains de Sissa

La récompense vous semble-t-elle suffisamment importante pour l'inventeur de ce jeu ?

Le prince accorda immédiatement cette récompense en apparence modeste, mais son conseiller lui expliqua qu'il venait de signer la mort du royaume car les récoltes de l'année ne suffiraient à s'acquitter du prix du jeu.

Nous allons voir pourquoi !

Sur la première case il y a : 1 grain de blé.

Sur la deuxième case il y a : 2 grains de blé.

Sur la troisième case il y a :  $2 \times 2 = 4$  grains de blé.

Sur la quatrième case il y a :  $2 \times 2 \times 2 = 8$  grains de blé.

Sur la cinquième case il y a :  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$  grains de blé.

Sur la sixième case il y a :  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$  grains de blé qui est un produit de facteurs « 2 », donc  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^5$

Sur la soixante-quatrième case il y a donc  $2^{63}$  grains de blé

On a une suite géométrique de 64 termes de raison 2 dont le premier terme est égal à l'unité.

$$u_1 = 1 ; u_2 = 2, u_3 = 4, u_4 = 8, \dots$$

Soit

$$u_1 = 2^0 ; u_2 = 2^1, u_3 = 2^2, u_4 = 2^3, \dots \text{et enfin } u_{64} = 2^{63}$$

La somme de grains de blé de toutes les cases est donnée par l'expression suivante :

$$\sum_{n=1}^{64} u_n = u_1 \frac{1 - r^n}{1 - r} = \frac{1 - 2^{64}}{1 - 2} = 2^{64} - 1 = 1,84467 \cdot 10^{19} \text{ grains}$$

Sachant que la masse d'un grain de blé varie entre 30 mg et 50 mg, la masse totale qui devait être donné par le roi est égal à 922337,2 Gkg.

Pour plus de détails de cette histoire vous pouvez consulter le Tableau 1 et les Figures 3 et 4.

Tableau 1 : Nombre et masse de grains de blé dans l'échiquier

Case	Grain	Masse du blé (kg)	Cas10	Blé (Gkg)
1	1	0,00005	1	$5 \cdot 10^{-14}$
5	16	0,0008	5	$8 \cdot 10^{-13}$
10	512	0,0256	10	$2,56 \cdot 10^{-11}$
15	16384	0,8192	15	$8,19 \cdot 10^{-10}$
20	524288	26,2144	20	$2,62 \cdot 10^{-8}$
25	16777216	838,8608	25	$8,39 \cdot 10^{-7}$
30	$5,37 \cdot 10^8$	26843,5456	30	$2,68 \cdot 10^{-5}$
35	$1,72 \cdot 10^{10}$	858993,4592	35	0,000859
40	$5,5 \cdot 10^{11}$	27487790,69	40	0,027488
45	$1,76 \cdot 10^{13}$	879609302,2	45	0,879609
50	$5,63 \cdot 10^{14}$	28147497671	50	28,1475
55	$1,8 \cdot 10^{16}$	$9,0072 \cdot 10^{11}$	55	900,7199
56	$3,6 \cdot 10^{16}$	$1,80144 \cdot 10^{12}$	56	1801,44
57	$7,21 \cdot 10^{16}$	$3,60288 \cdot 10^{12}$	57	3602,88
58	$1,44 \cdot 10^{17}$	$7,20576 \cdot 10^{12}$	58	7205,759
59	$2,88 \cdot 10^{17}$	$1,44115 \cdot 10^{13}$	59	14411,52
60	5,76 1017	$2,8823 \cdot 10^{13}$	60	28823,04
61	$1,15 \cdot 10^{18}$	$5,76461 \cdot 10^{13}$	61	57646,08
62	$2,31 \cdot 10^{18}$	$1,15292 \cdot 10^{14}$	62	115292,2
63	$4,61 \cdot 10^{18}$	$2,30584 \cdot 10^{14}$	63	230584,3
64	$9,22 \cdot 10^{18}$	$4,61169 \cdot 10^{14}$	64	461168,6
Total	$1,84 \cdot 10^{19}$	$9,22337 \cdot 10^{14}$		922337,2

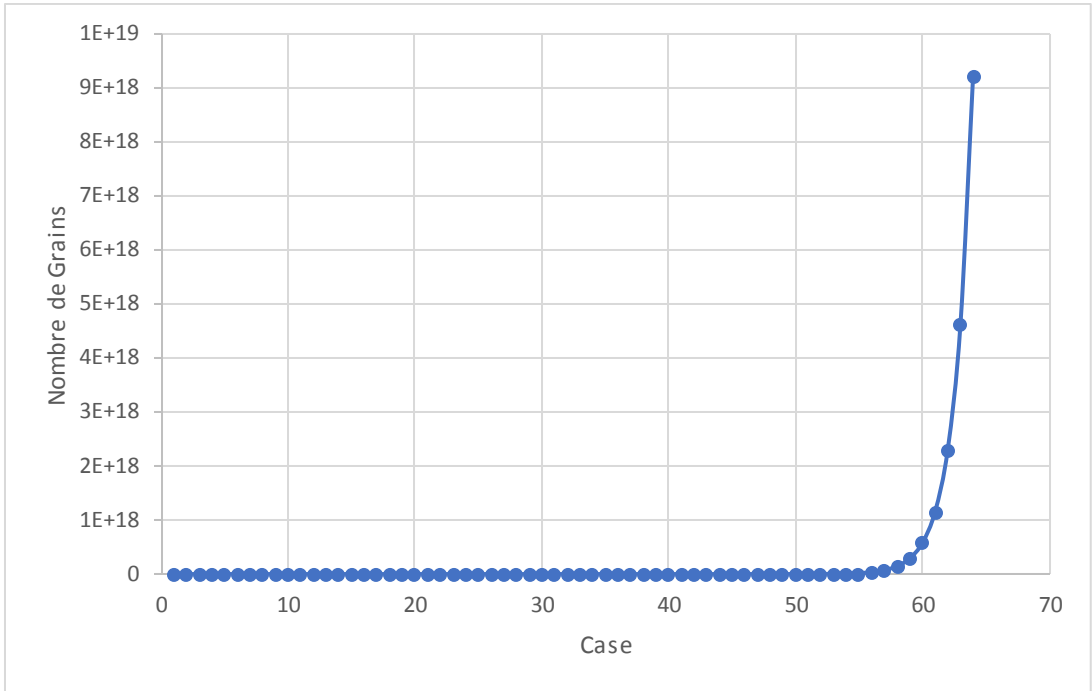


Figure 3 : Nombre de grains dans chaque case de l'échiquier

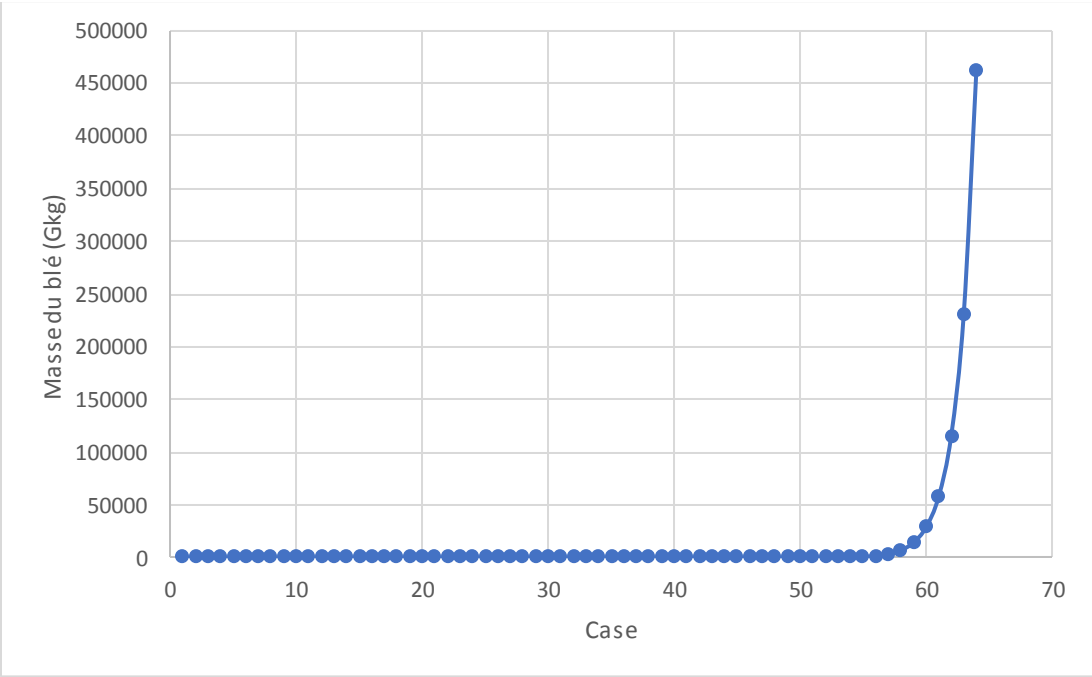


Figure 4 : Masse de blé dans chaque case de l'échiquier

La production et les stocks mondiaux de blé pour la campagne 2016-2017, est un record mondial qui s'est établie à 754,3 millions de tonnes (Gkg), (<https://www.terre-net.fr/marche-agricole/actualite-marche-agricole/article/les-previsions-de-production-de-ble-2017-18-legerement-revues-a-la-baisse-1395-128981.html>).

On conclut que le roi ne peut tenir sa parole puis qu'il faut environ 1222,8 années pour la satisfaire avec la technologie agricole du 21<sup>em</sup> siècle.

Dans ce qui suit, on vous donne un exemple d'une personne qui a emprunté 1MDA sur 25 ans avec des taux d'intérêt : 2.5%, 7% et 12% et qui n'a pas remboursé non dû, Tableau 2 et Figure 5.

Tableau 2 : Somme à payer et intérêt en DA lors d'un emprunt de 1 MDA (TI : Taux d'intérêt)

Année	Somme à Rembourser (TI = 2,5%)	Somme à Rembourser (TI = 7%)	Somme à Rembourser (TI = 12%)	Intérêt TI = 2.5%	Intérêt TI = 7%	Intérêt TI = 12%
1	1025000,00	1070000	1120000	25000	70000	120000
2	1050625,00	1144900	1254400	50625	144900	254400
3	1076890,63	1225043	1404928	76891	225043	404928
4	1103812,89	1310796	1573519	103813	310796	573519
5	1131408,21	1402552	1762342	131408	402552	762342
6	1159693,42	1500730	1973823	159693	500730	973823
7	1188685,75	1605781	2210681	188686	605781	1210681
8	1218402,90	1718186	2475963	218403	718186	1475963
9	1248862,97	1838459	2773079	248863	838459	1773079
10	1280084,54	1967151	3105848	280085	967151	2105848
11	1312086,66	2104852	3478550	312087	1104852	2478550
12	1344888,82	2252192	3895976	344889	1252192	2895976
13	1378511,04	2409845	4363493	378511	1409845	3363493
14	1412973,82	2578534	4887112	412974	1578534	3887112
15	1448298,17	2759032	5473566	448298	1759032	4473566
16	1484505,62	2952164	6130394	484506	1952164	5130394
17	1521618,26	3158815	6866041	521618	2158815	5866041
18	1559658,72	3379932	7689966	559659	2379932	6689966
19	1598650,19	3616528	8612762	598650	2616528	7612762
20	1638616,44	3869684	9646293	638616	2869684	8646293
21	1679581,85	4140562	10803848	679582	3140562	9803848
22	1721571,40	4430402	12100310	721571	3430402	11100310
23	1764610,68	4740530	13552347	764611	3740530	12552347
24	1808725,95	5072367	15178629	808726	4072367	14178629
25	1853944,10	5427433	17000064	853944	4427433	16000064

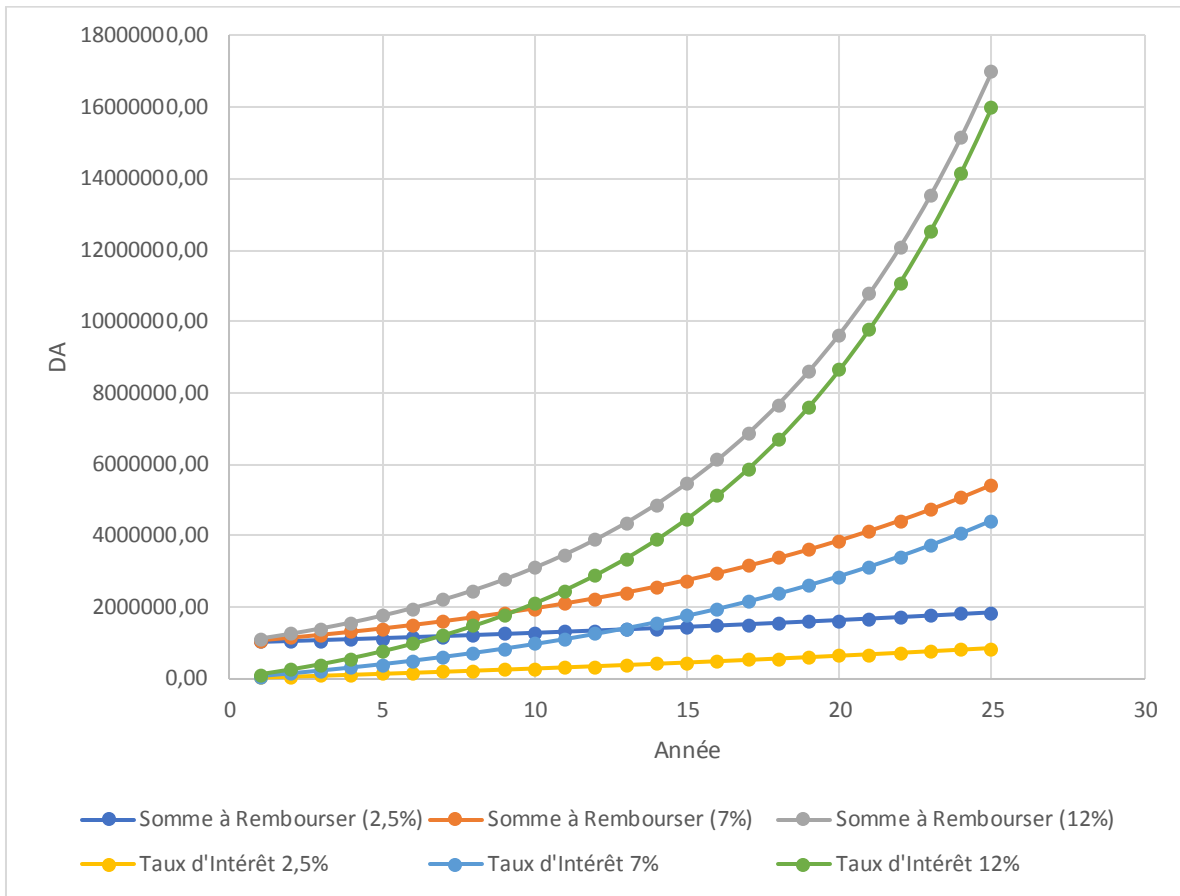


Figure 5 : Emprunt sans remboursement de 1 MDA avec différents intérêts

On conclut que les intérêts sont très dangereux sur les populations et les états.

Actuellement en Algérie les banques empruntent de l'argent aux citoyens en 2017 avec 2.5%. Dans le cas où l'argent emprunté (1 MDA) est remboursé, le citoyen doit payer en plus environ 143000DA, Tableau 3 et Figure 6.



Tableau 3 : Exemple du remboursement d'un emprunt de 1 MDA sur 10 ans pour un taux d'intérêt de 2.5%

Année	Somme à Rembourser (DA)	Remboursement (DA)
0	1000000	0
1	910740	114260
2	819249	114260
3	725471	114260
4	629348	114260
5	530822	114260
6	429833	114260
7	326319	114260
8	220218	114260
9	111464	114260
10	-9	114260
	<b>Total remboursé</b>	<b>1142596</b>
	<b>Intérêt</b>	<b>142596</b>

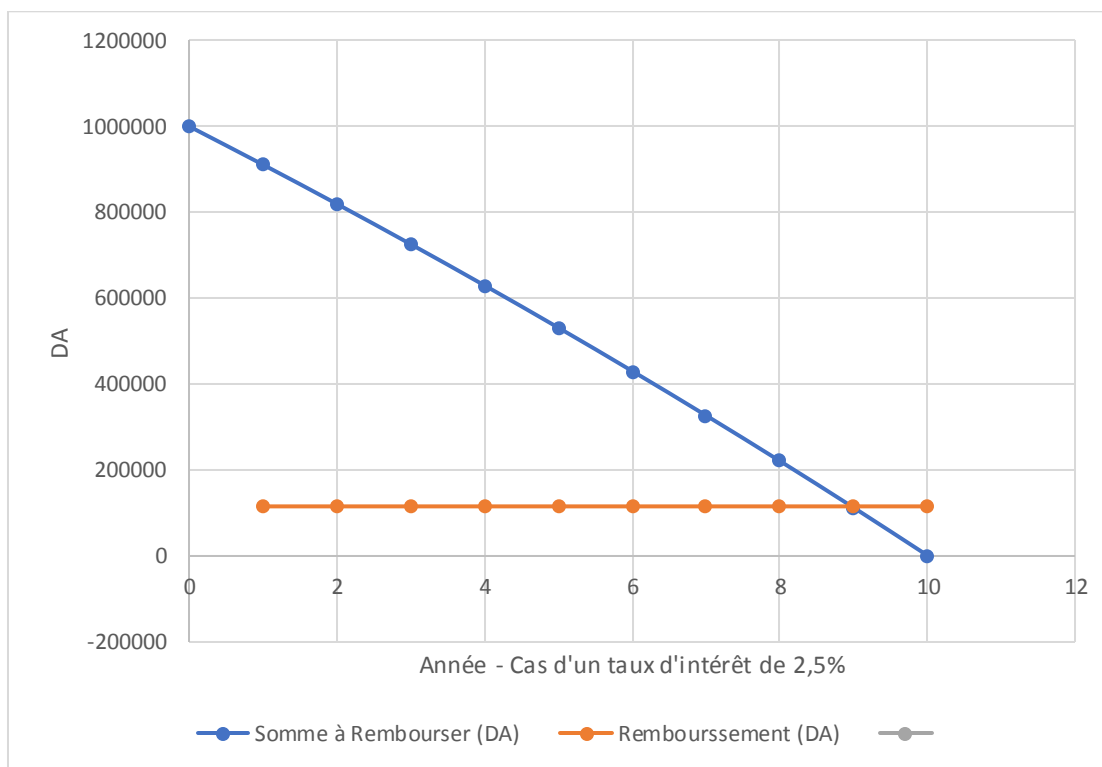


Figure 6 : Remboursement d'un emprunt de 1MDA à un taux d'intérêt de 2.5%

## Calcul de la rentabilité du projet

Pour arriver à calculer le temps de retour simple ainsi que la valeur actualisée nette, il faut prendre un certain nombre d'hypothèses de calcul. Un autre critère de rentabilité, le taux de rentabilité interne, sera brièvement présenté.

### a- Calcul du temps de retour

Le temps de retour est le rapport entre le gain annuel net et l'investissement net. Ce critère de rentabilité ne tient donc pas compte d'une évolution future du prix des énergies, du taux d'inflation et du taux d'actualisation de l'argent.

Le gain annuel net se calcule par différence entre la facture **avant** et **après** installation de l'unité d'énergies renouvelables.

La facture **avant** l'installation des énergies renouvelables comprend les termes suivants :

1. Facture d'achat d'électricité au réseau, de l'eau chaude, de l'eau distillée, etc. ;

Cette facture est relative aux consommations de l'année de référence. Il est donc important à ce stade d'éventuellement appliquer un (petit) facteur correctif permettant d'arriver à un montant de facture plus proche de la réalité "actuelle". En effet, si l'année de référence choisie est éloignée (2009 par exemple), la facture correspondra à des prix de l'énergie en 1999 qui étaient plus intéressants que les prix actuels. Dans ce cas, il faudra appliquer un facteur multiplicatif au montant des factures de 2009.

La facture **après** l'installation des énergies renouvelables comprend les termes suivants :

1. Facture d'achat d'électricité d'appoint au réseau ;

2. Les frais d'entretien et d'assurance.

⊕ : Il faut considérer que l'installation sera à l'arrêt au plus mauvais moment (chauffe-eau solaire ou photovoltaïque en hiver) qui aura une répercussion négative sur la facture d'électricité et ou du gaz acheté, en termes de coût supplémentaire, et donc pénalisant pour la rentabilité du projet.

A cela s'ajoute les gains annuels réalisés, le cas échéant, par :

1. La vente, au réseau, de l'électricité produite en surplus (ou eau distillée, eau chaude, etc.) par l'unité d'énergies renouvelables ;

2. Les économies d'exploitation réalisées suite à l'installation d'une cogénération (par exemple : coût évité des poteaux et fils électriques) ;

L'investissement net d'une unité d'énergies renouvelables se calcule en décomptant du montant global de l'investissement, les aides financières (primes, subsides, remises, et/ou avantage fiscaux) que le commanditaire peut recevoir, ainsi que les coûts d'investissement évités (coût d'un groupe secours dans une maison de repos, par exemple).

Le montant global de l'investissement d'une unité d'énergies renouvelables comprend :

1. Le prix de base de l'appareil ;
2. Un supplément par exemple pour la marche en parallèle avec le réseau électrique, y compris les protections nécessaires ;
3. Le génie civil ;
7. La main d'œuvre et l'étude ;

⊕ : Afin de se situer du côté de la "sécurité", il peut être opportun de prendre un facteur de surinvestissement de 5 à 10 % à appliquer au montant global de l'investissement.

Par convention, tous les montants sont à **mentionner HTVA**. Généralement, une entreprise nationale voire une commune (Régie ou Service communale) sont assujettis à la TVA et ne la payent donc pas.

#### b) Calcul de la valeur actualisée nette

La valeur actualisée nette des gains engendrés lors de l'exploitation de l'unité des énergies renouvelables est la différence entre les flux financiers positifs ou gains (càd gains sur la facture d'électricité, etc., ...) et les flux financiers négatifs ou dépenses (càd investissement net, frais de combustible, entretiens, ...). Par ailleurs, ces flux financiers "futurs" sont actualisés en Dinars "actuel". En effet, il est important de pouvoir comparer des gains "futurs" avec un investissement à réaliser "aujourd'hui". Il s'agit de l'actualisation. Par exemple, la valeur actuelle d'un gain de 10 000 DA disponible dans 5 ans avec un taux d'actualisation de 4 % est de 8 219 DA. Autrement dit, pour obtenir 10 000 DA dans 5 ans, il suffit de placer 8 219 DA en banque avec un taux d'intérêt de 4 %.

En outre, la valeur actualisée nette tient compte de l'évolution des prix des composants intervenant dans les flux financiers, càd l'inflation sur le prix des entretiens ou l'augmentation du prix des énergies.

La formule donnant la valeur actualisée nette est la suivante :

$$VAN = - INV + \sum VA(Gains) - \sum VA(Dépenses)$$

avec

$$VA(Gain) = \sum_{t=1 \text{ à } n} \left[ Gain \frac{(1+j)^t}{(1+i)^t} \right]$$

Où : VAN = Valeur Actualisée Nette

INV = Investissement initial net

VA = Valeur Actuelle d'une variable (gain ou dépense)

t = année

n = durée de vie économique de l'investissement

i = taux d'actualisation

j = taux d'évolution du prix d'une variable (gain ou dépense)

$\Sigma$  = sigle de sommation

⊕ : A ce stade, il est important de prendre en considération les bonnes hypothèses afin de ne pas surévaluer la rentabilité financière du projet à savoir la valeur actualisée nette :

1. La durée de vie **technique** d'une unité, avant remplacement complet du moteur (ou de la turbine) est d'environ 100 000 heures. Par exemple, pour un fonctionnement à 5 000 heures par an, cela correspond à une durée de vie de 20 ans. Cependant, afin d'être plus strict, il est conseillé de prendre une durée de vie **économique** de 50 000 heures (ou 10 ans pour cet exemple), qui correspond au moment du gros entretien du moteur (remplacement des chemises, pistons, culasses, paliers, turbo, ...). En pratique, le moment de ce gros entretien varie d'un fournisseur à l'autre (de 36 000 heures à 60 000 heures).

2. Le taux d'actualisation (annuel) permet d'exprimer un gain futur en Dinar d'aujourd'hui, ce qui correspond au taux d'intérêt offert par les banques. Cependant, comme il faudra généralement emprunter l'argent nécessaire pour investir dans une unité, il est préférable de prendre un taux d'actualisation égal au taux d'emprunt (typiquement de 5 à 7 % dans le secteur tertiaire public). Un établissement du secteur privé prendra généralement un taux d'actualisation plus grand, qui tient compte d'un facteur de risque. Ce taux sera fourni par le commanditaire au bureau d'études.

3. Le taux d'inflation du prix des entretiens peut être pris égal à 2 %.

4. Plus le taux d'augmentation du prix est élevé, plus c'est pénalisant pour l'unité car la facture combustible après l'installation de l'unité augmente, ce qui implique que le gain annuel net diminue. Pour le gaz naturel et le mazout, il est recommandé de prendre un taux d'augmentation égal à 3 %, ce qui correspond au scénario "à long terme" le plus pessimiste, même si des fluctuations plus importantes mais sur une plus courte période sont possibles (tant à la hausse qu'à la baisse).

c) Un autre critère économique : le TRI

Un autre critère économique également utilisé, mais moins courant, est le Taux de Rentabilité Interne, ou TRI d'un investissement. C'est en fait le taux d'actualisation qui annule la valeur actualisée nette (VAN). L'intérêt du calcul du TRI d'un projet des énergies renouvelables est de permettre la comparaison de cette valeur avec le coût du capital. Si le TRI est supérieur au coût du capital (taux d'intérêt ou taux d'emprunt), le projet est rentable.