

La méthode TEC d'analyse économique

Partie 3: Application aux choix d'investissements économes et efficaces

© Bernard CHABOT

Expert Senior, ADEME, 500 route des lucioles, 06560 Valbonne - E-mail: bernard.chabot@ademe.fr

Sommaire:

1 Introduction	2
2 Expression et utilisation des paramètres économiques	2
2.1 La valeur actuelle nette différentielle $dVAN$	3
2.2 Le Coût Global Actualisé (CGA)	3
2.3 Le coût global annualisé	4
2.4 Le Coût Global Unitaire (CGU) d'un paramètre d'exploitation	4
2.5 Le TEC apparent (Taux d'Enrichissement en Capital apparent) $TECa$	4
2.5.1 Définition	4
2.5.2 TEC apparent d'un investissement efficace sans subvention à l'investissement	5
2.5.3 TEC apparent avec prise en compte d'une subvention à l'investissement initial	5
2.5.4 Relation entre le TEC apparent et les TEC des options individuelles	5
2.5.5 Critère de rentabilité	5
2.6 Le TEC différentiel $TECd$	5
2.6.1 Définition	5
2.6.2 Restriction d'emploi et relation avec $TECa$ et les TEC des options individuelles.....	6
2.6.3 Critère de rentabilité	6
2.7 Subvention <i>sie</i> à l'investissement efficace pour obtenir un TEC cible	6
2.8 Le taux de rentabilité interne différentiel $TRId$	7
2.8.1 Définition et expression en fonction du TEC apparent et du TEC différentiel.....	7
2.8.2 Critère de rentabilité basé sur le TRI différentiel	7
2.8.3 Expression de la VAN différentielle $dVAN$ en fonction du TRI différentiel $TRId$	8
2.9 Le temps de retour actualisé différentiel $TRAd$	8
2.9.1 Définition et expression en fonction du TEC apparent $TECa$	8
2.9.2 Critère de rentabilité basé sur le TRA différentiel.....	8
2.9.3 Expression de la VAN différentielle $dVAN$ en fonction du TRA différentiel $TRAd$	8
2.10 Le temps de retour brut différentiel $TRBd$	9
2.10.1 Définition	9
2.10.2 Condition de rentabilité	9
2.10.3 Relation entre $TRBd$ et $TRAd$ dans le cas de valeurs résiduelles nulles.....	9
2.10.4 Calcul de $dVAN$ en fonction de $TRBd$ dans le cas de valeurs résiduelles nulles.....	9
3 Synthèse de la démarche d'évaluation de l'option « efficace »	9
4 Application à la caractérisation d'une option efficace isolée	10
4.1 Contexte et objectif	10
4.2 Paramètres de rentabilité de la solution efficace	11
4.3 Lien entre le coût global unitaire CGU et le tarif de vente TV	12
4.4 Le paradoxe des ressources énergétiques gratuites	12
5 Conclusion	12

1 Introduction

Ce document présente l'application de la méthode TEC au cas de l'évaluation de la rentabilité résultant du choix d'investir dans un projet « efficace et économe » (indice « e ») au lieu d'investir dans un projet « conventionnel » (indice « c »). Le projet efficace et économe est bien sûr supposé être plus favorable au développement durable que le projet conventionnel du fait d'une consommation de ressources naturelle plus faible (énergie primaire, eau...) et d'une pression plus faible sur l'environnement et la société (déchets, émissions de gaz à effet de serre...).

Le contexte d'application de cette méthode TEC est toujours le même et peut-être résumé par les éléments suivants:

- Analyse économique et non analyse financière
- Analyse de la rentabilité globale des investissements, et non analyse de la seule rentabilité des fonds propres engagés.
- Calculs en monnaie constante.
- Taux d'inflation annuel i supposé constant.
- Cash-flows (flux nets annuels de trésorerie) constants pendant la durée d'exploitation choisie (depuis l'année 1 à l'année n), ce qui impose notamment de prendre en compte des provisions annuelles pour les grosses réparations ou le renouvellement de gros composants.
- Le taux d'actualisation réel t est défini comme le coût moyen pondéré réel du capital (dette et fonds propres). La valeur réelle t est reliée à la valeur nominale tn (avant correction de l'effet de l'inflation de taux constant i) par la relation suivante :

$$1+t = \frac{1+tn}{1+i}, \text{ ou } t = \frac{tn-i}{1+i} \quad \{3-1\}$$

- Les projets à analyser seront supposés répondre au schéma temporel général rappelé ci dessous :

Flux financiers \ Années (euros constants)	0	1	2	...	n	n+1	
Investissement initial	- I						Valeur résiduelle VR*I
Subvention à l'invest.	+ si.I						
Dépenses d'exploitation :							
Fixes (entr. maint. renouv.)		- Dem	- Dem	...	- Dem		
Proportionnelles à la prod.		- Dv	- Dv	...	- Dv		
Recettes d'exploitation		R	R	...	R		
Cash-flows (MBA)	CF0 = - I + si.I	CF1 = CF = R - (Dem + Dv)	CF2 = CF	...	CFn = CF	CFn+1=VR.I	

Il se peut qu'un paramètre X du cash-flow participant directement à la somme algébrique des recettes ou des dépenses soit amené à varier fortement et qu'on ne puisse pas de façon réaliste le rendre constant par exemple par la prise en compte de provisions. Dans ce cas on le remplacera par son équivalent constant X_e qui donne le même résultat économique et donc défini par :

$$\frac{X_e}{Ka(t,n)} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{(1+t)^i} \quad \{3-2\}$$

où $Ka(t,n)$ est le coefficient d'actualisation défini à partir du taux réel d'actualisation t (égal au coût moyen pondéré des ressources en capital de l'investisseur) et de la durée d'observation économique n :

$$Ka(t,n) = Ka = \frac{t(1+t)^n}{(1+t)^n - 1} = \frac{t}{1 - (1+t)^{-n}} \quad \{3-3\}$$

On pourra ainsi se ramener au cas de référence général des projets à cash-flows constants, avec l'avantage de pouvoir comparer très facilement les éléments rendus ainsi constants Dem , Dv et R des cash-flows de différents projets.

2 Expression et utilisation des paramètres économiques

2.1 La valeur actuelle nette différentielle $dVAN$

La valeur actuelle nette d'un projet est la somme des cash-flows actualisés depuis l'année zéro jusqu'à l'année $(n+1)$, donc comprenant l'investissement à l'année zéro, les années d'exploitation 1 à n et la valeur résiduelle $VR.I$ en année $(n+1)$. Cette valeur résiduelle est égale au solde des recettes et dépenses de cession ou de démantèlement si l'exploitation s'arrête en fin d'année n ou à la valeur actualisée à l'année $(n+1)$ des futurs cash-flows d'exploitation si celle-ci doit encore se continuer.

Nota : au lieu du terme VAN, le terme « Résultat actualisé » est parfois utilisé. De même, dans le cas où les investissements ne donneront lieu qu'à des dépenses lors de la période d'exploitation, comme on le verra ci-dessous on utilise parfois le terme « Coût Global Actualisé (CGA) ». Du fait de sa clarté et de son universalité, le terme VAN sera utilisé systématiquement dans la suite du document.

D'après le schéma et les conventions ci-dessus, les VAN des projets efficaces et conventionnels seront respectivement :

$$VAN_e = -Ie(1-sie-re) + \frac{CF_e}{Ka} \quad \{3-4\}$$

$$VAN_c = -Ic(1-sic-rc) + \frac{CF_c}{Ka} \quad \{3-5\}$$

où Ka est le coefficient d'actualisation défini par la formule {3-3} ci-dessus, et où re et rc sont les valeurs actuelles des valeurs résiduelles relatives exprimées en fraction de l'investissement initial I , soit :

$$r(t, n) = \frac{VR}{(1+t)^{(n+1)}} \quad \{3-6\}$$

Par convention, VR est positive s'il s'agit d'une recette (par exemple vente du droit d'exploitation à un autre investisseur en fin d'année n) et négative s'il s'agit d'une dépense (par exemple coûts de démantèlement actualisés à l'année $n+1$).

La « valeur actuelle nette différentielle » $dVAN$ résultant du choix d'investir dans la solution efficace et non dans la solution conventionnelle sera donc :

$$dVAN = VAN_e - VAN_c = -F + \frac{CF_e - CF_c}{Ka} \quad \{3-7\}$$

$$\text{où : } F = Ie(1-sie-re) - Ic(1-sic-rc) \quad \{3-8\},$$

et où Ka est défini en {3-3} et r est défini en {3-6}

Dans cette formule, les paramètres CF_e et CF_c ainsi que re et rc sont des nombres algébriques.

Critère de rentabilité : Le choix d'investir dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si $VAN_e > VAN_c$, c'est à dire si $dVAN > 0$.

2.2 Le Coût Global Actualisé (CGA)

Pour chacun des choix d'investissement (efficace ou conventionnel), le CGA est la somme arithmétique des seuls coûts actualisés de l'année zéro à l'année $(n+1)$. Il ne prend donc pas en compte les recettes d'exploitation éventuelles (mais il intègre les subventions éventuelles à l'investissement initial et la valeur résiduelle à l'année $n+1$). Son expression est donc :

$$CGA = (1-si+r)I + \frac{Dem + Dv}{Ka} \quad \{3-9\}$$

Dans le cas où les deux solutions « efficaces » et « conventionnelles » ne comportent que des dépenses (par exemple comparaison de deux solutions de chauffage de bâtiments à partir d'énergie achetée à un fournisseur extérieur), la VAN de chaque solution est égale à son CGA. Dans ce cas, la solution efficace sera rentable si son CGA est inférieur à celui de la solution conventionnelle.

Dans le cas où au moins une des solutions permet des recettes (par exemple si la solution « efficace » comporte un système de cogénération chaleur/électricité avec revente du surplus d'électricité sur le réseau), la rentabilité doit se déterminer à partir de $dVAN$ et non à partir de la comparaison des CGA.

Compte tenu de l'absence de prise en compte des recettes dans la définition du CGA, on conçoit aisément qu'il soit préférable d'utiliser de préférence le critère $dVAN$ que le critère CGA pour évaluer rationnellement la rentabilité du choix de la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle.

Le CGA permet cependant comme on le verra ci dessous de calculer le « prix de revient » (le « Coût Global Unitaire ») de certains paramètres physiques relatifs aux productions ou aux consommations découlant de l'exploitation.

2.3 Le coût global annualisé

Il est défini pour chacune des solutions comme le seul coût virtuel annuel constant pendant la durée d'exploitation des années 1 à n amenant au même CGA. Sa valeur est donc définie par la relation suivante :

$$\frac{Da}{Ka} = CGA, \text{ soit } Da = Ka(1 - si + r)I + Dem + Dv \quad \{3-10\}$$

Si les solutions efficaces et conventionnelles ne comportent que des dépenses, c'est la solution qui présente le coût global annualisé le plus faible qui est la plus intéressante économiquement. Dans tous les autres cas, on devra juger de la rentabilité économique par le critère $dVAN$ ci dessus.

2.4 Le Coût Global Unitaire (CGU) d'un paramètre d'exploitation

Les paramètres physiques d'exploitation à considérer pendant la durée d'exploitation peuvent être différents suivant l'évaluation recherchée. Dans le cas de la comparaison de deux systèmes de chauffage il pourra s'agir par exemple d'une part de l'énergie consommée et d'autre part des émissions de gaz à effet de serre. Dans le cas de centrales électriques il pourra s'agir du kWh produit et des émissions de CO₂. Dans le cas de la comparaison entre systèmes de transports il pourra s'agir de kilomètres annuels parcourus, etc. Dans tous les cas le CGU représentera le « prix de revient » par unité de paramètre produit ou consommé pris en considération.

Par définition, le CGU du paramètre considéré est le ratio entre la somme des coûts actualisés de l'année 0 à l'année $(n+1)$ et la somme des productions ou des consommations annuelles Q de ce paramètre, elles aussi actualisées, de l'année 1 à l'année n .

Dans le cas où la quantité annuelle Q est constante de l'année 1 à l'année n , Le CGU du paramètre considéré menant à une production ou une consommation annuelle constante Q sera donc :

$$CGU = \frac{CGA - \frac{Ka \cdot CGA - Da}{Q}}{\frac{Q}{Ka}},$$

soit in fine : $CGU = \frac{Ka(1 - si + r)I + Dem + Dv}{Q} \quad \{3-11\}$

Dans le cas où Q varierait d'une année sur l'autre, on le remplacera dans l'équation ci dessus par Q_e le paramètre équivalent constant de l'année 1 à l'année n et donnant le même résultat en valeur actuelle que la somme des valeurs actualisées successives de Q . Le paramètre Q_e pourra donc être déterminé par la relation {3-2} ci dessus.

2.5 Le TEC apparent (Taux d'Enrichissement en Capital apparent) $TECa$

2.5.1 Définition

Pour un projet d'investissement isolé, le TEC est par définition le ratio entre la valeur actuelle nette du projet et son coût d'investissement initial.

Dans le cas d'un investissement résultant du choix entre deux alternatives possibles (projet « efficace » en lieu et place d'un projet « conventionnel »), le « TEC apparent » est défini comme le ratio entre la VAN différentielle $dVAN$

et l'investissement initial réellement consenti par l'investisseur après le choix de la solution efficace.

2.5.2 TEC apparent d'un investissement efficace sans subvention à l'investissement

L'investissement initial réellement consenti est Ie , donc le TEC apparent est défini par:

$$TECa = \frac{dVAN}{Ie} = \frac{CFe - CFc}{Ka.Ie} - \frac{Ie(1-re) - Ic(1-sic - rc)}{Ie} \quad \{3-12\}$$

2.5.3 TEC apparent avec prise en compte d'une subvention à l'investissement initial

L'investissement initial réellement consenti est $Ie(1-sie)$, donc le TEC apparent est défini par:

$$TECa = \frac{dVAN}{Ie(1-sie)} = \left[\frac{F}{(1-se)Ie} \right] + \frac{CFe - CFc}{Ka(1-se)Ie} \quad \{3-13\},$$

où comme défini en {3-8} $F = Ie(1-sie-re) - Ic(1-sic-rc)$

2.5.4 Relation entre le TEC apparent et les TEC des options individuelles

Les TEC des options d'investissement individuelles sont par définition respectivement :

- Pour la solution efficace :

$$TECe = \frac{VANe}{Ie(1-sie)}, \text{ où } VANe \text{ est définie en } \{3-4\}$$

- Pour la solution conventionnelle :

$$TECc = \frac{VANc}{Ic(1-sic)}, \text{ où } VANc \text{ est définie en } \{3-5\}.$$

Par définition, le TEC apparent est donc:

$$TECa = \frac{VANe - VANc}{Ie(1-sie)} = \frac{dVAN}{Ie(1-sie)} = \frac{TECe.Ie(1-sie) - TECc.Ic(1-sic)}{Ie(1-sie)}$$

soit :

$$TECa = TECe - TECc \frac{Ic(1-sic)}{Ie(1-sie)} \quad \{3-14\}$$

2.5.5 Critère de rentabilité

Le choix d'investir dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si la valeur du TEC apparent $TECa$ est supérieure à zéro.

Compte tenu de la relation {3-14}, ce critère de rentabilité se traduit par :

$$TECe > TECc \frac{Ic(1-sic)}{Ie(1-sie)} \quad \{3-15\}$$

Par définition du TEC apparent, pour une valeur spécifique $TECa$, l'enrichissement différentiel résultant de l'investissement dans la solution conventionnelle en lieu et place de la solution conventionnelle sera bien sûr :

$$dVAN = TECa(1-se)Ie \quad \{3-16\}$$

2.6 Le TEC différentiel $TECd$

2.6.1 Définition

Le TEC différentiel est le ratio entre la VAN différentielle $dVAN$ et la différence des montants d'investissements après subventions éventuelles entre la solution efficace et la solution conventionnelle, ou autrement dit il est le ratio

entre « l'économie globale » entraînée par le choix de la solution efficace et le « surcoût » d'investissement initial qu'elle représente.

$$TECd = \frac{dVAN}{dI} \quad \{3-17\}$$

avec :

$$dI = Ie(1-sie) - Ic(1-sic) \quad \{3-18\}$$

2.6.2 Restriction d'emploi et relation avec *TECa* et les TEC des options individuelles

Alors que le TEC apparent peut s'utiliser directement comme critère de rentabilité (à condition bien sûr que le taux de subvention *sie* soit inférieur à 1), l'usage du TEC différentiel n'est possible comme critère de rentabilité que si le surcoût d'investissement *dI* est supérieur à zéro. Et ce critère *TECd* sera d'autant plus pertinent que *dI* sera relativement important par rapport à l'investissement final réellement consenti si l'option « efficace » est choisie in fine.

Pour que le TEC différentiel corresponde dans la pratique à un critère rationnel de rentabilité, il ne doit être utilisé que pour évaluer une option efficace qui entraîne après subvention éventuelle un surcoût d'investissement initial non négligeable par rapport à l'investissement requis pour la seule solution efficace. C'est l'hypothèse qui sera prise pour les développements ci après. Dans les cas contraires, l'analyse devra se faire de préférence à partir du TEC apparent *TECa*.

De par sa définition et de celle de *TECa*, le TEC différentiel est relié au TEC apparent par la relation :

$$TECd = TECa \frac{Ie(1-sie)}{Ie(1-sie) - Ic(1-sic)} \quad \{3-19\}$$

La relation entre *TECd* et les TEC des option individuelles *TECe* et *TECc* est la suivante:

$$TECd = \frac{TECeIe(1-sie) - TECcIc(1-sic)}{Ie(1-sie) - Ic(1-sic)} \quad \{3-20\}$$

2.6.3 Critère de rentabilité

Sous réserve que la solution efficace entraîne après subventions éventuelles un surcoût effectif d'investissement initial, le choix d'investir dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si la valeur du TEC différentiel *TECd* est supérieure à zéro.

Du fait de la relation {3-18}, cette condition est la même que celle portant sur le critère *TECa* et elle aboutit à la même condition {3-15} sur les TEC des options individuelles. Du fait de l'absence de restriction d'usage sur le TEC apparent, on se basera donc en premier lieu sur ce dernier critère pour juger de la rentabilité ou non de l'option « efficace ». Par contre, comme on le verra plus loin, pour une option « efficace » dont la rentabilité est avérée, la valeur de son TEC différentiel donnera une indication plus fiable que celle du TEC apparent pour juger qualitativement si le niveau de rentabilité est suffisamment élevé ou non pour attirer les investisseurs potentiels.

Enfin, par définition du TEC différentiel, pour une valeur spécifique *TECd*, l'enrichissement différentiel résultant de l'investissement dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle sera bien sûr :

$$dVAN = TECd [Ie(1-sie) - Ic(1-sic)] \quad \{3-21\}$$

Si *dVAN* est importante et si à contrario le surcoût d'investissement initial *dI* après subventions est faible, on voit que les valeurs de *TECd* peuvent être très importantes et sans plus aucun rapport avec les TEC d'options individuelles d'investissements industriels courants (en général inférieures à 1, ou au maximum à 2 dans les meilleurs des cas).

Ceci renforce la restriction sur l'usage du TEC différentiel *TECd* vue ci dessus et la recommandation d'utiliser en priorité le TEC apparent *TECa* pour juger si l'option efficace est rentable par rapport à l'option conventionnelle.

2.7 Subvention *sie* à l'investissement efficace pour obtenir un TEC cible

Dans le cas où l'on vise pour le TEC apparent une valeur cible finale *TECaf*, et si le TEC apparent *TECa* calculé en l'absence de la subvention initiale au projet efficace (soit *TECa_i*) est inférieur à *TECaf*, il est possible de déterminer directement la valeur *sie* du taux de subvention à l'investissement requise pour que le TEC apparent atteigne la valeur

cible $TECaf$.

La valeur de $TECaf$ sera déterminé par la formule {3-13} ci dessus où sont intégrées à la fois les subventions sie et sic .

Avant prise en compte de la subvention sie , le TEC apparent initial $TECai$ est déterminé par la relation {3-12}

En tirant de {3-12} et de {3-13} la valeur de $(CFe-CFc)$ qui est la même avant et après subvention à l'investissement, et après simplifications, on peut en déduire la subvention à l'investissement initial de la solution efficace sie nécessaire pour remonter le TEC apparent avant subvention $TECai$ au niveau cible final $TECaf$ par la relation suivante remarquablement simple :

$$sie = \frac{(TECaf - TECai)}{(1 + TECaf)} \quad \{3-22\}$$

Nota : En utilisant le même raisonnement, on peut établir le même type de relation entre sie et $TECdi$ et $TECDF$:

$$sie = \frac{(TECDF - TECdi)}{(1 + TECDF)} \times \frac{[Ie - Ic(1 - sic)]}{Ie} \quad \{3-23\}$$

2.8 Le taux de rentabilité interne différentiel $TRId$

2.8.1 Définition et expression en fonction du TEC apparent et du TEC différentiel

Par définition, $TRId$ est la valeur du taux d'actualisation t qui annule $dVAN$. Donc, d'après la définition de $dVAN$ en {3-7}, on peut en déduire que :

$$0 = -F(TRId) + \frac{CFe - CFc}{Ie(1 - sie)} \quad \{3-24\},$$

où $F(TRI)$ est obtenu en remplaçant le taux d'actualisation t par TRI dans l'expression {3-6} permettant de calculer $r.(TRId, n)$ et en utilisant le résultat dans la définition de F en {3-8}.

La différence des cash-flows annuels courants $CFe - CFc$ est indépendante du taux d'actualisation, donc en l'exprimant à partir de {3-24} et de {3-7} et en simplifiant il vient :

$$Ka(TRId, n) \left[1 - \frac{re(TRId, n)}{1 - sie} - \frac{Ic(1 - sic - rc(TRId, n))}{Ie(1 - sie)} \right] = Ka(t, n) \left[1 + TECa - \frac{re}{1 - sie} - \frac{Ic(1 - sic - rc)}{Ie(1 - sie)} \right] \quad \{3-25\}$$

Si re et rc sont nuls (pas de valeurs résiduelles en fin d'année n), {3-25} se simplifie en :

$$Ka(TRId, n) = Ka(t, n) \left[1 + TECa \frac{Ie(1 - sie)}{Ie(1 - sie) - Ic(1 - sic)} \right] \quad \{3-26\}.$$

Soit, du fait du lien établi en {3-19} entre $TECa$ et $TECd$:

$$Ka(TRId, n) = Ka(t, n) [1 + TECd] \quad \{3-27\}$$

Par ailleurs, comme dans le cas du TEC différentiel, on arrive à la conclusion de bon sens que pour que le TRI différentiel soit utilisé de façon pertinente, on ne doit le considérer que dans les cas où le surcoût d'investissement dI est supérieur à zéro et n'est pas négligeable devant le coût d'investissement de la seule solution efficace. Si ce n'est pas le cas, les valeurs correspondantes de $TRId$ peuvent s'envoler bien au delà des valeurs courantes de TRI simples constatées dans l'analyse de rentabilité des projets d'investissement isolés (TRI réel global variant de 6 à 12 % à un maximum de 15 à 20 % dans les meilleurs des cas).

2.8.2 Critère de rentabilité basé sur le TRI différentiel

L'investissement dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si le taux d'actualisation t égal au coût moyen pondéré des ressources en capital est inférieur au TRI différentiel $TRId$.

2.8.3 Expression de la VAN différentielle $dVAN$ en fonction du TRI différentiel $TRId$

En utilisant les relations {3-7} et {3-24}, comme les cash-flows courants sont indépendants du taux d'actualisation, on peut exprimer $dVAN$ directement en fonction du TRI différentiel $TRId$:

$$dVAN = -F(t,n) + F(TRId,n) \frac{Ka(TRId,n)}{Ka(t,n)} \quad \{3-28\},$$

$$\text{où } F(x,n) = Ie[1 - sie - re(x,n)] - Ic[1 - sic - rc(x,n)] \quad \{3-29\},$$

avec $x = t$ ou $x = TRId$ dans l'expression {3-6} permettant de calculer $re(x,n)$ et $rc(x,n)$.

Dans le cas où $re = rc = 0$, $F(TRId,n) = F(t,n)$ et {3-28} se simplifie en :

$$dVAN = [Ie(1 - sie) - Ic(1 - sic)] \frac{Ka(TRId,n) - Ka(t,n)}{Ka(t,n)} \quad \{3-30\}$$

2.9 Le temps de retour actualisé différentiel $TRAd$

2.9.1 Définition et expression en fonction du TEC apparent $TECa$

Par définition, le TRA différentiel est la valeur de la durée d'observation économique n qui annule $dVAN$. Donc, en faisant l'hypothèse que la valeur résiduelle $VR.I$ ne dépend pas de n , d'après {3-7}, on peut en déduire le même type de relation qu'entre $TRId$ et $TECa$ soit :

$$Ka(t, TRAd) \left[1 - \frac{re(t, TRAd)}{1 - sie} - \frac{Ic(1 - sic - rc(t, TRAd))}{Ie(1 - sie)} \right] = Ka(t, n) \left[1 + TECa - \frac{re}{1 - sie} - \frac{Ic(1 - sic - rc)}{Ie(1 - sie)} \right] \quad \{3-31\},$$

où $r(t, TRAd)$ est la valeur de r obtenue dans {3-6} avec $n = TRAd$.

Si re et rc sont nuls (pas de valeur résiduelle en fin d'année n), {3-31} se simplifie en :

$$Ka(t, TRAd) = Ka(TRId, n) = Ka(t, n) \left[1 + TECa \frac{Ie(1 - sie)}{Ie(1 - sie) - Ic(1 - sic)} \right] = [1 + TECd] Ka(t, n) \quad \{3-32\}.$$

2.9.2 Critère de rentabilité basé sur le TRA différentiel

L'investissement dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si le temps de retour actualisé différentiel $TRAd$ est inférieur à n .
Compte tenu de l'hypothèse faite ci dessus sur l'indépendance des valeurs résiduelles $VR.I$ par rapport à la durée d'observation économique n , hypothèse qui n'est pas forcément vérifiée dans la pratique, on se limitera à n'utiliser ce critère du TRA différentiel que lorsque les valeurs résiduelles VRe et VRc sont nulles.

2.9.3 Expression de la VAN différentielle $dVAN$ en fonction du TRA différentiel $TRAd$

Comme en § 2.8.3 à partir du TRI différentiel, en faisant l'hypothèse que les valeurs résiduelles VRe et VRc ne dépendent pas de n on peut aussi calculer la VAN différentielle $dVAN$ à partir du TRA différentiel, avec comme résultat :

$$dVAN = -F(t,n) + F(t, TRAd) \frac{Ka(t, TRAd)}{Ka(t,n)} \quad \{3-33\},$$

$$\text{où } F(t,y) = Ie[1 - sie - re(t,y)] - Ic[1 - sic - rc(t,y)] \quad \{3-34\},$$

avec $y = n$ ou $y = TRAd$ dans l'expression {3-6} permettant de calculer $re(t,y)$ et $rc(t,y)$.

Dans la pratique, compte tenu de la fragilité de l'hypothèse de l'indépendance des valeurs résiduelles relatives VRe ou VRc vis à vis de n , cette relation n'est à utiliser que si $re = rc = 0$ (pas de valeurs résiduelles en fin d'année n). Dans ces conditions {3-33} se simplifie alors en :

$$dVAN = [Ie(1-sie) - Ic(1-sic)] \frac{Ka(t, TRAd) - Ka(t, n)}{Ka(t, n)} \quad \{3-35\}$$

2.10 Le temps de retour brut différentiel *TRBd*

2.10.1 Définition

D'après la définition de *dVAN* en {3-7}, pour que *dVAN* soit supérieure à zéro, il faut que :

$$\frac{CFe - CFc}{Ka(t, n)} > F(t, n), \text{ donc que } \frac{F(t, n)}{CFe - CFc} < \frac{1}{Ka(t, n)} \quad \{3-36\}$$

Par analogie avec le cas d'un investissement considéré séparément où le temps de retour brut TRB est le ratio entre l'investissement initial et le cash-flow courant moyen, le ratio :

$$TRBd = \frac{F(t, n)}{CFe - CFc} = \frac{Ie[1-sie-re(t, n)] - Ic[1-sic-rc(t, n)]}{CFe - CFc} \quad \{3-37\},$$

est appelé le « Temps de Retour Brut différentiel » *TRBd*. Son utilisation n'est pertinente (valeur supérieure à zéro) que dans le cas où l'option efficace a une rentabilité différentielle avérée (donc dans le cas où *TECa* > 0).

Il convient de noter que définition ci dessus de *TRBd* est plus logique que celle parfois utilisée par certains dans le cas d'investissements pris isolément et où le TRB ne prend pas en compte la valeurs actualisée de la valeur résiduelle de l'investissement au bout des *n* années d'exploitation.

2.10.2 Condition de rentabilité

Elle découle de {3-36} :

L'investissement dans la solution efficace en lieu et place de la solution conventionnelle est rentable si le temps de retour brut différentiel *TRBd* est inférieur à $1 / Ka(t, n)$

2.10.3 Relation entre *TRBd* et *TRAd* dans le cas de valeurs résiduelles nulles

Comme dans ce cas $re = rc = 0$, d'après {3-8} $F = dI$ et d'après la définition de *dVAN* en {3-7} et d'après {3-32} liant $Ka(t, TRAd)$ et *TECa*:

$$dI \cdot Ka(t, TRAd) = Ka(t, n) [dI + Ie(1-sie)TECa] = Ka(t, n)(dI + dVAN) = CFe - CFc,$$

donc :

$$\frac{dI}{CFe - CFc} = \frac{Ie(1-sie) - Ic(1-sic)}{CFe - CFc} = \frac{1}{Ka(t, TRAd)},$$

soit :

$$TRBd = \frac{1}{Ka(t, TRAd)} = \frac{1}{Ka(t, n)(1 + TEcd)} \quad \{3-38\}$$

2.10.4 Calcul de *dVAN* en fonction de *TRBd* dans le cas de valeurs résiduelles nulles

D'après {3-35} :

$$dVAN = [Ie(1-sie) - Ic(1-sic)] \left[\frac{Ka(t, TRAd)}{Ka(t, n)} - 1 \right],$$

d'où :

$$dVAN = [Ie(1-sie) - Ic(1-sic)] \left[\frac{1}{TRBd \cdot Ka(t, n)} - 1 \right] = [Ie(1-sie) - Ic(1-sic)] \frac{TRB \lim - TRB}{TRBd} \quad \{3-39\}$$

3 Synthèse de la démarche d'évaluation de l'option « efficace »

Les étapes suivantes résument la démarche rationnelle d'évaluation de la rentabilité du choix d'une option

« efficace » en lieu et place d'une option « conventionnelle » :

- a) Pour mémoire, déterminer le taux d'actualisation réel t (égal au coût moyen pondéré des ressources en capital pour l'investisseur considéré), la durée d'observation économique n (qui sera la même pour les deux options) et pour les deux options individuelles les coûts d'investissements initiaux, les valeurs résiduelles en fin d'année n et pour les n années d'exploitation les éléments équivalents constants du cash-flow et le cash-flow constant lui-même.
- b) Déterminer la VAN différentielle $dVAN$ (formule {3-7}).
- c) Déterminer le TEC apparent $TECa$ (formules {3-13} ou {3-14}). S'il est positif, calculer le TEC différentiel $TECd$ et le TRI différentiel $TRId$ et vérifier si leur valeur correspond aux attentes de l'investisseur (de préférence après une étude de sensibilité de cette rentabilité par rapport aux dérivés potentielles des paramètres les plus importants : taux d'actualisation, coûts d'investissements, recettes ou dépenses annuelles). Si c'est le cas, l'option « efficace » sera considérée comme suffisamment rentable et on passera à l'étape f . Si ce n'est pas le cas, les étapes d et e ci dessous seront nécessaires.
- d) Dans le cas où une subvention à l'investissement initial est possible, calculer son taux sie à partir du TEC apparent initial et du TEC apparent final cible (formule {3-22}), et vérifier que les valeurs du TEC différentiel et du TRI différentiel qui en résultent (via respectivement les formules {3-19} et {3-27}) sont compatibles avec les attentes de l'investisseur potentiel. Si ce n'est pas le cas, réajuster la valeur de $TECa$ puis vérifier que la subvention finalement ainsi déterminé est adaptée (taux, éligibilité, procédures, délais...).
- e) Reprendre l'évaluation en b et si nécessaire effectuer des itérations. Si aucune subvention potentielle ou aucun aménagement de l'option efficace ne permet de l'amener à un niveau suffisant de rentabilité différentielle, cette option devra être abandonnée au profit de la solution conventionnelle.
- f) Calculer pour information le temps de retour brut différentiel $TRBd$ (formule {3-37}) et si les valeurs résiduelles sont nulles le temps de retour actualisé différentiel $TRAd$ par la formule {3-32}.
- g) Conforter cette analyse économique menée au stade de l'étude de faisabilité par une analyse financière détaillée (qui comprendra notamment l'impact de la fiscalité et une analyse de la rentabilité des seuls fonds propres engagés dans l'opération) avant de prendre la décision définitive d'investir ou non dans l'option « efficace » en lieu et place de l'option « conventionnelle ».

L'aboutissement de ce processus à l'étape g pourrait laisser penser que les étapes précédentes sont inutiles, mais il n'en est rien : l'analyse économique globale doit précéder et éclairer l'analyse financière, surtout dans le cas de l'établissement de programmes d'incitations à la diffusion des options « efficaces », et la simplicité et la robustesse de cette analyse économique sont un gage de la fiabilité de ses conclusions.

4 Application à la caractérisation d'une option efficace isolée

4.1 Contexte et objectif

Une fois la rentabilité différentielle de la solution efficace supposée établie par rapport à la solution conventionnelle par l'analyse de rentabilité comparative ci dessus, ou tout simplement dans le cas d'une solution efficace prise isolément, il est intéressant de pouvoir caractériser plus finement la rentabilité absolue de cette solution prise isolément, notamment quand l'investissement est fait dans un but commercial et débouche sur la vente de produits ou de services sur le marché. Pour cela, des paramètres descriptif complémentaires, sous forme de ratios sont introduits ci dessous, et certains d'entre eux permettent d'introduire de nouveaux critères de rentabilité et de gestion de projet comme la marge sur prix de revient.

La solution efficace considérée maintenant unilatéralement peut être un processus de production et de vente quelconque : de kWh, d'eau, de produits industriels voire de sous produits indésirables comme des gaz à effet de serre.

Outre les paramètres généraux définis dans le schéma temporel décrit en introduction ci dessus, le processus de production sera caractérisé par :

- Sa capacité nominale de production horaire Ch . Pour la production d'électricité, Ch s'exprime en kWh par heure, donc la capacité horaire représente la puissance nominale P de l'installation exprimée en kW.
- Son facteur de charge annuel moyen exprimé en heures par an : $Nh = Q / Ch$ où Q est la quantité de produits fournie annuellement.
- Son coût unitaire d'investissement : $Iu = I / Ch$. Dans le cas de la production d'énergie, $Iu = IP$ (en euro par kW installé).
- Le ratio de coûts d'exploitation et d'entretien maintenance : $Kem = Dem / I$, où Dem est la somme des dépenses et provisions annuelles d'exploitation (autres que les dépenses variables), d'entretien, de maintenance et de renouvellement.

- Le coût variable unitaire : $Cvu = Dv / Q$, où Dv est la somme des dépenses variables annuelles.
- Le tarif de vente moyen constant de la production : TV , exprimé en euro par unité de produit ou de sous produit.

Comme indiqué précédemment, les paramètres annuels listés ci dessus sont considérés comme constants de l'année 1 à l'année n ou sont remplacés par leur équivalent annuel constant qui donne les mêmes résultats économiques que leur somme des valeurs annuelles actualisées dans le calcul du cash-flow annuel. Dans ce cas, l'équivalent annuel sera calculé par la relation {3-2}.

Les critères de rentabilité absolue seront tout d'abord les mêmes que ceux étudiés ci dessus lors de l'analyse de rentabilité différentielle:

- Valeur actuelle nette : VAN (au lieu de la VAN différentielle)
- Taux d'enrichissement en capital : TEC (au lieu du TEC apparent ou du TEC différentiel)
- Taux de rentabilité interne : TRI (au lieu du TRI différentiel)
- Temps de retour actualisé : TRA (au lieu du TRA différentiel)
- Temps de retour brut : TRB (au lieu du TRB différentiel)

Un critère supplémentaire sera ajouté : celui de la marge sur prix de revient $MPR = (TV - CGU) / CGU$, et des autres critères de marge qui peuvent en être déduits : le coefficient multiplicateur $CM = TV / CGU = 1 + MPR$ et la marge sur le prix de vente $MPV = (TV - CGA) / TV = (CM - 1) / CM = MPR / (1 + MPR)$.

Les résultats généraux de l'analyse de rentabilité différentielle exposés précédemment vont permettre de caractériser analytiquement les critères de rentabilité absolue de la seule solution d'investissement efficace considérée ici.

4.2 Paramètres de rentabilité de la solution efficace

Comme seule l'option efficace est à considérer, pour établir ses paramètres de rentabilité, il suffit de considérer que $Ic = 0$ dans les formules établissant précédemment les paramètres de rentabilité différentielle.

Les résultats sont donc les suivants après simplifications et en utilisant en tant que de besoin les ratios définis en § 4.1 ci dessus :

$$a) \text{ VAN : } \quad \text{VAN} = -I(1 - si - r) + \frac{CF}{Ka(t, n)} \quad \{3-40\}$$

$$b) \text{ TEC : } \quad \text{TEC} = \frac{Nh}{Ka.Iu(1 - si)} [TV - Cvu] - \left[\frac{1 - si - r}{1 - si} + \frac{Kem}{Ka(1 - si)} \right] \quad \{3-41\}$$

$$c) \text{ TRI : } \quad Ka(TRI, n) \cdot \left[1 - \frac{r(TRI, n)}{1 - si} \right] = Ka(t, n) \cdot \left[1 - \frac{r(t, n)}{1 - si} + \text{TEC} \right] \quad \{3-42\},$$

qui si $r = 0$ se simplifie en :

$$Ka(TRI, n) = Ka(t, n) [1 + \text{TEC}] \quad \{3-43\}$$

Toujours dans ce cas où $r = 0$, la VAN peut se déduire directement du TRI par :

$$\text{VAN} = I(1 - si) \frac{Ka(TRI, n) - Ka(t, n)}{Ka(t, n)} \quad \{3-44\}$$

$$d) \text{ TRA : toujours dans le cas où } r = 0 : Ka(t, TRA) = Ka(TRI, n) = Ka(t, n) [1 + \text{TEC}] \quad \{3-45\},$$

$$\text{et : } \quad \text{VAN} = I(1 - si) \frac{Ka(t, TRA) - Ka(t, n)}{Ka(t, n)} \quad \{3-46\}.$$

$$e) \text{ TRB : dans le cas où } r = 0 : \text{TRB} = \frac{I(1 - si)}{CF} = \frac{1}{Ka(t, TRA)} = \frac{1}{Ka(t, n)(1 + \text{TEC})} \quad \{3-47\},$$

et :

$$VAN=I(1-si)\left[\frac{1}{TRB.Ka(t,n)}-1\right] \quad \{3-48\}$$

4.3 Lien entre le coût global unitaire CGU et le tarif de vente TV

D'après {3-11} et en utilisant les ratios définis en § 4.1 pour la solution efficace :

$$CGU=\frac{Ka(1-si-r)+Kem}{Nh}Iu+Cvu \quad \{3-49\}$$

D'après la relation {3-41} entre TEC et TV :

$$TV=\frac{Ka[(1-sie)(1+TEC)-r]+Kem}{Nhe}Iu+Cvu \quad \{3-50\}$$

La marge sur prix de revient $MPR = (TV-CGU)/CGU$ sera donc après simplifications :

$$MPR=\left[\frac{Ka(1-si)}{Ka(1-si-r)+Kem}\right]\frac{(CGU-Cvu)}{CGU}TEC \quad \{3-51\},$$

qui se simplifie dans le cas où $r = 0$ en :

$$MPR=\frac{Ka(1-si)}{Ka(1-si)+Kem}\frac{(CGU-Cvu)}{CGU}TEC \quad \{3-52\}$$

4.4 Le paradoxe des ressources énergétiques gratuites

Dans {3-51} et {3-52}, la différence $CGU-Cvu$ représente le coût global unitaire du produit ou du service fourni, hors prise en compte de l'impact des coûts variables. Par exemple dans le cas d'une centrale électrique, $CGU-Cvu$ représente le coût unitaire du kWh hors prise en compte des coûts variables dus au coût du combustible. Si l'on considère deux investissements de production d'électricité qui présentent la même rentabilité cible exprimée en TEC, l'un avec des coûts variables unitaires (indice f pour « fossile ») et l'autre sans coûts variables unitaires (indice g pour « ressources gratuites », comme dans le cas de l'hydroélectricité, de l'éolien, du solaire et de la géothermie), en utilisant {3-52} on peut en déduire la relation suivante :

$$\frac{MPRg}{MPRf}=\left[\frac{Ka(1-sig)}{Ka(1-sif)}\right]\left[\frac{Ka(1-sif-rf)+Kemf}{Ka(1-sig-rg)+Kemg}\right]\frac{CGAf}{(CGAf-Cvuf)} \quad \{3-53\}$$

Dans le cas où les subventions à l'investissement initial sig et sif sont nulles, le ratio entre les deuxièmes crochets dans {3-53} est la plupart du temps légèrement supérieur à un. En première analyse on peut ainsi tirer de {3-53} la relation suivante pour ces deux centrales offrant chacune le même niveau de rentabilité économique globale exprimé en TEC :

$$\frac{MPRg}{MPRf}\geq\frac{CGAf}{CGAf-Cvuf} \quad \{3-54\}$$

Ainsi, en l'absence de subventions à l'investissement initial, pour qu'une centrale électrique « propre » car sans combustion et sans utilisation de combustible ait la même rentabilité qu'une centrale thermique conventionnelle à combustibles fossiles, sa marge sur prix de revient du kWh produit doit être égale la marge sur prix de revient du kWh d'origine fossile multipliée par le ratio $CGAf/(CGAf-Cvuf)$.

Or, ce ratio est de l'ordre de 2 pour une centrale moderne à charbon (dont la moitié du CGU du kWh produit est dû au coût du combustible) et de l'ordre de 3 pour une centrale à gaz à cycles combinés (dont les deux tiers du CGU du kWh produit sont dus au prix du gaz naturel).

Ce « paradoxe des sources d'énergie gratuites » n'est donc pas négligeable et ses conséquences potentielles devraient être prise en compte dans les politiques de promotion des filières renouvelables sans combustion particulièrement favorables à la protection des ressources naturelles non renouvelables et de l'environnement.

5 Conclusion

La méthode TEC permet donc via le critère du « TEC apparent » de calculer simplement et de façon fiable la

« rentabilité différentielle » résultant du choix d'investir dans une solution efficace et économe en lieu et place d'une solution conventionnelle.

La proportionnalité du TEC apparent ou du TEC différentiel par rapport à l'enrichissement différentiel résultant de ce choix permet de juger si le niveau de rentabilité atteint est correct ou non, et ce de façon plus fiable qu'en ayant seulement recours aux critères *TRId* (taux de rentabilité interne différentiel), *TRAd* (temps de retour actualisé différentiel) et *TRBd* (temps de retour brut différentiel) qui s'interprètent eux aussi comme leurs homologues utilisés lors de l'examen d'une option d'investissement unique. De plus, comme on a vu que l'on peut calculer ces critères classiques de rentabilité à partir du TEC apparent ou du TEC différentiel, il est toujours possible de vérifier si les résultats obtenus pour ces critères correspondent aux attentes traditionnelles de l'investisseur.

La rationalité et l'universalité apportées par le critère du taux d'enrichissement en capital lors de ce genre de décision d'investissement entre deux alternatives font donc de la méthode TEC, associée à la démarche d'évaluation qui a été exposée en § 3 ci dessus, un outil simple, fiable et universel pour établir sur des bases économiques solides les politiques en faveur du développement des solutions économes et efficaces.

Une fois que la rentabilité différentielle d'une de ces solutions efficaces est avérée, éventuellement grâce à une subvention à son coût d'investissement initial particulièrement simple à déterminer avec la méthode TEC, l'application de cette méthode à cette option unique d'investissement permet de la caractériser finement et de façon fiable et exhaustive. Ceci est dû en particulier aux liens explicités entre le paramètre TEC et les autres paramètres de rentabilité économique et au lien entre ce même TEC et les paramètres de marges sur le produit ou le service vendu.

La méthode TEC s'avère donc un outil de choix pour définir et mettre en pratique de façon simple et fiable des politiques énergétiques ou industrielles favorables au développement durable.
