



FORMATION SUR LES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO- ÉCONOMIQUE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉES AU RÉSEAU

MODULE 3: ASPECTS ÉCONOMIQUES DES PROJETS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉS AU RÉSEAU

Abdelkarim GHEZAL

OBJECTIFS

- Estimer les coûts des installations solaires PV
- Calculer le cout de revient d'un projet solaire photovoltaïque
- Calculer la rentabilité d'un projet solaire photovoltaïque
- Analyser les différents indicateurs financiers d'un projet solaire photovoltaïque



ESTIMATION DU COUT DE L'INSTALLATION SOLAIRE PV



BASES DE L'ESTIMATION

L'étude de faisabilité devra estimer le coût de l'installation solaire PV en prenant en considération :

- La taille de l'installation PV (puissance retenue),
- Les coûts moyens des installations solaires réalisées en Tunisie,
- Les surcoûts éventuels dus à des contraintes particulières (aménagement du site d'implantation des modules, renforcement des structures, besoins de structures porteuses adaptés, précautions particulières...)



BASES DE L'ESTIMATION

- L'étude de faisabilité devra estimer le coût de l'installation solaire PV en prenant en considération :
 - La taille de l'installation PV (puissance retenue),
 - Les coûts moyens des installations solaires réalisées en Tunisie,
 - Les surcoûts éventuels dus à des contraintes particulières (aménagement du site d'implantation des modules, renforcement des structures, besoins de structures porteuses adaptés, précautions particulières...)
 - Le BE/IC pourrait également s'appuyer sur des devis estimatifs élaborés par les sociétés installatrices éligibles.
- 

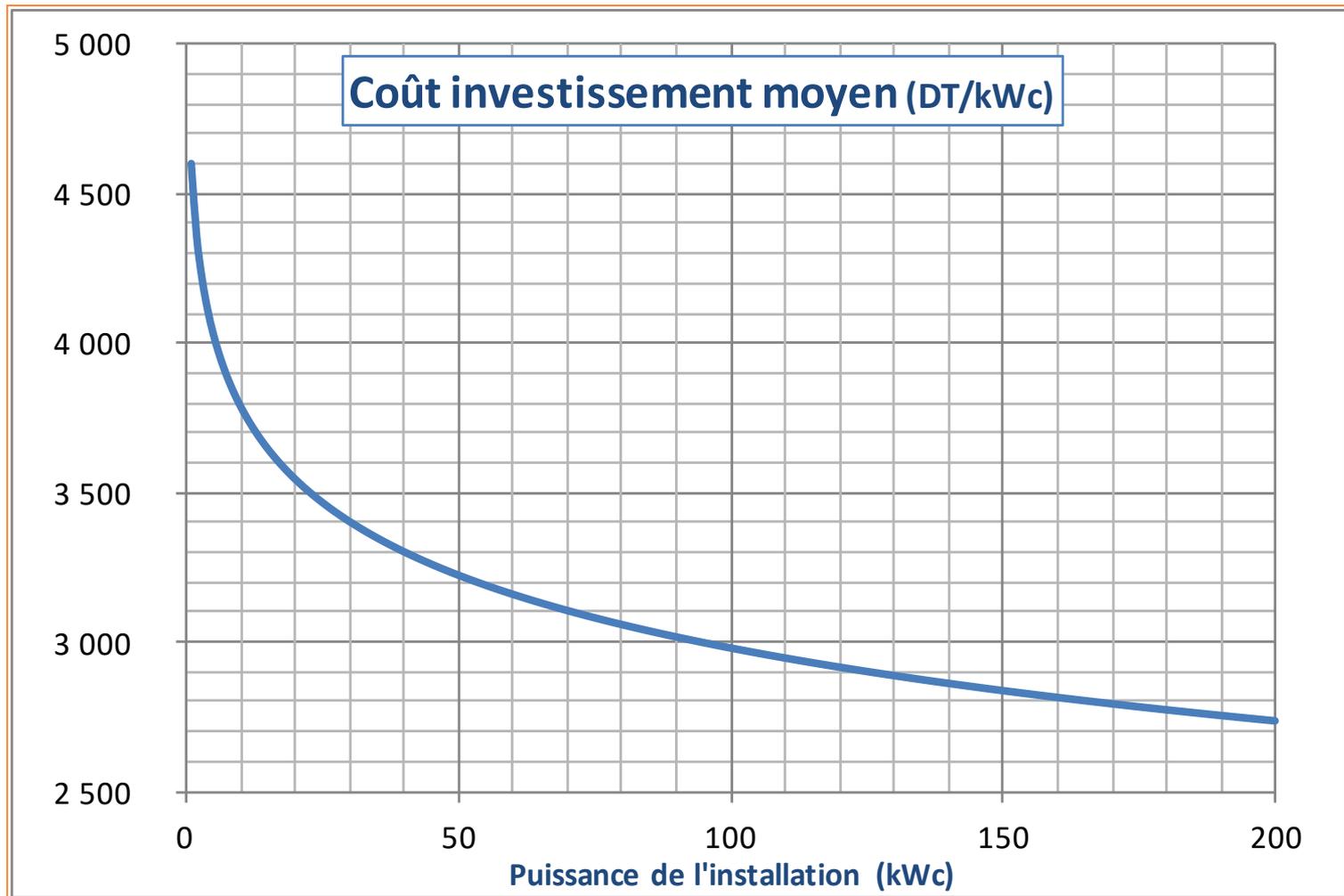
ESTIMATION DES COÛTS DES COMPOSANTS

- Il est nécessaire de séparer les coûts spécifiques des différents principaux composants de l'installation.
- Tous ces coûts devront être donnés en hors TVA et en TTC.
- Dans l'étude, l'estimation détaillée du coût de l'installation devra être récapitulée dans un tableau.

	Prix Hors TVA (DT)	TVA (%)	Prix TTC (DT)
- Modules photovoltaïques			
- Onduleurs solaires			
- Structures de fixation			
- Protections (DC / AC)			
- Câblage / petit matériel			
- Frais d'installation			
- Autres frais			
- Maîtrise d'œuvre			
Total Hors TVA (DT)			
Total TTC (DT)			

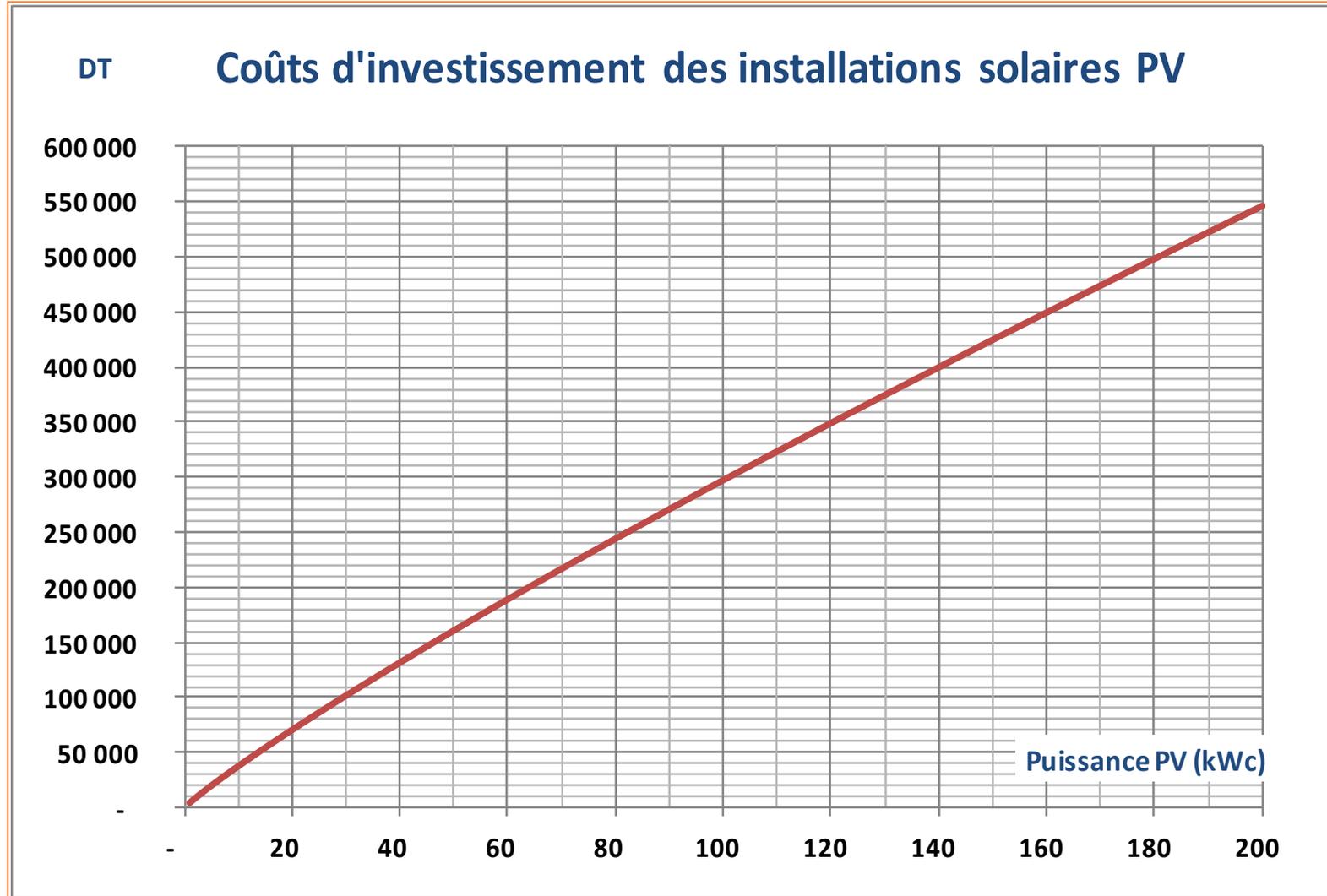
COÛTS MOYENS DES INSTALLATIONS PV

- Référence: Historique des prix moyens en Tunisie durant l'année 2016



COÛTS MOYENS DES INSTALLATIONS PV

- Référence: Historique des prix moyens en Tunisie durant l'année 2016



COÛTS D'EXPLOITATION DES INSTALLATIONS PV

- Les coûts d'exploitation intègrent les coûts d'opération et de maintenance des installations de production durant toute la durée du projet, le renouvellement des équipements, les assurances...
- Cette charge est estimée selon l'expérience internationale à **2%** de coût d'investissement initial (C. fixes).
- Les coûts de transport d'électricité devront être pris en considération pour les projets d'autoproduction réalisés sur des sites lointains des sites de la consommation: actuellement fixés à 7 m/m/kWh (C. Variables)



SCHÉMA DE FINANCEMENT



SCHÉMA DE FINANCEMENT DU PROJET

- Le schéma de financement du projet devra être discuté avec l'auto-producteur afin de fixer le taux d'autofinancement et de déterminer les conditions du prêt qui sera mobilisé pour clôturer ce plan de financement:
 - Taux d'intérêt;
 - Durée de remboursement;
 - Période de grâce.
- Le BE devra également estimer dans le schéma le montant de la **subvention** pouvant être accordée au projet par le Fonds de Transition Energétique (ou éventuellement d'autres subventions)



CONDITIONS DE FINANCEMENT

- ❑ **Fonds propres:** Contribution de l'auto-producteur à l'investissement initial : généralement entre 20% et à 30%.
- ❑ **Taux d'intérêt du crédit :** Sur le marché tunisien, ce taux est situé en général entre 6% et 9%.
- ❑ **Durée du crédit:** La durée du crédit est située en général entre 3 et 10 ans (avec possibilité d'une période de grâce).



SUBVENTIONS ACCORDÉES À L'AUTOPRODUCTION PAR LE SOLAIRE PV

❑ **Fonds de Transition Energétique (FTE) – Décret 2017 -983:**

❑ Installations PV raccordées au réseau BT: 1 200 DT/ KWc avec un plafond de 5 000 DT/ installation

❑ Installations PV raccordées au réseau MT: 20% du coût de l'investissement (Hors Taxes) avec un plafond de 200 000 DT par installation.

❑ *Etudes de faisabilité : 70% du coût de l'étude avec un plafond de 30 000 DT.*

❑ *Opérations d'appui et d'assistance: 70% du coût des opérations avec un plafond de 70 000 DT*

❑ *Autres Investissements immatériels: Une subvention dont le taux est fixée à 70% du coût avec un plafond de 70 000 DT.*

PRÉSENTATION DU SCHÉMA DE FINANCEMENT

Le schéma de financement du projet devra être présenté dans l'étude comme suit :

Taux d'autofinancement (%)	
Taux d'endettement (%)	
Montant de l'autofinancement (DT)	
Montant du crédit (DT)	
Taux d'intérêt du crédit (%)	
Durée de remboursement (ans)	
Durée de grâce (ans)	
Subvention accordée par le FTE (DT)	



RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DES PROJETS D'AUTOPRODUCTION PAR LE SOLAIRE PV



RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE

□ La rentabilité économique des projets d'autoproduction par le solaire PV est déterminé à travers l'analyse des flux de trésorerie (cash-flow) et le calcul des principaux indicateurs financiers de ces projets:

- Temps de retour – TR
- Valeur actualisée nette – VAN
- Taux de Rentabilité Interne – TRI

□ Le calculs de la rentabilité devra se faire sur la durée de vie de l'installation PV: 20 ans

□ On investit aujourd'hui dans le solaire pour réaliser des économies futures sur la facture électrique (durant les 20 prochaines années)
– **L'argent perd son valeur ?**

 Le taux d'actualisation permet d'apprécier la valeur des flux futurs à la date d'aujourd'hui. Il permet ainsi de comparer des flux financiers se produisant à des dates différentes.

TAUX D'ACTUALISATION

- Le taux d'actualisation est déterminé en fonction du profil individuel de l'investisseur potentiel.
- Un investisseur privé utilisera en général le coût du capital des investissements alternatifs (coûts d'opportunité) pour déterminer un taux d'actualisation réaliste.
- Le coût d'opportunité représente la rentabilité qu'un investisseur pourrait réaliser sur le marché grâce à un investissement alternatif; cet investissement alternatif doit être comparable en volume et en risque à l'investissement à évaluer.
- Un investisseur institutionnel utilisera en général le coût moyen pondéré du capital (CMPC, « Weighted Average Cost of Capital (WACC) » en anglais) comme taux d'actualisation.
- Le CMPC est aussi appelé le taux butoir. Ce taux constitue le taux de rendement acceptable (ou attractif) minimal pour l'investisseur

FLUX DE TRÉSORERIE

Le calcul des flux monétaires réalise un suivi, sur une base annuelle, de toutes les dépenses (flux sortants) et des revenus (flux entrants) induits par le projet solaire.

Flux sortants (-)

- Pour l'année zéro: le flux sortant est égal aux capitaux propres investis (portion de l'investissement apporté par l'agriculteur pour financer le projet)
- Pour les années subséquentes, le flux sortant représente le coût annuel d'exploitation et d'entretien associé au projet ainsi que le paiement de la dette (capital + intérêts).

Flux entrants (+)

- Pour l'année zéro, le flux entrant représente *la somme* des encouragements et des subventions
- Pour les années subséquentes, le flux entrant représente l'économie annuelle sur la facture électrique grâce au projet de l'autoproduction

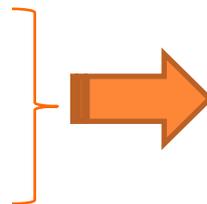
FLUX DE TRÉSORERIE

Facteurs influençant le flux de trésorerie des projets solaires PV :

Au niveau de dépenses	Au niveau de gains
Coûts d'investissement	Subventions accordées au projet
Coûts d'exploitation et d'entretien	Production électrique du projet (quantités + Profil)
Conditions de financement	Tarifs de l'électricité économisée (tarifs de vente STEG)
	Tarifs de vente des excédents de production vendue à la STEG

Profil de production par le solaire (pour le MT)

Tarifs STEG



L'économie sur la facture électrique dépend de la valeur économique du kWh produit par le solaire



FLUX DE TRÉSORERIE DURANT LA DURÉE D'EXPLOITATION

- Le calcul des flux de trésorerie annuels et cumulés devra couvrir toute la période d'exploitation de l'installation PV avec tous les détails nécessaires (frais de maintenance, remboursement des crédits, économies sur facture électrique, vente des excédents, cash-flow annuel, cash-flow cumulé au titre de l'année...) en tenant compte des paramètres suivants :
 - Taux d'actualisation
 - Taux d'inflation
 - Dégradation des performances de l'installation solaire
 - Evolution des tarifs de vente des excédents
 - Evolution des tarifs de l'énergie électrique substituée par le solaire (tarifs STEG).

DONNÉES D'ENTRÉE POUR LE CALCUL DU CASH FLOW

Durée d'exploitation de l'installation solaire	20 ans
Taux de dégradation des performances de l'installation PV	- 0.5%
Taux d'actualisation (%)	8%
Taux d'inflation (%)	4 %
Taux de croissance des tarifs d'électricité (%)	5%
Taux de croissance des tarifs de vente de l'excédent (%)	-
Taux de croissance des tarifs de transport d'électricité	-



CRITÈRES DE RENTABILITÉ : TEMPS DE RETOUR

- Temps de retour:
$$TR = \frac{I}{G_a}$$
- I: Investissement initial - G_a : Gain annuel net
- Pour les projets ER, le TR est la période correspondant à un flux de trésorerie cumulé nul
- Le projet est rentable si le TR est inférieur à sa durée de vie économique
- Calcul simple et rapide
- Ne tient pas compte de l'évolution de la valeur monétaire ni de la durée de vie du projet.
- Ne tient pas compte des cash-flows après la période de temps de retour
- Critère trop simpliste ne tenant pas compte des gains générés après la période de temps de retour.
- Ne convient pas comme critère de rentabilité des projets solaires

CRITÈRES DE RENTABILITÉ- VALEUR ACTUALISÉE NETTE VAN

- **VAN: Valeur Actualisée Nette**
- VAN = cash-flow actualisés = différence entre les revenus annuels actualisés et les dépenses annuelles actualisées sur la durée de vie du projet (investissement initial compris)

$$\text{VAN} = \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+a)^j} = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{F_j}{(1+a)^j}$$

R = Revenus F = Frais C = Cash-flow a = taux d'actualisation n: durée de vie du projet

- Le projet est rentable si la VAN > 0
- Les gains et les dépenses sont actualisés à l'année initiale de l'investissement
- Tient compte de la valeur temporelle de l'argent
- Les revenus couvrant la durée de vie entière du projet entrent en ligne de compte

Fonction Excel: Fonction NPV(rate;value1;[value2];...) (VAN en français)

CRITÈRES DE RENTABILITÉ- TAUX DE RENTABILITÉ INTERNE

- **TRI: Taux de Rentabilité Interne**
- TRI = Taux d'actualisation qui annule la VAN

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1 + tri)^j} = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1 + tri)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{F_j}{(1 + tri)^j} = 0$$

R = Revenus F = Frais C = Cash-flow tri = taux de rentabilité interne

- **Le projet est rentable si son TRI > taux d'actualisation**
- **Le TRI tient compte de la valeur temporelle de l'argent**
- **Les revenus couvrant la durée de vie entière du projet entrent en ligne de compte**

Fonction Excel : Fonction IRR(values:[guess]) (TRI en français)



CRITÈRES DE RENTABILITÉ: COÛT ACTUALISÉ DE L'ÉNERGIE

- Il s'agit en fait du coût global actualisé (Levelized Cost of Energy) de l'énergie électrique produite sur la durée de vie du projet N:

$$\text{LCOE} = I + \sum F(j)/(1+T)^j / \sum P(j)/(1+T)^j$$

Avec

- I investissement initial (à la date 0)
- F(x) montant du xème flux annuel (recettes – dépenses)
- P(x) production de l'année x (en kWh)
- x année concernée
- N durée de vie du projet
- T taux d'actualisation

- Investissement rentable si : $\text{LCOE} < \text{prix du kWh réseau}$



CRITÈRES DE RENTABILITÉ

Un investissement dans le solaire PV est rentable si...

- Temps de retour
 - ▶ $TR < \text{Durée de vie économique}$
- Valeur Actualisée Nette
 - ▶ $VAN > 0$
- Taux de Rentabilité Interne
 - ▶ $TRI > \text{Taux d'actualisation}$
- Coût Actualisé de l'Energie
 - ▶ $\text{Prix électricité Réseau} > LCOE$



OUTILS DE CALCUL DE RENTABILITÉ A UTILISER

- La rentabilité économique du projet d'autoproduction par le solaire PV devra être analysée en utilisant les outils Excel:
 - « *Analyse de cash-flow dynamique des projets photovoltaïques en Tunisie PROFIT PV* » pour les installations raccordées au réseau MT.
 - « *Analyse de cash-flow dynamique des projets photovoltaïques raccordée au réseau BT en Tunisie* » pour les installations raccordées au réseau BT.
- Ces outils sont mis à disposition par l'ANME.
- Le rapport de synthèse de l'outil de l'analyse de cash-flow dynamique devra être annexé à l'étude.



RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DE RENTABILITÉ

- Les hypothèses et les paramètres utilisés comme entrées lors du calcul de flux monétaires et de simulations effectuées par les outils de calcul devront être présentés dans l'étude.
- Les principaux résultats de l'analyse économique doivent être présentés dans un tableau récapitulatif.

Facture électrique annuelle de l'établissement sans PV (DT)	
Facture électrique annuelle de l'établissement avec PV (DT)	
Gain annuel de l'établissement grâce au PV (DT)	
Remboursement annuel des crédits (DT)	
Taux de rentabilité interne du projet (%)	
Valeur Actualisée Nette VAN (DT)	
Temps de retour sur investissement (ans)	
Ratio de couverture de la dette	



ANALYSE DE SENSIBILITÉ

- L'analyse de sensibilité consiste à changer les entrées du modèle financier afin d'analyser leurs impacts sur le flux monétaire et par conséquent sur les indicateurs financiers du projet.
- La sensibilité devra être analysée à travers la variation des facteurs ayant les impacts les plus importants sur les indicateurs de rentabilité des installations PV.
- Pour les projets solaires PV, les principaux paramètres à faire varier sont :
 - Le coût d'investissement ;
 - La production électrique annuelle de l'installation solaire ;
 - Le taux de croissance des tarifs de l'énergie électrique ;
 - Le taux d'intérêt du crédit bancaire.
- La variation pourrait se faire dans un intervalle de +/- 20% par rapport aux paramètres du scénario de référence.



EXEMPLES ET EXERCICES D'APPLICATION



Récapitulons ce module



COÛT MOYEN PONDÉRÉ DU CAPITAL

Taux d'actualisation : Coût Moyen Pondéré du Capital (CMPC ou WACC en anglais)

$$r = \frac{D}{D + E} \cdot r_d \cdot (1 - t) + \frac{E}{D + E} \cdot [r_{CAPM}]$$

r	WACC ou taux d'actualisation
D	Dette
E	Équité ou fonds propres
r _d	Coût de la dette ou intérêt de l'emprunt
r _{CAPM}	Taux de rendement des fonds propres
t	Taux d'imposition applicable (impôt sur le revenu)



RÉCAPITULONS CE MODULE

