



Module 8

Aspects financiers des projets de rénovation

Élaboré par AdEPorto (Agence de l'énergie de Porto)



Co-funded by
the European Union



Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Présentation du module 8



Ce module explore l'évaluation financière et économique des projets de rénovation énergétique des bâtiments, en soulignant que les décisions d'investissement doivent tenir compte non seulement des performances techniques, mais aussi de la viabilité financière à long terme. Il examine le contexte européen du financement de la rénovation, les concepts clés en matière de coûts tels que les CAPEX, les OPEX et les flux de trésorerie, ainsi que les indicateurs fondamentaux, notamment le ROI, le TRI, la VAN et la durée d'amortissement. Il met également en avant l'analyse du coût du cycle de vie et propose des applications pratiques pour faciliter la prise de décision éclairée.

Contenu du module 8

Leçon 53	Financement et évaluation économique de la rénovation énergétique des bâtiments
Leçon 54	Flux de trésorerie, CAPEX, OPEX et coûts indirects
Leçon 55	Indicateurs économiques
Leçon 56	Analyse du coût du cycle de vie
Leçon 57	Exercice sur l'analyse du coût du cycle de vie

LEÇON 53

Financement et évaluation économique de la rénovation énergétique des bâtiments

Objectifs de la leçon 53

1. Comprendre les flux de trésorerie comme les mouvements d'argent entrant et sortant d'un projet, reflétant la santé financière et la viabilité.
2. Distinguer les dépenses d'investissement (CAPEX) en tant qu'investissements initiaux dans des actifs qui améliorent les performances futures.
3. Identifier les dépenses d'exploitation (OPEX) comme des coûts récurrents liés à l'exploitation et à la maintenance des systèmes.
4. Reconnaître les coûts indirects comme des dépenses essentielles non liées aux actifs physiques, qui soutiennent la faisabilité, la conformité et le bon fonctionnement.
5. Analyser les entrées et les sorties de trésorerie pour calculer le flux de trésorerie net et évaluer la rentabilité du projet.

53.1 Introduction au financement et à l'évaluation économique de la rénovation énergétique des bâtiments

La rénovation énergétique du parc immobilier européen est essentielle pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, car la plupart des bâtiments existants resteront en service mais sont peu performants sur le plan énergétique. Des rénovations en profondeur sont nécessaires, mais les coûts initiaux élevés et les capacités financières limitées exigent des solutions de financement innovantes. L'évaluation économique à l'aide de la VAN, du TRI, du délai de récupération et de l'ACV soutient des stratégies rentables et durables.



Importance du financement et de l'évaluation économique de la rénovation énergétique des bâtiments

- Les bâtiments constituent une source majeure de consommation d'énergie et d'émissions dans l'UE
- La plupart des bâtiments existants resteront en service d'ici 2050, mais sont largement inefficaces
- Des rénovations en profondeur sont essentielles pour l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la numérisation
- Les coûts initiaux élevés et les capacités financières limitées rendent le financement crucial
- L'évaluation économique (VAN, TRI, délai de récupération, ACV) guide les décisions durables et rentables

53.2 Pourquoi la rénovation est-elle i

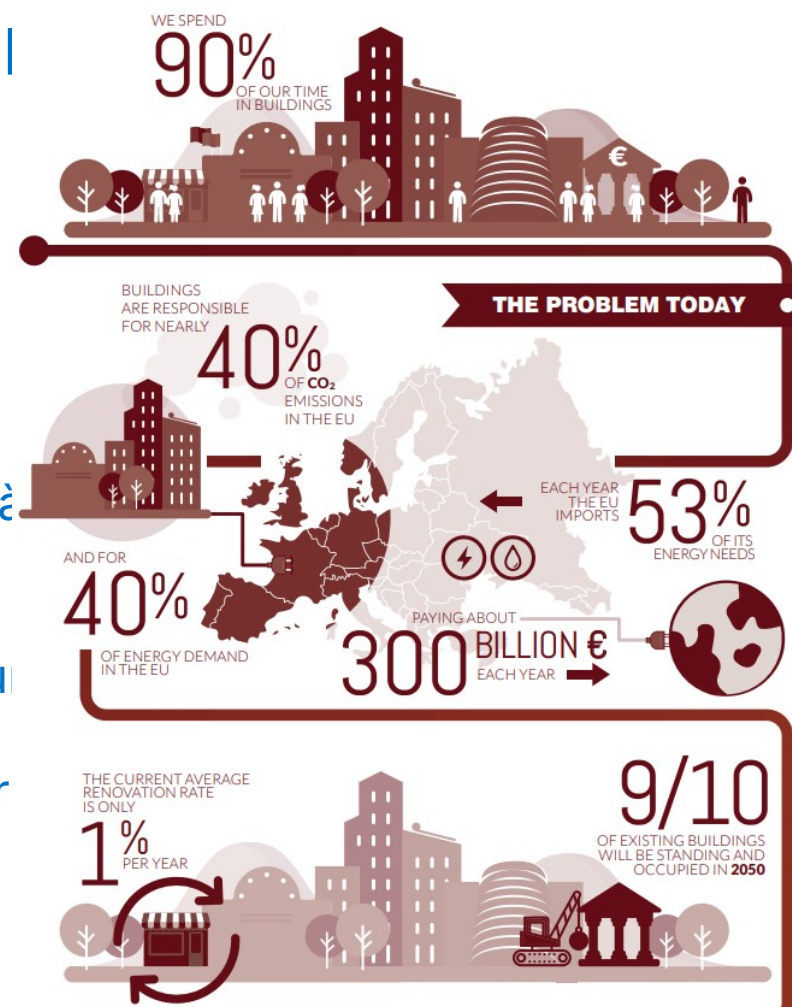
Le secteur du bâtiment joue un rôle crucial dans le système énergétique européen.

- Les bâtiments représentent environ 40 % de la consommation finale d'énergie dans l'UE.
- Ils sont responsables d'environ 36 % des émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie.

Environ 75 % du parc immobilier de l'UE est peu performant sur le plan énergétique

Le taux de rénovation n'est actuellement que d'environ 1 % par an

Sans accélération, les objectifs de neutralité climatique ne pourront pas être atteints. Les bâtiments représentent environ 40 % de la consommation finale d'énergie dans l'UE.

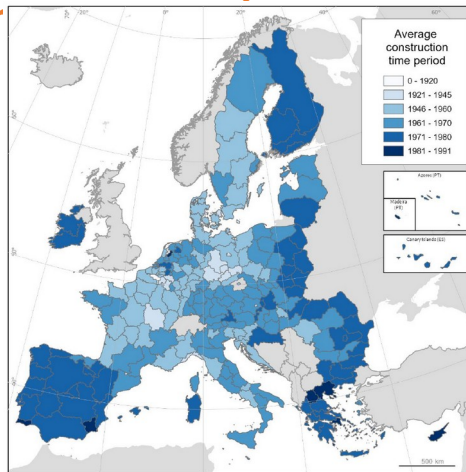


53.3 Âge et état du parc immobilier

Une grande partie du parc immobilier européen est **ancien et peu performant sur le plan énergétique**.

- De nombreux bâtiments ont été construits **avant 1970**, à une époque où les normes d'efficacité énergétique étaient limitées, voire inexistantes.
- Environ **75 % des bâtiments existants sont considérés comme peu performants sur le plan énergétique**.
- Près de **la moitié du parc immobilier affiche une note EPC inférieure à la classe D**.

Cela met en évidence
l'Europe



Durée moyenne de construction du
parc immobilier résidentiel dans l'UE

et le fort potentiel de rénovation énergétique à travers



Répartition des cotes EPC enregistrées dans l'UE.
https://energy.ec.europa.eu/index_en?redir=1

53.4 Cadre politique de l'UE : cadre politique européen pour la rénovation des bâtiments

L'Union européenne a mis en place plusieurs politiques visant à accélérer la décarbonisation du secteur du bâtiment.

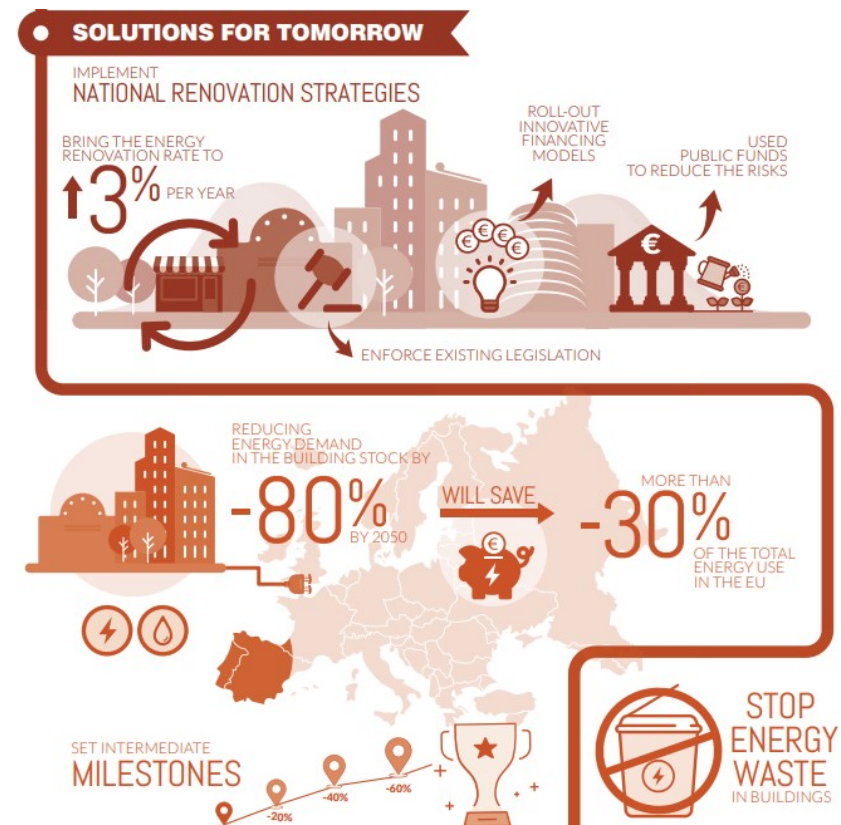
La directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD) établit le principal cadre réglementaire visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments et à parvenir à un **parc immobilier entièrement décarboné d'ici 2050**.

Les principaux objectifs sont les suivants :

- **Des bâtiments à zéro émission** pour les bâtiments publics d'ici **2028**
- Des exigences de zéro émission pour tous les nouveaux bâtiments d'ici **2030**
- Une réduction de la consommation d'énergie primaire dans le secteur résidentiel de **16 % d'ici 2030** et de **20 à 22 % d'ici 2035**

La stratégie « **Renovation Wave** », lancée en 2020, complète ce cadre en encourageant :

- **Le doublement du taux annuel de rénovation d'ici 2030**
- **Des rénovations énergétiques en profondeur**
- L'intégration des **énergies renouvelables et des technologies intelligentes**



Co-funded by
the European Union



Ensemble, ces politiques visent à accélérer la rénovation et à mettre le parc immobilier européen sur la **voie d'une neutralité climatique crédible**.



53.5 Importance de la rénovation des bâtiments existants

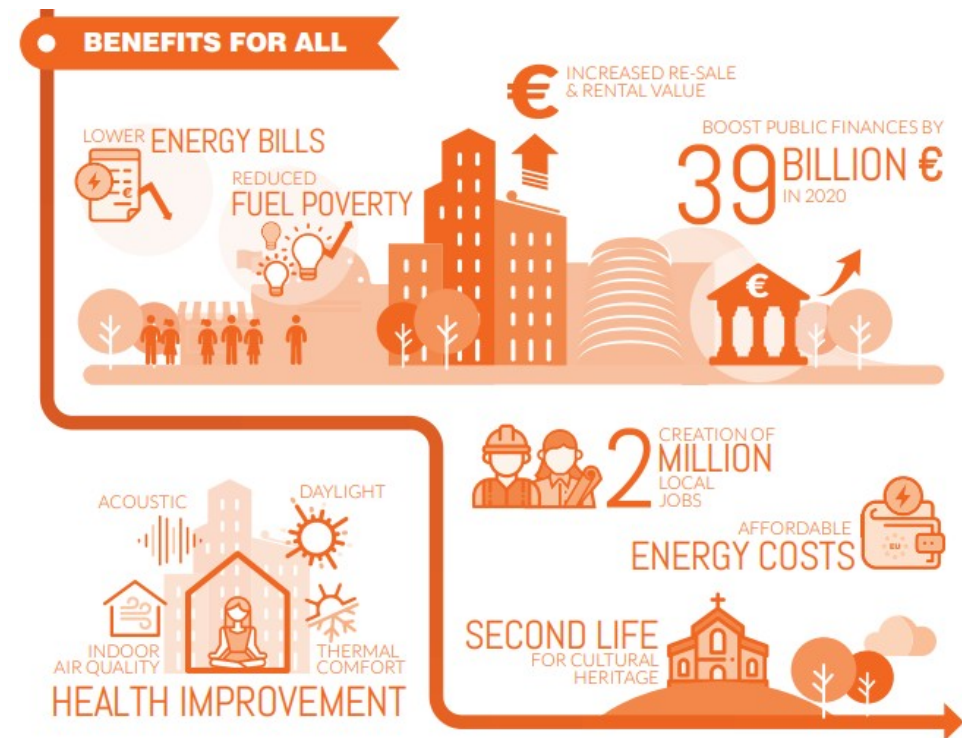
Environ **80 % des bâtiments existants aujourd'hui seront toujours en service en 2050.**

Par conséquent, la neutralité climatique dépendra principalement de **la rénovation du parc immobilier existant**, plutôt que de reposer uniquement sur la construction neuve

La rénovation énergétique peut offrir plusieurs avantages :

- Réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre
- Baisse des coûts énergétiques pour les ménages et les propriétaires immobiliers
- Amélioration du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur
- Une vulnérabilité réduite à la précarité énergétique
- Une durabilité accrue des bâtiments et une meilleure résilience face au changement climatique

De plus, la rénovation peut augmenter la valeur des biens immobiliers et stimuler l'activité économique dans le secteur de la construction, contribuant ainsi à la création d'emplois et au développement économique local.



53.6 Exigences en matière de rénovation en profondeur

Pour parvenir à un parc immobilier à zéro émission, il faut mettre en place des stratégies de rénovation globales qui améliorent considérablement la performance énergétique globale des bâtiments.

Les rénovations énergétiques en profondeur impliquent généralement une combinaison de mesures, notamment :

- Des enveloppes de bâtiment à haute performance, telles qu'une isolation améliorée, une étanchéité à l'air renforcée et des fenêtres à haut rendement énergétique
- Des systèmes de chauffage et de climatisation efficaces, notamment des technologies telles que les pompes à chaleur et les systèmes CVC avancés
- L'intégration de sources d'énergie renouvelables, telles que les systèmes solaires photovoltaïques (PV)
- Des systèmes énergétiques intelligents et un suivi numérique, qui optimisent la consommation d'énergie et améliorent la gestion des bâtiments
- La priorité est souvent donnée aux 15 à 25 % de bâtiments les moins performants.

La rénovation en profondeur se concentre sur **des améliorations systémiques du bâtiment**, plutôt que sur des mesures isolées.



Par conséquent, pour atteindre les objectifs climatiques à long terme de l'UE, il faut **aller au-delà des améliorations superficielles ou progressives** et adopter des stratégies de rénovation intégrées.



53.7 Difficultés financières

Principaux obstacles à la rénovation :

- Coûts initiaux élevés pour l'isolation, les pompes à chaleur, les fenêtres et les systèmes photovoltaïques.
- Accès limité au financement, en particulier pour les ménages et les petites organisations.
- Incertitude économique : prix de l'énergie, taux d'intérêt, inflation et durée de vie des équipements.
- Incohérence entre le court et le long terme : les bénéfices s'étalent sur plusieurs décennies

Besoin de mécanismes de financement innovants :

- subventions publiques, aides financières et incitations fiscales
- Prêts verts et conditions de financement avantageuses
- Contrats de performance énergétique et mécanismes de remboursement
- Garanties publiques et instruments de partage des risques



Co-funded by
the European Union



53.8 Besoins et exigences en matière d'investissement

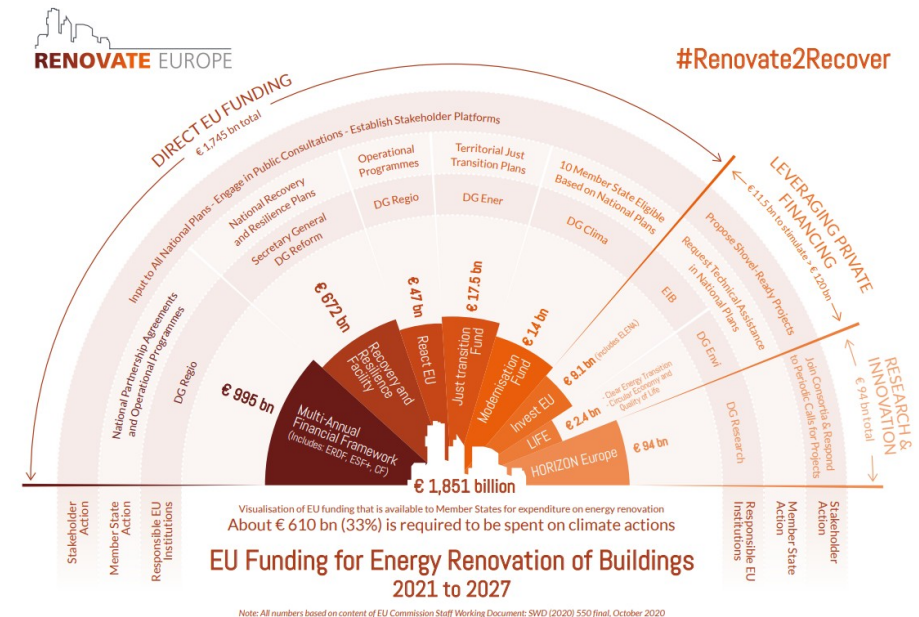
La réalisation des objectifs de l'UE en matière de rénovation des bâtiments nécessite une mobilisation financière massive :

- On estime à **275 milliards d'euros par an** les investissements supplémentaires nécessaires pour atteindre les objectifs fixés pour 2030.
- Les investissements actuels dans la rénovation ne couvrent qu'**environ un tiers du montant requis**.
- **Le déficit d'investissement climatique** dans le secteur du bâtiment s'élève à environ **120 milliards d'euros par an**.

Difficultés pour répondre aux besoins d'investissement :

- De grandes disparités entre les pays, les types de bâtiments et les niveaux de revenus.
- Les bâtiments anciens, les climats rigoureux et les ménages à faibles revenus sont confrontés à des coûts plus élevés.
- Les logements sociaux et publics pourraient avoir besoin **d'un soutien supplémentaire** en raison de leurs économies d'exploitation limitées.

Il est essentiel de mobiliser des financements tant publics que privés pour accélérer les rénovations en profondeur et mettre le parc immobilier de l'UE sur la voie de la neutralité carbone.



53.9 Gestion de l'incertitude

Les évaluations économiques doivent tenir compte de l'incertitude et des paramètres financiers à long terme.

- Des méthodes telles que l'analyse de sensibilité et les simulations de Monte Carlo permettent d'évaluer la robustesse des investissements de rénovation.
- Le taux d'actualisation est l'un des paramètres les plus influents dans l'évaluation économique.
- Des taux d'actualisation plus élevés ont tendance à favoriser les investissements à court délai de récupération et à réduire la valeur des économies à long terme.
- Les taux d'actualisation sociaux plus bas, souvent utilisés par les pouvoirs publics, prennent en compte des avantages sociétaux plus larges, tels que l'amélioration de la santé et la réduction des émissions.

53.10 Modèles d'évaluation et indicateurs financiers

L'évaluation de la performance économique des rénovations de bâtiments nécessite des modèles et des indicateurs financiers fiables.

Modèles d'évaluation :

- **Analyse coûts-avantages (ACA)** : compare l'ensemble des coûts et des avantages, y compris les impacts sociétaux.
- **Analyse du cycle de vie (ACV)** : se concentre sur les impacts environnementaux, tels que les émissions et l'utilisation des ressources.
- **Analyse des coûts du cycle de vie (ACCV)** : évalue l'ensemble des coûts sur le cycle de vie du bâtiment, y compris l'investissement, l'exploitation, l'entretien, le remplacement et la fin de vie.

Indicateurs financiers :

- **Valeur actuelle nette (VAN)** : mesure la valeur économique globale au fil du temps.
- **Taux de rendement interne (TRI)** : indique le rendement financier sous forme de pourcentage.
- **Délai de récupération** : délai nécessaire pour récupérer l'investissement initial.
- **Flux de trésorerie actualisés (DCF)** : organise les flux de trésorerie futurs et tient compte de la valeur temporelle de l'argent.

L'utilisation de ces modèles et indicateurs permet d'identifier des stratégies de rénovation rentables et à long terme alignées sur les objectifs climatiques de l'UE.



53.11 Pourquoi l'analyse du coût du cycle de vie (LCCA) est le modèle le plus approprié

L'analyse du coût du cycle de vie (LCCA) offre l'évaluation la plus complète :

Elle comprend :

- Les coûts d'investissement initiaux
- Les coûts d'exploitation (par exemple, la consommation d'énergie)
- les coûts de maintenance
- Remplacement des composants
- Coûts de fin de vie
- Valeur résiduelle (le cas échéant)

Fournit **la base la plus solide pour les décisions de rénovation à long terme.**

Les impacts environnementaux peuvent également être évalués en intégrant ces éléments dans une analyse du cycle de vie (CO₂, émissions et matériaux).

Applique **une actualisation** cohérente **dans le temps**

Conforme à :

**Cadre de rentabilité
de la directive EPBD
Normes ISO 15686-
5**

53.12 Conclusions

Le secteur du bâtiment joue un rôle crucial dans la réalisation de l'objectif de neutralité climatique de l'UE d'ici 2050.

- Environ **75 %** du parc immobilier de l'UE est peu performant sur le plan énergétique, tandis que **80 %** des bâtiments actuels existeront encore en 2050.
- **Le taux de rénovation actuel (~1 %) est bien inférieur à ce qui est nécessaire** pour atteindre les objectifs climatiques.

Un défi majeur

- La transition nécessite **des investissements financiers massifs**, estimés à **275 milliards d'euros par an**, avec un **déficit d'investissement** actuel d'environ **120 milliards d'euros par an**.

Exigence clé

- **Des mécanismes** efficaces **d'évaluation économique et de financement** sont essentiels pour soutenir la rénovation en profondeur.

Conclusion

- **L'analyse du coût du cycle de vie (LCCA)** offre le cadre le plus complet pour évaluer les stratégies de rénovation, aidant ainsi les décideurs politiques et les investisseurs à identifier **des solutions durables et optimales en termes de coûts sur le long terme**.

LEÇON 54

Flux de trésorerie, dépenses d'investissement (CAPEX), dépenses d'exploitation (OPEX) et coûts indirects

Objectifs de la leçon 54

1. Comprendre les flux de trésorerie comme les mouvements d'argent entrant et sortant d'un projet, reflétant la santé financière et la viabilité.
2. Distinguer les dépenses d'investissement (CAPEX) en tant qu'investissements initiaux dans des actifs qui améliorent les performances futures.
3. Identifier les dépenses d'exploitation (OPEX) comme des coûts récurrents liés à l'exploitation et à la maintenance des systèmes.
4. Reconnaître les coûts indirects comme des dépenses essentielles non liées aux actifs physiques, qui soutiennent la faisabilité, la conformité et le bon fonctionnement.
5. Analyser les entrées et les sorties de trésorerie pour calculer le flux de trésorerie net et évaluer la rentabilité du projet.

54.1 Introduction aux flux de trésorerie dans la gestion de projet

Dans un environnement économique en constante évolution, de nombreux projets rencontrent des difficultés ou échouent en raison d'une gestion inadéquate des flux de trésorerie. Cela souligne l'importance cruciale du suivi des entrées et des sorties de trésorerie. Une gestion efficace des flux de trésorerie peut avoir un impact significatif sur la réussite d'un projet en garantissant une liquidité suffisante, en facilitant la prise de décisions éclairées en matière d'investissement et d'allocation des ressources, et en assurant le bon déroulement des opérations même face à des défis imprévus.

Importance des flux de trésorerie dans un projet de rénovation

- **Assure la liquidité** → Couvre les entrepreneurs, les matériaux, les permis
- **Facilite la planification** → Prévoit les coûts et les investissements
- **Améliore l'efficacité** → Identifie les goulots d'étranglement et réduit le gaspillage
- **Permet des investissements stratégiques** → Finance les mises à niveau sans financement supplémentaire
- **Renforce la confiance des parties prenantes** → Démontre la maîtrise financière et la fiabilité



Co-funded by
the European Union



54.2 Flux de trésorerie

Qu'est-ce que le flux de trésorerie ?

Les flux de trésorerie représentent les mouvements d'argent entrant et sortant d'une entreprise, d'une organisation ou d'un projet sur une période donnée.

Types de flux de trésorerie

Flux de trésorerie d'exploitation

- Chiffre d'affaires
- Paiement des charges d'exploitation

Flux de trésorerie liés aux investissements

- Achat ou vente d'actifs
- Investissements en équipements ou dans de nouveaux projets

Flux de trésorerie liés au financement

- Prêts et emprunts
- Remboursement de la dette
- Paiements d'intérêts et de dividendes

$$\text{Flux de trésorerie} = \text{Entrées de trésorerie totale} - \text{Total des sorties de trésorerie}$$

Également appelé flux de trésorerie net

Interprétation

Flux de trésorerie positif → Entrées > Sorties

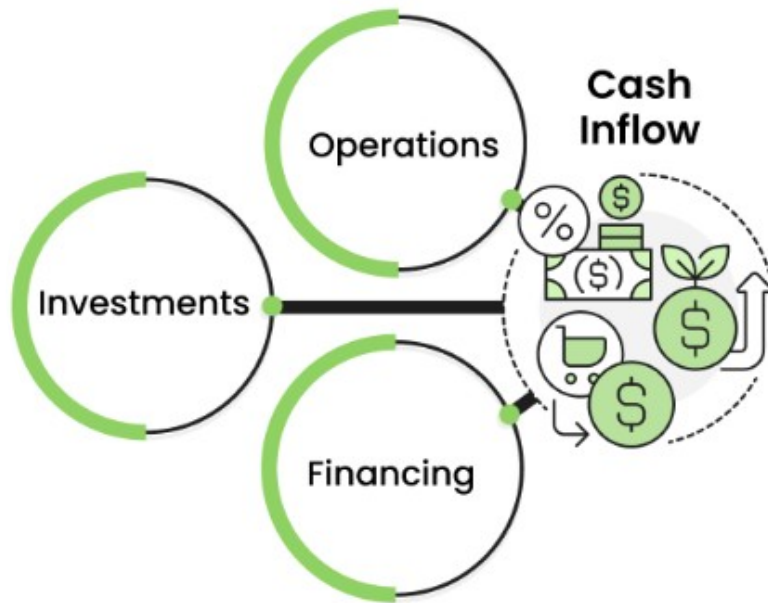
Flux de trésorerie négatif → Sorties > Entrées

Éléments importants à évaluer : liquidité ; durabilité ; viabilité du projet

54.3 Entrées de trésorerie

Que sont les entrées de trésorerie ?

Les flux de trésorerie entrants représentent les revenus ou les avantages économiques générés pendant la durée de vie du projet et reflètent la valeur financière réelle, même s'ils ne sont pas perçus sous forme de paiements directs.



Interprétation

Économies d'énergie → Réduction des factures d'électricité ou de gaz

Revenus provenant de l'énergie excédentaire → Vente de l'électricité excédentaire

Incitations et subventions → Aides publiques ou crédits d'impôt

Crédits carbone → Vente de réductions d'émissions

Valeur résiduelle des équipements → Récupération ou revente

Rôle dans l'analyse financière

Revenus → Revenus provenant des ventes et des services ; contribuent à amortir l'investissement initial et favorisent la rentabilité du projet.

Économies de coûts → Réduction des dépenses d'exploitation ; améliore l'efficacité opérationnelle ; réduit les dépenses récurrentes.

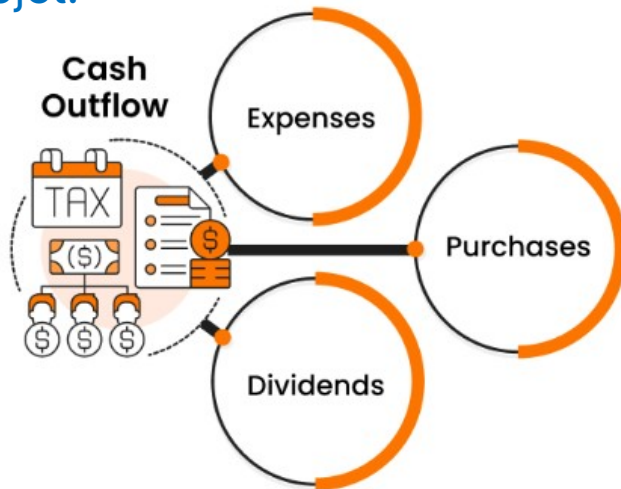
Incitations → Subventions et aides ; renforce la viabilité du projet.

Valeur résiduelle → Récupération et mise au rebut ; contribue à la réduction finale de trésorerie

54.4 Sorties de trésorerie

Que sont les sorties de trésorerie ?

Les sorties de trésorerie correspondent aux dépenses nécessaires à la mise en œuvre, à l'exploitation et à la maintenance d'un projet ; elles représentent l'argent réel qui quitte le projet.



Interprétation

Investissement initial → Éclairage efficace, modernisation des systèmes CVC, panneaux solaires

Coûts d'exploitation → Entretien, étalonnage, services de surveillance

Coûts de financement → Intérêts sur les prêts, frais, contrats de location

Coûts administratifs et de surveillance → Gestion de projet, audits, rapports

Rôle dans l'analyse financière

Investissement initial → Dépense initiale importante ; sortie de fonds la plus importante généralement en année 0 ; essentiel pour permettre la mise en œuvre du projet.

Coûts d'exploitation → Coûts récurrents pour assurer le bon fonctionnement du système ; ont un impact sur les performances financières annuelles.

Coûts de financement → Intérêts et frais ; affectent la rentabilité globale du projet et la disponibilité de trésorerie.

Coûts administratifs et de suivi → Dépenses de gestion et de vérification ; garantissent la bonne exécution et la conformité.

54.5 Flux de trésorerie - exemple

Exemple : Calculez les flux de trésorerie d'une petite entreprise qui a effectué plusieurs transactions au cours du mois de mars.

Entrées de trésorerie :		Sorties de trésorerie :	
Ventes au comptant	20 000	Paie ment du loyer	3 000 €
Règlement de factures antérieures	15 000	Salaires des employés	7 000
Fonds provenant d'un prêt bancaire	5 000	Achat de nouveaux équipements	4 000
Total des entrées de trésorerie	40 000	Remboursement de prêt	2 000
		Factures de services publics	1 000
		Total des sorties de trésorerie	17 000

$$\text{Flux de trésorerie} = \text{Entrées de trésorerie totales} - \text{Total Sorties de trésorerie}$$

$$\text{Flux de trésorerie} = 40\,000\,€ - 17\,000\,€$$

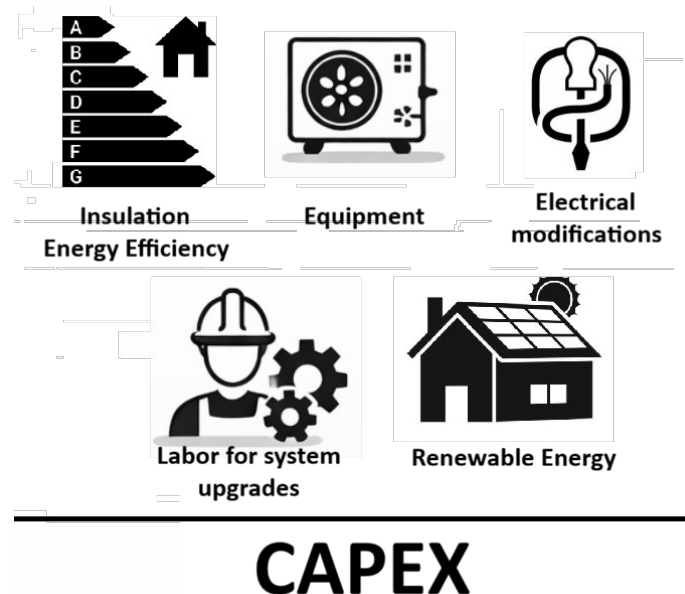
$$\text{Flux de trésorerie} = 23\,000$$

Également appelé flux de trésorerie net

54.6 Dépenses d'investissement (CAPEX)

Qu'est-ce que les dépenses d'investissement (CAPEX) ?

Les dépenses d'investissement désignent les investissements dans des actifs qui augmentent la valeur ou la performance, conduisant à une amélioration des flux de trésorerie futurs. Il s'agit généralement d'investissements durables à long terme qui nécessitent des dépenses initiales importantes mais offrent des rendements prévisibles au fil du temps.



Interprétation

Équipements : pompes à chaleur, isolation, chaudières à haut rendement, compteurs intelligents

Installation et modernisation : main-d'œuvre pour la mise à niveau des systèmes, les modifications électriques, l'amélioration des conduits

Intégration intelligente : logiciels de gestion de l'énergie, systèmes de contrôle des bâtiments, compatibilité avec les énergies renouvelables (photovoltaïque, stockage)

Rôle des dépenses d'investissement (CAPEX) dans les projets d'efficacité énergétique

Réduire les coûts énergétiques → Baisse des factures d'électricité/de gaz ; économies directes sur les coûts d'exploitation

Améliorer la performance des actifs → Moderniser les systèmes, améliorer le confort, la fiabilité et l'efficacité

Soutenir la durabilité et la conformité → Respecter les objectifs réglementaires, ESG ou d'entreprise

Améliorer les rendements financiers → Amortissement à long terme, VAN, TRI et meilleur retour sur investissement

Favoriser l'intégration des énergies renouvelables → Faciliter l'installation de panneaux solaires photovoltaïques, de systèmes de stockage et de commandes intelligentes

Réduire les émissions de carbone → Réduire les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre

54.7 Dépenses d'exploitation (OPEX)

Qu'est-ce que les dépenses d'exploitation (OPEX) ?

Les dépenses d'exploitation désignent les coûts récurrents liés à l'exploitation, à la maintenance et à la gestion d'un système énergétique tout au long de son cycle de vie. Dans les projets de rénovation énergétique, l'OPEX couvre toutes les dépenses récurrentes nécessaires pour garantir la fiabilité, l'efficacité et la conformité du système.

Interprétation

Consommation d'énergie : coûts de l'électricité, du gaz, de la biomasse ou d'autres combustibles

Exploitation et maintenance (O&M) : maintenance préventive et corrective ; remplacement de pièces de rechange

; Interventions d'urgence

Service et surveillance : systèmes de surveillance des performances ; diagnostics à distance ; contrats de service

Risques et couverture : extensions de garantie ; garanties de performance ; sous-traitance technique

Risques et couverture : extensions de garantie ; garanties de performance ; gestion technique externalisée

Rôle de l'OPEX dans les projets d'efficacité énergétique

Rôle des dépenses d'exploitation (OPEX) dans les projets d'efficacité énergétique

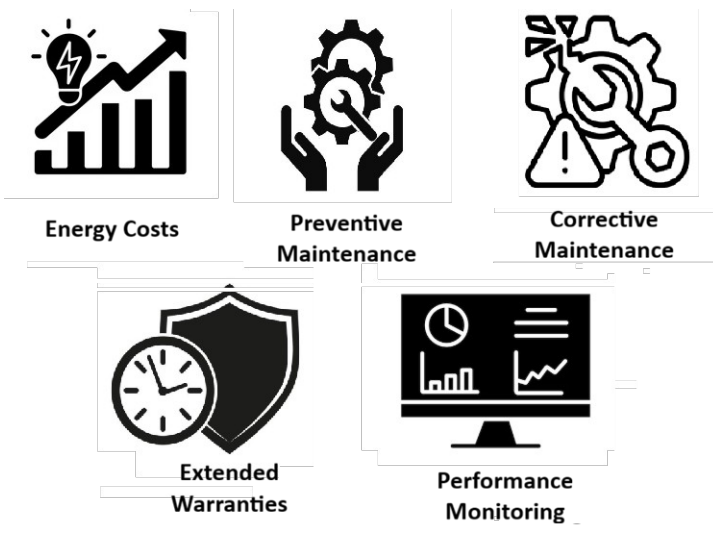
Augmentation de la flexibilité financière → Pas d'investissement initial ; approbation budgétaire plus facile

Adaptation aux conditions du marché → Contrats flexibles ; évolutivité ; réponse à la volatilité des prix de l'énergie

Amélioration de la gestion de la trésorerie → Coûts récurrents prévisibles ; réduction de l'immobilisation de capital ; liquidités préservées

Transfert du risque technique → Les contrats de service transfèrent les risques liés à la maintenance et à la performance aux prestataires

Améliorer la fiabilité opérationnelle → Surveillance continue ; détection plus rapide des pannes ; temps d'arrêt réduits au minimum



OPEX



Co-funded by
the European Union



54.8 Coûts indirects

Que sont les coûts indirects ?

Les coûts indirects sont des dépenses qui ne sont pas directement liées à l'équipement ou à la construction, mais qui sont nécessaires pour garantir le bon fonctionnement d'un projet d'efficacité énergétique ou de rénovation. Ils contribuent au respect des réglementations, à la validation des résultats, à l'optimisation des coûts et à la garantie de performances à long terme. Même s'ils ne génèrent pas d'actifs physiques, ils ont un impact sur le coût total, les risques associés et les économies d'énergie réalisées.



Interprétation

Réglementation et administration : permis ; autorisations environnementales ; autorisation de raccordement au réseau

Évaluation technique : audits énergétiques (de référence et après rénovation) ; études de faisabilité

Services professionnels : conception technique ; conseil ; conseil financier

Renforcement des capacités : formation des opérateurs ; sensibilisation des utilisateurs ; conseils opérationnels

Rôle des coûts indirects dans les projets d'efficacité énergétique

Permettre la faisabilité du projet → Garantir la viabilité juridique, technique et financière

Réduire l'écart de performance → Une conception et des audits adéquats améliorent la précision des économies

Optimiser l'intégration du système → Dimensionnement et coordination corrects des technologies

Obtenir des incitations et des financements → Conformité aux exigences de l'UE et nationales

Soutenir l'efficacité à long terme → La formation prévient les mauvaises utilisations et les pertes d'efficacité
pertes d'efficacité

54.9 Conclusions

1. Les flux de trésorerie sont essentiels à la bonne santé d'un projet

Le suivi des entrées et sorties d'argent permet d'évaluer la liquidité, la viabilité et la rentabilité.

Même les projets rentables peuvent être confrontés à des difficultés financières si les entrées de trésorerie ne couvrent pas les obligations immédiates.

2. Les dépenses d'investissement (CAPEX) et les dépenses d'exploitation (OPEX) jouent des rôles complémentaires

CAPEX : investissement initial dans des actifs qui améliorent les performances futures ; rendements à long terme mais coût initial élevé.

OPEX : coûts d'exploitation et de maintenance récurrents ; flexibles mais ayant un impact sur les sorties de trésorerie à long terme.

3. Les coûts indirects sont essentiels

Les dépenses telles que les services de conseil, les audits, la formation et les permis contribuent à la faisabilité, à la conformité et à l'efficacité opérationnelle.

Négliger les coûts indirects peut réduire les économies attendues et la performance du projet.

4. Une analyse intégrée guide les décisions stratégiques

L'évaluation des entrées et des sorties de trésorerie permet de calculer le flux de trésorerie net (NCF), la période de récupération, la VAN et le TRI.

Les projets d'efficacité énergétique, par exemple, transforment les économies opérationnelles en flux de trésorerie positifs afin de récupérer les dépenses d'investissement (CAPEX) et de soutenir les dépenses d'exploitation (OPEX).

5. La formation et le suivi renforcent l'efficacité

Une formation adéquate des opérateurs et un suivi des performances garantissent que les systèmes génèrent les économies attendues et prolongent la durée de vie des actifs.



LEÇON 55

Indicateurs économiques

Objectifs de la leçon 55

1. SPP – Période de récupération simple (Comprendre : indique le temps nécessaire pour récupérer l'investissement initial ; comparer des projets à court terme et choisir celui qui permet de récupérer l'argent le plus rapidement. Aperçu des unités HP commerciales typiques utilisant ce cycle.)
2. DPP – Période de récupération actualisée (Comprendre : indique le temps nécessaire pour récupérer l'investissement en tenant compte de la valeur temporelle de l'argent ; Évaluer le risque et la liquidité ajustés en fonction du temps et de la valeur de l'argent.)
3. NPV – Valeur actuelle nette (Comprendre : indique si le projet génère un bénéfice supérieur à l'investissement ; comparer les projets et choisir celui qui crée le plus de valeur au fil du temps.)
4. TIR – Taux de rendement interne (Concept : indique le taux de rendement annuel du projet ; sélectionnez les projets offrant un rendement supérieur au minimum attendu.)
5. ROI – Retour sur investissement (Comprendre : mesure l'efficacité de l'investissement, c'est-à-dire le rendement généré par rapport au coût ; comparez rapidement différents projets ou alternatives.)
6. Utilisation conjointe des indicateurs (Comprendre : chaque indicateur met en évidence un aspect différent (délai de récupération, bénéfice, rentabilité) ; les utiliser tous ensemble pour prendre des décisions d'investissement plus équilibrées et éclairées.)

54.1 Introduction aux indicateurs économiques

Les indicateurs financiers (SCR, flux de trésorerie actualisés, délai de récupération actualisé, VAN, TRI, ROI, SPP) sont essentiels dans l'analyse des projets de rénovation ou d'efficacité énergétique, car ils traduisent les économies d'énergie techniques en mesures de rentabilité et de faisabilité économique, permettant ainsi aux investisseurs de justifier l'investissement initial et de comparer les différentes options.

Ces projets impliquent presque toujours un coût d'investissement initial élevé pour générer des économies d'énergie sur plusieurs années. Sans cette analyse, il serait impossible de déterminer si les économies réalisées justifient le coût.



Importance des indicateurs économiques pour l'évaluation de la faisabilité d'un projet

- **Assurer la liquidité** → Couvrir les entrepreneurs, les matériaux, les permis
- **Soutenir la planification** → Prévoir les coûts, les investissements et le retour sur investissement
- **Améliorer l'efficacité** → Identifier les goulots d'étranglement et réduire le gaspillage
- **Permettre des investissements stratégiques** → Financer les mises à niveau sans financement supplémentaire
- **Renforcer la confiance des parties prenantes** → Démontrer la maîtrise et la fiabilité financières
- **Justifier les coûts initiaux** → Traduire les économies d'énergie en rentabilité claire

55.1 Durée d'amortissement simple

Qu'est-ce que la période de récupération simple (SPP) ?

Elle **mesure le temps** nécessaire pour récupérer l'investissement initial.

$$SPP = \frac{\text{Inicial Investment}}{\text{Annual Cash Inflow}}$$

Interprétation

Plus la période de récupération est courte, plus le projet est intéressant.

Elle indique la liquidité et la rapidité avec laquelle le capital investi est récupéré.

Avantages

Simple et facile à calculer.

Utile pour les projets à court terme.

Ne nécessite pas d'estimations complexes (par exemple, des taux d'actualisation).

Limites

Ne tient pas compte de la valeur temps de l'argent (VTA).

Ne tient pas compte des flux de trésorerie après la période de récupération.

N'évalue pas la rentabilité globale ni le risque futur.

Ne convient pas pour comparer des projets ayant des durées de vie différentes.

55.1 Durée d'amortissement simple – exemple

Exemple : si l'installation d'une pompe à chaleur de 10 000 € permet d'économiser 2 000 € par an en coûts énergétiques, quelle est la période de récupération et qu'advient-il des économies réalisées après cette période ?

$$SPP = \frac{\text{Initial Investment}}{\text{Annual Cash Inflow}}$$

$$SPP = \frac{10.000}{5 \times 2.000}$$

$$SPP = 5 \text{ years}$$

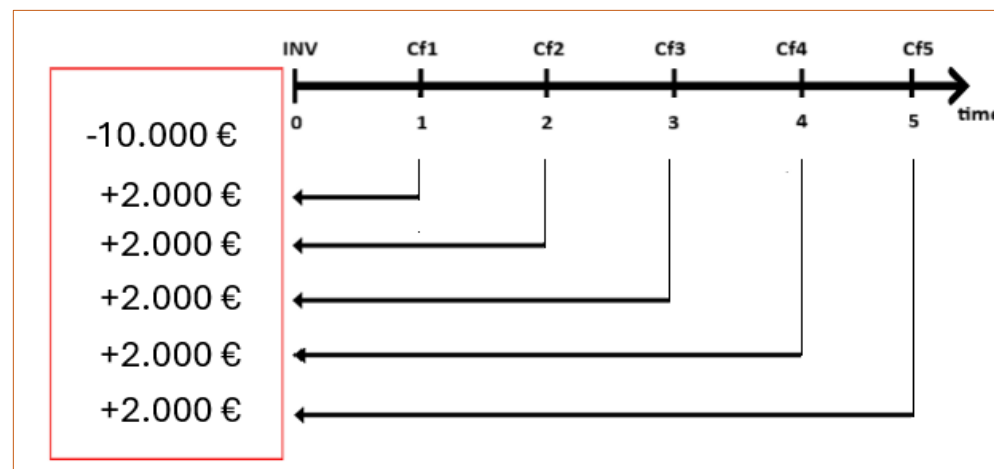


Diagramme des flux de trésorerie

La période de récupération simple est de 5 ans (ou 5 périodes), et après cela, toutes les économies contribuent directement aux bénéfices nets.

55.2 La valeur temporelle de l'argent

Qu'est-ce que la valeur temporelle de l'argent (VTA) ?

Le concept selon lequel une certaine somme d'argent vaut plus aujourd'hui que la même somme à l'avenir en raison de son potentiel de rendement entre-temps.



Pourquoi l'argent perd-il de la valeur avec le temps ?

Inflation

Les prix augmentent avec le temps, de sorte qu'une même somme d'argent permet d'acheter moins de biens et de services à l'avenir.

Coût d'opportunité

L'argent dont on dispose aujourd'hui peut être investi pour générer des intérêts ou des rendements. Si on le reçoit plus tard, on perd la possibilité de bénéficier de ces rendements.

Risque et incertitude

L'argent futur est moins certain. Il existe toujours un risque que les paiements attendus soient retardés ou ne soient pas perçus.

55.3 Taux d'actualisation

Qu'est-ce que le taux d'actualisation (r) ?

Le taux d'actualisation est le pourcentage (%) utilisé pour convertir les flux de trésorerie futurs en valeur actuelle.



Il reflète :

La valeur temporelle de l'argent.

L'inflation.

Le risque d'investissement.

Le coût d'opportunité du capital.

Pourquoi est-ce important ?

Un taux d'actualisation plus élevé → les flux de trésorerie futurs ont une valeur actuelle plus faible → l'investissement devient moins attractif.

Un taux d'actualisation plus faible → les flux de trésorerie futurs ont une valeur actuelle plus élevée → l'investissement devient plus attractif.

55.4 Valeur actuelle (VA)

Qu'est-ce que la valeur actuelle (VA) ?

La valeur actuelle (VA) est un concept financier utilisé pour déterminer la valeur actuelle d'une somme d'argent future ou d'une série de flux de trésorerie, actualisée à un taux d'intérêt spécifique.

$$\text{Present value} = \frac{FV}{(1 + r)^t}$$

FV - Valeur future (euros) ; r - taux d'actualisation par période (%)

T - nombre de périodes (années, mois, jours, etc.)

Interprétation

Indique la valeur actuelle d'une somme d'argent future.

Permet de comparer des sommes reçues à des moments différents.

Basée sur la valeur temporelle de l'argent (VTA).

Avantages

Tient compte de la valeur temps de l'argent.

Utile pour comparer les flux de trésorerie futurs.

Concept financier simple.

Limites

Dépend du taux d'actualisation choisi.

Sensible aux erreurs d'estimation.

Ne mesure pas la rentabilité globale.



Co-funded by
the European Union



55.5 Valeur actuelle cumulée

Qu'est-ce que la valeur actuelle cumulée ?

La valeur actuelle cumulée permet de déterminer la valeur totale cumulée d'un montant actuel en tenant compte de paiements réguliers, sans avoir à calculer chaque versement annuel.

$$\text{Accumulated Present Value} = CF_{cte} \times \frac{1 - (1 + r)^{-t}}{r}$$

CFcte - paiement périodique qui sera répété et actualisé à chaque période ; r - taux d'actualisation par période (%) ; t - nombre de périodes (années, mois, jours, etc.)

Pourquoi l'utiliser ?

Gain de temps.

Évite de calculer chaque versement individuellement.

Utile pour les prêts, les plans d'épargne et les rentes.

Comment ça marche ?

Répète le même paiement (CFcte).

Le met à jour en utilisant le taux d'actualisation.

Calcule directement la valeur totale accumulée.



Co-funded by
the European Union



55.6 Valeur actuelle – exemple

Exemple : une personne recevra 2 000 € par an pendant 5 ans (soit un total de 10 000 €).

Le taux d'intérêt annuel est de 8 %. A) Calculez la valeur actuelle (VA) du dernier versement de 2 000 € (reçu à la fin de la 5e année), actualisée à aujourd'hui (année 0). B) Calculez la valeur actuelle totale (cumulée) des cinq versements à l'année 0.

A)

$$PV = \frac{FV}{(1 + r)^t}$$

$$PV = \frac{2,000}{(1 + 0.08)^5}$$

$$PV = €1,361$$

B)

$$\text{Accumulated Present Value} = CF_{cte} \times \frac{1 - (1 + r)^{-t}}{r}$$

$$\text{Accumulated Present Value} = 2,000 \times \frac{1 - (1 + 0.08)^{-5}}{0.08}$$

$$\text{Accumulated Present Value} = €7,985,4$$

La valeur actuelle du dernier versement de 2 000 € à la fin de la 5e année est de 1 361 €, et la valeur actuelle totale des cinq versements à la date d'aujourd'hui est de 7 985,40 €.



Co-funded by
the European Union



55.7 Flux de trésorerie actualisés (DCF)

Qu'est-ce que le flux de trésorerie actualisé (DCF) ?

Le flux de trésorerie actualisé (DCF) est un modèle financier utilisé pour estimer la valeur actuelle d'un investissement en projetant ses flux de trésorerie futurs et en les actualisant à leur valeur actuelle à l'aide d'un taux d'actualisation spécifique.

$$DCF = \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

Valeur actuelle (PV) pour l'année 1 Valeur actuelle (PV) pour l'année 2 Valeur actuelle (PV) pour l'année n

CF_1 represents the cash flow for year one, CF_2 represents the cash flow for year two, and CF_n represents the cash flow for the subsequent years, r – discount rate

Interprétation

Le DCF indique la valeur actuelle des flux de trésorerie futurs d'un projet ou d'un investissement.

DCF > Investissement → rentable.

DCF < Investissement → non rentable.

Avantages

Utilise des projections de flux de trésorerie spécifiques.

Peut s'appliquer à des investissements de différentes tailles et durées.

Utile pour évaluer des projets dont les périodes de flux de trésorerie sont longues.

Limites

La précision dépend de l'exactitude des estimations des flux de trésorerie futurs.

Ne tient pas compte des conditions du marché, de la valeur stratégique ou des avantages qualitatifs

Nécessite des données financières détaillées et des hypothèses.

De légères variations de r peuvent modifier considérablement les résultats.



Co-funded by
the European Union



55.8 Durée de récupération actualisée (DPP)

Qu'est-ce que la période de récupération actualisée (DPP) ?

La période de récupération actualisée mesure le temps nécessaire pour qu'un investissement recouvre son coût initial, en tenant compte de la valeur temps de l'argent. Contrairement à la période de récupération simple, elle actualise les flux de trésorerie futurs avant de calculer le seuil de rentabilité.

Interprétation

DPP plus court = récupération plus rapide → risque plus faible.
Indique à quel moment un projet atteint le seuil de rentabilité en termes de valeur actuelle.

Avantages

Tient compte de la valeur temps de l'argent.
Permet de tester différents scénarios et de réaliser des analyses de sensibilité.
Permet de comparer les projets en fonction du risque et de la liquidité

Limites

Basé sur des flux de trésorerie estimés → incertitude.
Ne tient pas compte des flux de trésorerie après le seuil de rentabilité.
Sensible au taux d'actualisation et aux hypothèses.

$$DPP = t + \frac{I_0 - \text{Cumulative PV at } t}{PV_{t+1}}$$

- I_0 : l'investissement initial ; représente la dernière année au cours de laquelle la valeur actuelle cumulée est encore inférieure à l'investissement initial ; est la valeur actuelle des flux de trésorerie de l'année suivante.

55.9 DPP et DCF - Exemple

Exemple : un investissement dans une pompe à chaleur coûte 10 000 € et devrait générer 2 000 € par an d'économies d'énergie pendant 7 ans. En utilisant un taux d'actualisation de 5 %, déterminez chaque flux de trésorerie actualisé, la valeur actuelle cumulée et la période de récupération actualisée.

$$\text{Accumulated Present Value} = CF_{cte} \times \frac{1 - (1 + r)^{-t}}{r}$$

$$\text{Accumulated Present Value} = 2.000 \times \frac{1 - (1 + 0.05)^{-7}}{0.05}$$

$$\text{Accumulated Present Value} \approx \text{€}11,573$$

$$DPP = t + \frac{I_0 - \text{Cumulative PV at } t}{PV_{t+1}}$$

$$DPP = 5 + \frac{10,000 - 8,659}{10,151} \approx 5.9 \text{ years}$$

$$DPP \approx 5.9 \text{ years}$$

DCF

$$INV = -10.000 \text{ €}$$

$$PV1 = 2,000 \div (1 + 0.05)^1 = 1,905 \text{ €} \quad | \quad 1,905 \text{ €}$$

$$PV2 = 2,000 \div (1 + 0.05)^2 = 1,814 \text{ €} \quad | \quad 3,719 \text{ €}$$

$$PV3 = 2,000 \div (1 + 0.05)^3 = 1,728 \text{ €} \quad | \quad 5,443 \text{ €}$$

$$PV4 = 2,000 \div (1 + 0.05)^4 = 1,645 \text{ €} \quad | \quad 7,092 \text{ €}$$

$$PV5 = 2,000 \div (1 + 0.05)^5 = 1,567 \text{ €} \quad | \quad 8,659 \text{ €}$$

$$PV6 = 2,000 \div (1 + 0.05)^6 = 1,492 \text{ €} \quad | \quad 10,151 \text{ €}$$

$$PV7 = 2,000 \div (1 + 0.05)^7 = 1,421 \text{ €} \quad | \quad 11,573 \text{ €}$$

DPP=5.9 Years

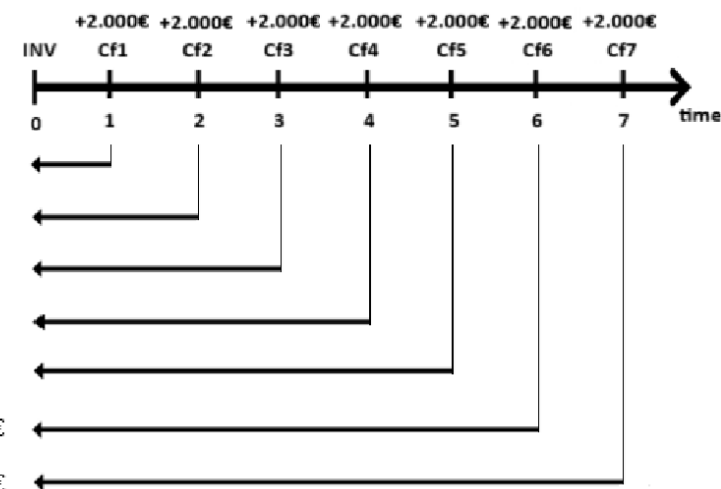


Diagramme des flux de trésorerie



Co-funded by
the European Union



55.9 Valeur actuelle nette – exemple

Exemple : en supposant un investissement de 10 000 € dans une pompe à chaleur qui génère des économies d'énergie annuelles de 2 000 € sur sept ans, avec un taux d'actualisation de 5,0 %, la valeur actuelle de toutes les économies actualisées s'élève à environ 11 572 €. En soustrayant l'investissement initial, la valeur actuelle nette (VAN) est de 1 573 €. Cette VAN positive indique que l'investissement permet non seulement de récupérer son coût, mais aussi de générer un rendement financier supplémentaire équivalent à 1 573 € en valeur actuelle. Par conséquent, si l'on tient compte de la valeur temporelle de l'argent, le projet de pompe à chaleur peut être considéré comme financièrement viable et générateur de valeur.

$$NPV = \left(\frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \right) - I_0$$

$$NPV = \left(\frac{2,000}{(1+0.05)^1} + \frac{2,000}{(1+0.05)^2} + \frac{2,000}{(1+0.05)^3} + \frac{2,000}{(1+0.05)^4} + \frac{2,000}{(1+0.05)^5} + \frac{2,000}{(1+0.05)^6} + \frac{2,000}{(1+0.05)^7} \right) - 10,000$$

PV pour l'année 1 PV pour l'année 2 PV pour l'année 3 PV pour l'année 4 PV pour l'année 5 PV pour l'année 6 PV pour l'année 7
sur actuelle nette pour l'année 7

$$NPV = \text{€}1,572$$

DPP=5.9 Years

DCF

$$INV = -10,000 \text{ €}$$

PVacc

$$PV1 = 2,000 \div (1 + 0.05)^1 = 1,905 \text{ €} \quad | \quad 1,905 \text{ €}$$

$$PV2 = 2,000 \div (1 + 0.05)^2 = 1,814 \text{ €} \quad | \quad 3,719 \text{ €}$$

$$PV3 = 2,000 \div (1 + 0.05)^3 = 1,728 \text{ €} \quad | \quad 5,443 \text{ €}$$

$$PV4 = 2,000 \div (1 + 0.05)^4 = 1,645 \text{ €} \quad | \quad 7,092 \text{ €}$$

$$PV5 = 2,000 \div (1 + 0.05)^5 = 1,567 \text{ €} \quad | \quad 8,659 \text{ €}$$

$$PV6 = 2,000 \div (1 + 0.05)^6 = 1,492 \text{ €} \quad | \quad 10,151 \text{ €}$$

$$PV7 = 2,000 \div (1 + 0.05)^7 = 1,421 \text{ €} \quad | \quad 11,573 \text{ €}$$

$$NPV \text{ at year 7} = 11,573 - 10,000 = 1,572 \text{ €}$$

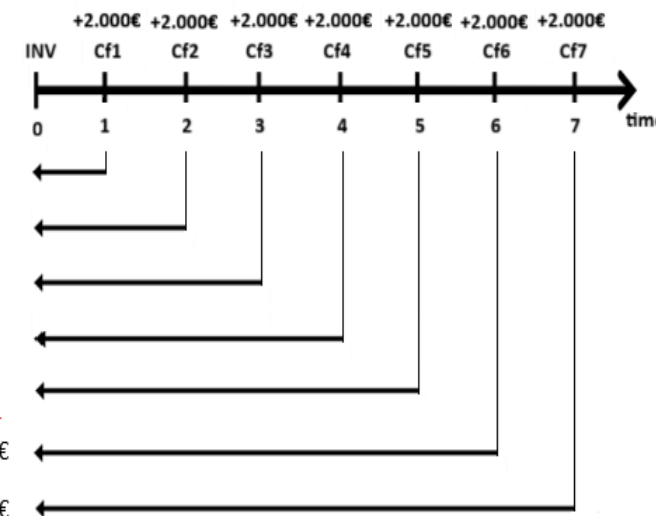


Tableau des flux de trésorerie



Co-funded by
the European Union



55.10 Valeur actuelle nette (VAN)

Qu'est-ce que la valeur actuelle nette (VAN) ?

La valeur actuelle nette est la différence entre la valeur actuelle de tous les flux de trésorerie futurs et l'investissement initial. Elle mesure la valeur totale qu'un projet génère sur toute sa durée de vie, en tenant compte de la valeur temporelle de l'argent.

$$NPV = \left(\frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \right) - I_0$$

I_0 - the initial investment; CF – represent the cash flow; r - discount rate, n - represents the life time of the project.

Interprétation

VAN > 0 → Le projet est financièrement viable (crée de la valeur)

VAN = 0 → Le projet atteint le seuil de rentabilité

VAN < 0 → Le projet détruit de la valeur (non recommandé)

Une VAN plus élevée indique une meilleure rentabilité

Avantages

Tient compte de la valeur temporelle de l'argent.

Intègre tous les flux de trésorerie du projet.

Mesure la rentabilité globale.

Utile pour comparer différentes options d'investissement.

Facilite la prise de décision en matière d'investissements à long terme.

Limites

Nécessite des projections de flux de trésorerie précises.

Ne tient pas compte des facteurs non financiers (par exemple, les impacts environnementaux ou sociaux).

Sensible au taux d'actualisation choisi.

Peut être complexe à calculer.



Co-funded by
the European Union



55.10 Taux de rendement interne (TRI)

Qu'est-ce que le taux de rendement interne (TRI) ?

Le taux de rendement interne (TRI) est le taux d'actualisation qui rend la valeur actuelle nette d'un investissement égale à zéro. En termes simples, il s'agit du taux de rendement annualisé qu'un projet est censé générer sur toute sa durée de vie, sur la base de ses entrées et sorties de trésorerie prévues.

$$NPV = 0 = \left(\frac{CF_1}{(1 + IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1 + IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1 + IRR)^n} \right) - I_0$$

- l'investissement initial ; – représentent les flux de trésorerie ;
r - taux d'actualisation, n - représente la durée de vie du projet.

Interprétation

Le TRI peut être comparé au taux de rendement requis ou au coût du capital :

Si **IRR > taux de rendement requis** → Le projet est acceptable.

Si **le TRI < taux de rendement requis** → Le projet doit être rejeté.

Un TRI plus élevé indique généralement un investissement plus rentable (à risque égal).

Avantages

Facile à interpréter – Exprimé en pourcentage, ce qui le rend intuitif.

La valeur temporelle de l'argent est prise en compte – Il actualise les flux de trésorerie futurs.

Utile pour la comparaison – Permet de comparer des projets de durées différentes.

Largement utilisé – Couramment utilisé dans la prise de décision commerciale et financière.

Limites

Plusieurs TRI : des flux de trésorerie atypiques peuvent donner lieu à plusieurs TRI ou à aucune solution réelle.

Projets mutuellement exclusifs : peut entrer en conflit avec la VAN lors de la comparaison de projets d'échelles différentes.

Ne tient pas compte de la taille : un projet plus petit peut avoir un TRI plus élevé mais générer moins de bénéfice total.

Hypothèse de réinvestissement : part du principe que les flux de trésorerie sont réinvestis au taux de rentabilité interne, ce qui peut être irréaliste.

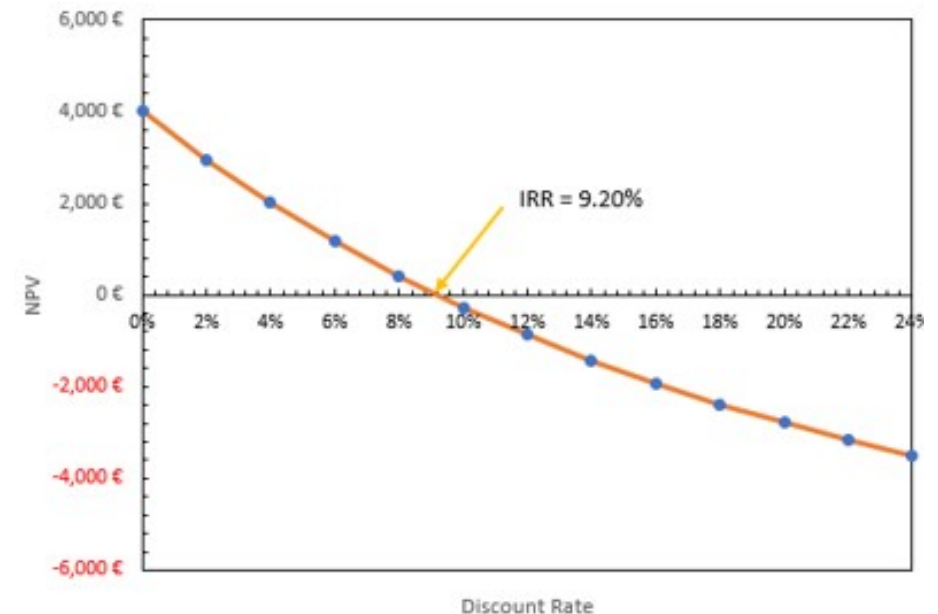
55.10 Taux de rendement interne (TRI) – Exemple

Exemple : Une entreprise envisage d'investir 10 000 € dans une pompe à chaleur qui génère des économies d'énergie de 2 000 € par an pendant 7 ans. Si le taux d'actualisation est de 5 %, calculez le TRI et déterminez si le projet doit être accepté.

Period(Years)	Cf	PV	PVacc.
0	-10,000 €		
1	2,000 €	1,905 €	1,905 €
2	2,000 €	1,814 €	3,719 €
3	2,000 €	1,728 €	3,542 €
4	2,000 €	1,645 €	3,373 €
5	2,000 €	1,567 €	3,212 €
6	2,000 €	1,492 €	3,059 €
7	2,000 €	1,421 €	2,914 €

Discount rate	5.00%
NPV	1,573 €
IRR	9.20%

Rate	0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
NPV	4,000 €	2,944 €	2,004 €	1,165 €	413 €	-263 €	-872 €
Rate	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%
NPV	-1,423 €	-1,923 €	-2,377 €	-2,791 €	-3,169 €	-3,515 €	-3,833 €
Rate	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%
NPV	-4,126 €	-4,396 €	-4,645 €	-4,876 €	-5,090 €	-5,289 €	-5,474 €



Graphique du TRI

Un TRI de 9,20 % représente le taux de rendement annuel effectif du projet sur toute sa durée de vie. Étant donné que 9,20 % est supérieur au taux d'actualisation de 5 %, l'investissement génère un rendement supérieur au taux requis et doit donc

55.10 Retour sur investissement (ROI)

Qu'est-ce que le retour sur investissement (ROI) ?

Le retour sur investissement est un indicateur financier utilisé pour mesurer la rentabilité et l'efficacité d'un investissement. Il compare le gain net d'un investissement à son coût initial, généralement exprimé en pourcentage.

$$ROI = \frac{\text{Net return on Investement}}{\text{Cost of Investment}} \times 100 \%$$

Or

$$ROI = \frac{FVI - IVI}{\text{Cost of Investment}} \times 100 \%$$

Interprétation

Indique le montant des bénéfices générés par rapport à l'investissement.

Un ROI plus élevé indique une meilleure rentabilité.

Avantages

Simple à calculer et facile à comprendre.

Permet une comparaison rapide entre des projets de tailles différentes.

Facilite la prise de décision rapide en matière d'allocation des ressources.

Fournit une mesure claire du bénéfice par rapport à l'investissement.

Limites

Ne tient pas compte de la valeur temporelle de l'argent.

Ne tient pas compte du calendrier des flux de trésorerie.

Part du principe que les gains sont uniformes, ce qui peut être irréaliste.

Peut être influencé par la manière dont les coûts et les rendements sont mesurés, ce qui peut conduire à une interprétation erronée.



Co-funded by
the European Union



55.10 Retour sur investissement (ROI)

Exemple : un investissement dans une pompe à chaleur coûte 10 000 € et génère des économies actualisées de 11 572 € sur 7 ans, avec un taux d'actualisation de 5 %. Calculez le ROI de cet investissement.

$$ROI = \frac{\text{Net return on Investement}}{\text{Cost of Investment}} \times 100 \%$$

$$ROI = \frac{(11,572 - 10,000)}{10,000} \times 100 \%$$

$$ROI = 15.7\%$$

Dans ce cas, le ROI de cet investissement sera de 15,7 %. Cela signifie que, en tenant compte de la valeur temps de l'argent, l'investissement dans la pompe à chaleur génère un rendement total de 15,7 % sur sa durée de vie par rapport à son coût.

LEÇON 56

Analyse du coût du cycle de vie



Co-funded by
the European Union



Objectifs de la leçon 56

1. Qu'est-ce que l'ACV et quelles sont ses principales caractéristiques ?
2. Comment calculer les coûts du cycle de vie étape par étape
3. Exemples pratiques et études de cas
4. Comment éviter les erreurs courantes

56.1 Introduction à l'analyse du coût du cycle de vie

L'analyse du coût du cycle de vie (LCCA) évalue le **coût total** d'un actif sur **l'ensemble de sa durée de vie**, y compris l'investissement initial, l'exploitation, la consommation d'énergie, la maintenance, le remplacement et l'élimination. Elle permet **de comparer différentes alternatives** et d'identifier **l'option présentant le coût à long terme le plus bas**, favorisant ainsi des décisions plus intelligentes et plus durables dans les bâtiments, les systèmes énergétiques et les projets industriels.



Importance de l'utilisation de l'analyse du coût du cycle de vie dans les projets de rénovation :

- Évalue les coûts totaux à long terme des options de rénovation, et pas seulement l'investissement initial
- Aide à sélectionner la modernisation la plus rentable sur la durée de vie restante du bâtiment
- Elle permet d'identifier les économies d'énergie et les réductions des coûts d'exploitation
- Permet de mieux comparer les différentes solutions de rénovation
- Améliore la planification des investissements et la budgétisation des rénovations du bâtiment
- Réduit le risque de coûts imprévus liés à la maintenance ou au remplacement
- Encourage les améliorations en matière d'efficacité énergétique et de durabilité
- Améliore les performances, la fiabilité et la valeur patrimoniale des bâtiments

56.2 Qu'est-ce que l'analyse du coût du cycle de vie ?

Évalue le coût total de la modernisation ou de la rénovation d'un bâtiment ou d'un système sur sa durée de vie restante, depuis l'investissement dans la modernisation jusqu'à la mise au rebut ou au remplacement.

Éléments clés à prendre en compte pour la modernisation

- **Évaluation du cycle de vie complet** – inclut les économies d'énergie, la réduction des coûts de maintenance et les coûts d'exploitation à long terme
- **Comparaison des alternatives** – par exemple, remplacement du système CVC traditionnel par une modernisation écoénergétique
- **Avantages intangibles** – confort des occupants, productivité, impact environnemental, amélioration de la réputation du bâtiment
- **Annualisation des coûts** – des méthodes telles que la **valeur actuelle nette (VAN)** garantissent une comparaison équitable entre des options ayant des durées de vie différentes

Applications dans la rénovation :

Enveloppe du bâtiment : isolation, fenêtres, toiture

Systèmes énergétiques : CVC à haut rendement, panneaux solaires, stockage par batterie

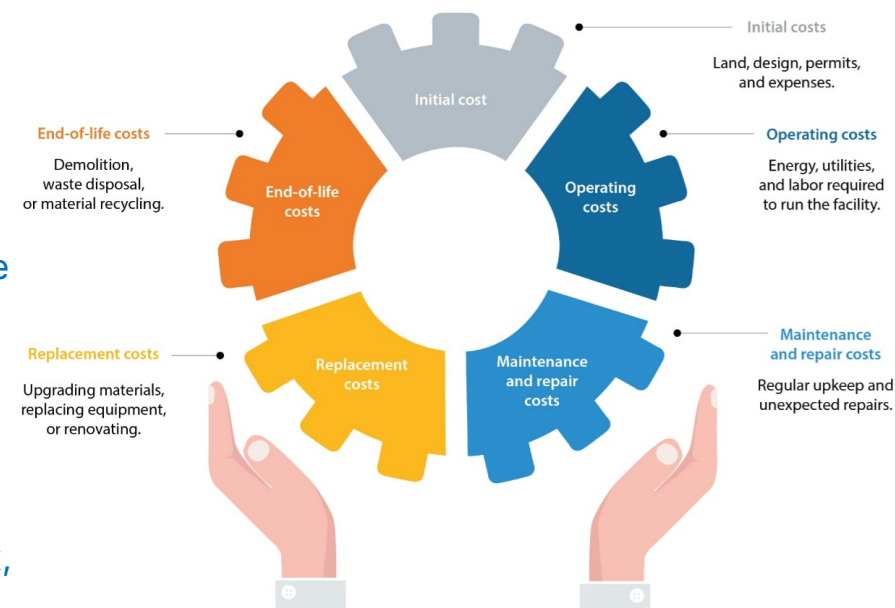
Systèmes industriels : modernisation des équipements, remplacement des matériaux, technologies intelligentes

Avantages

Coûts optimisés à long terme

Amélioration de l'efficacité énergétique et de la durabilité

Prise de décision éclairée pour les investissements de rénovation



Co-funded by
the European Union



56.3 Importance et avantages de l'analyse du coût du cycle de vie

Pourquoi l'analyse LCCA est-elle importante ?

L'analyse de coûts traditionnelle se concentre sur l'investissement initial, en négligeant souvent les coûts à long terme.

La LCCA évalue l'ensemble des coûts sur toute la durée de vie de l'actif, permettant ainsi de prendre des décisions éclairées qui concilient les impacts à court et à long terme.

Avantages économiques	Avantages environnementaux	Valeur stratégique
Réduit les coûts d'exploitation et de maintenance	Favorise l'efficacité énergétique et la durabilité	Améliore le confort et la productivité des occupants
Évite les remplacements inutiles	Réduit les émissions de gaz à effet de serre et la consommation de ressources	Augmente la durée de vie et la fiabilité des actifs
Exemple : système CVC à haut rendement → coût initial plus élevé, mais coûts énergétiques et d'entretien réduits sur 20 ans	Soutient les objectifs de développement durable de l'entreprise et la valeur stratégique	Améliore la planification à long terme, la budgétisation et la gestion des risques
		Exemple : Rénovation avec LCCA → évite les remplacements à mi-vie, optimise les mises à niveau, augmente la valeur globale des installations

56.4 Éléments de coût dans l'analyse du coût du cycle de vie

$$LCC = C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_r + C_{env} + C_d + C_s$$

Principaux éléments de coût

1. Coûts initiaux (C_{in}) – Achat, conception, installation et mise en service

Exemple : installation d'un nouveau système CVC

2. Coûts énergétiques (C_e) – Électricité, combustible ou énergie consommée pendant le fonctionnement

Les systèmes à haut rendement peuvent coûter plus cher à l'achat, mais permettent de réduire les factures à long terme

3. Coûts d'exploitation (C_o) – Main-d'œuvre, consommables et opérations quotidiennes

Comprend la surveillance, le nettoyage et les consommables mineurs

4. Coûts d'entretien et de réparation (C_m) – Entretien préventif et

Entretien programmé et remplacement de pièces

5. Coûts de remplacement / remise en état (C_r) – Mises à niveau majeures ou remplacements de composants
Exemple : remplacement d'un compresseur en milieu de vie ou modernisation du système de contrôle

6. Coûts environnementaux (C_{env}) – Émissions, empreinte carbone, gestion des déchets, conformité réglementaire
Encourage la prise de décisions durables

7. Coûts d'élimination / de fin de vie (C_d) – Mise hors service, recyclage ou remise en état
Élimination sécurisée des fluides frigorigènes des systèmes CVC ou des composants électroniques

8. Coûts liés aux temps d'arrêt / à la perte de production (C_s) – Impact financier de la mise hors service des équipements
Essentiels pour les systèmes industriels

56.5 Étapes et mise en œuvre pratique de la méthode d'analyse du coût du cycle de vie

Approche étape par

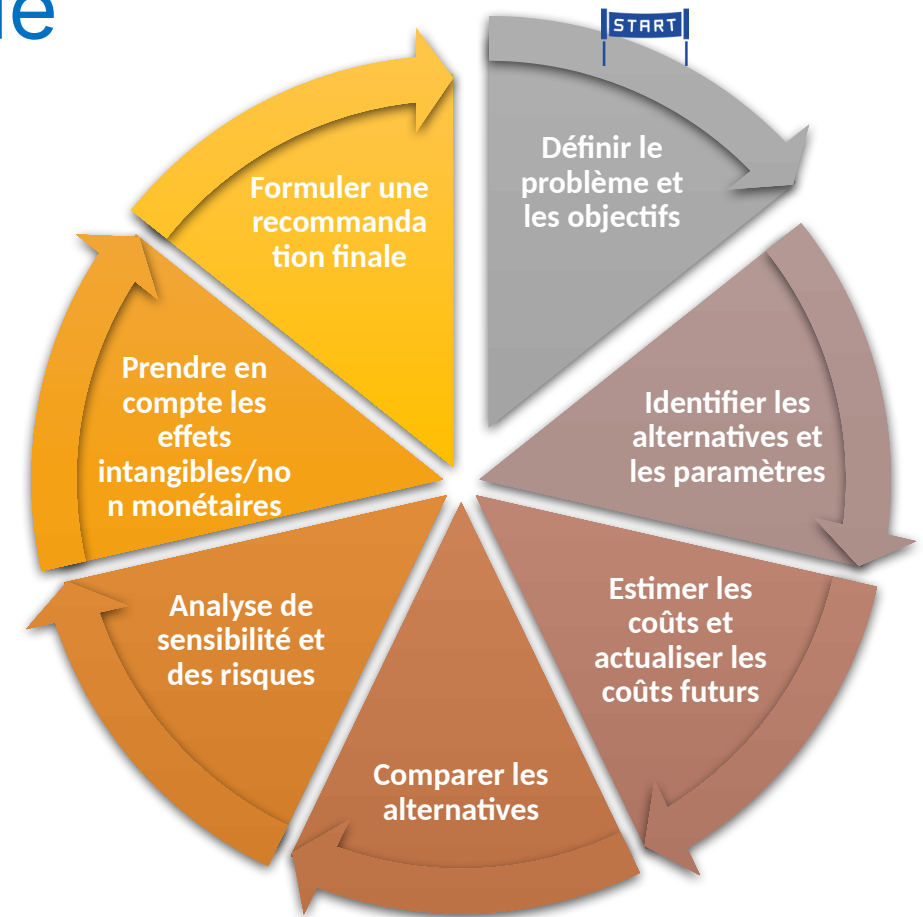
étape :

1. **Identifier tous les coûts** pour chaque alternative : investissement initial, exploitation et maintenance, remplacement, fin de vie.
2. **Actualisez les coûts futurs** à leur valeur actuelle (VAN).
3. **Additionnez les coûts** pour déterminer le coût total du cycle de vie.
4. **Visualisez les comparaisons** à l'aide de tableaux ou de graphiques : présentez côte à côte les coûts, les émissions de carbone et les avantages intangibles.
5. **Interpréter les résultats avec soin** : coût initial le plus bas $\neq$ coût total le plus bas ; tenir compte

des facteurs environnementaux et intangibles.



Cela garantit le choix de l'option offrant la **meilleure combinaison d'efficacité économique, de durabilité et de valeur stratégique.**



Co-funded by
the European Union



56.6 Paramètres et hypothèses importants dans l'analyse du cycle de vie

Paramètres clés

a. Durée de vie de l'actif et de l'étude

Durée de vie prévue de l'actif

Période d'étude sur laquelle les coûts sont projetés et comparés

b. Définitions des échelles de temps

Date de référence : point de référence pour convertir tous les coûts en valeur actuelle

Date de mise en service : **date** à laquelle l'actif entre en service

c. Facteurs financiers

Taux d'actualisation : convertit les coûts futurs en valeur actuelle

Taux d'inflation : tient compte de l'augmentation des coûts au fil du temps

d. Coûts d'exploitation

Énergie, eau, consommables et autres fournitures nécessaires au fonctionnement de l'actif

Une définition claire des paramètres garantit **des comparaisons transparentes, cohérentes et fiables** entre les différentes options de rénovation.



Co-funded by
the European Union



56.7 Intégration à l'analyse du cycle de vie pour la durabilité

1

Définition de l'objectif et de la portée

Définir l'objectif de l'étude, la fonction, l'unité fonctionnelle et les limites du système

Exemples de limites :

Gate-to-Gate : par exemple, la production du produit uniquement ; **Cradle-to-Grave** : de l'extraction des matières premières à la fin de vie.

L'accent peut être mis sur la phase d'utilisation ou sur l'ensemble du cycle de vie.

Collecter des données quantitatives sur :

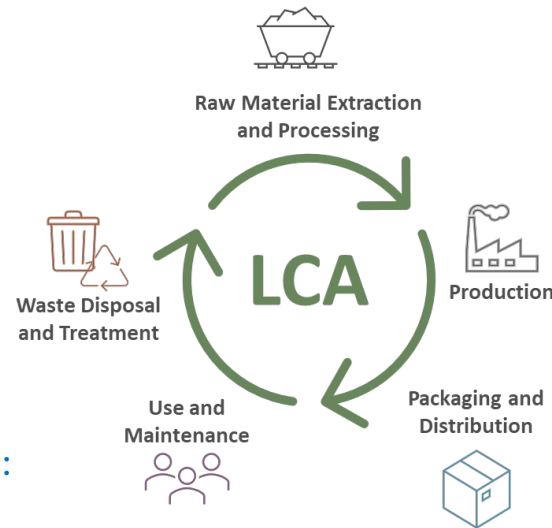
Intrants : matières premières, énergie, consommables.

Sorties : émissions, rejets dans l'air, l'eau et le sol.

Normaliser les données en fonction de l'unité fonctionnelle.

2

Inventaire du cycle de vie (ICV)



3

Évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA)

Quantifier les impacts environnementaux à l'aide de bases de données (par exemple, Ecolinvent, Agribalyse) et de logiciels (OpenLCA, SimaPro, One Click LCA). Évaluer plusieurs catégories d'impacts : empreinte carbone / émissions de GES ; utilisation des ressources : combustibles fossiles, eau, minéraux ; émissions dans l'air, l'eau et le sol.

4

Interprétation des résultats

Identifier les points sensibles sur le plan environnemental ; Proposer des mesures d'amélioration ; Appuyer les décisions en faveur d'alternatives de rénovation plus durables.



Co-funded by
the European Union



L'intégration de l'ACV et de l'ACV-C permet d'évaluer à la fois les impacts économiques et environnementaux, ce qui facilite la prise de décisions de rénovation durables et rentables.



56.8 Bonnes pratiques et pièges courants dans l'ACV

Pièges courants

- Se concentrer uniquement sur **les coûts initiaux**, en ignorant les dépenses à long terme
- **Portée mal définie** ou méthodologie incohérente
- Utilisation de **données non vérifiées ou irréalistes**
- Erreurs dans **les unités, les conversions ou les ensembles de données**
- Absence de **révision et de documentation**

Meilleures pratiques en matière d'inventaire du cycle de vie (ICV)

- **Définir les normes et la méthodologie** dès le début de l'étude
- Définir clairement **les limites et le périmètre du système**
- Prendre en compte **l'ensemble du cycle de vie de l'actif** (investissement, exploitation, maintenance, remplacement, élimination)
- Appliquer un **taux d'actualisation** approprié pour tenir compte de la valeur temporelle de l'argent
- Utiliser **des données fiables et validées** concernant les coûts, la consommation d'énergie et la maintenance

Assurance qualité

- Réaliser **une analyse de sensibilité et des risques** pour vérifier les hypothèses clés (par exemple, prix de l'énergie, durée de vie)
- **Documenter toutes les hypothèses, données et calculs** pour garantir la transparence
- Procéder à **un examen par les pairs ou à une consultation d'experts**



Co-funded by
the European Union



Communiquer clairement les résultats, y compris **les limites et les incertitudes**



56.8 Conclusions

- L'analyse du coût du cycle de vie (LCCA) est un **outil décisionnel essentiel** pour **évaluer les investissements de rénovation**, car elle prend en compte **l'ensemble des coûts sur le cycle de vie de l'actif**, et pas seulement l'investissement initial.
- En incluant les coûts d'installation, d'exploitation, de maintenance, de remplacement et de fin de vie, l'ACV permet une **comparaison plus précise des différentes options**.
- L'utilisation d'outils financiers tels que **la valeur actuelle nette (VAN)** et **le coût annualisé** permet de convertir les coûts futurs en valeur actuelle, garantissant ainsi **une évaluation équitable**.
- **Associée à l'analyse du cycle de vie (ACV)**, la LCCA aide à prendre des décisions qui concilient efficacité économique, durabilité environnementale et performance.

Dans l'ensemble, l'application de la LCCA aux projets de rénovation aide les organisations à optimiser leurs investissements, à réduire les coûts à long terme, à améliorer l'efficacité énergétique et à favoriser une gestion durable des bâtiments !

LEÇON 57

Exercice sur l'analyse du coût du cycle de vie



Co-funded by
the European Union



Objectifs de la leçon 57

1. Rechercher et synthétiser des informations : identifier les données pertinentes et organiser clairement les points clés.
2. Collecter des données : Rassembler des données financières, énergétiques et environnementales pour l'ACLC.
3. Analyser les résultats : interpréter les résultats financiers (coût du cycle de vie, VAN, délai de récupération, ROI, TRI) et environnementaux (CO₂).
4. Utiliser des supports visuels : présenter les tendances et les coûts à l'aide de graphiques, de tableaux et de diagrammes.
5. Tirer des conclusions : Évaluer la faisabilité et formuler des recommandations en fonction de la rentabilité et de la durabilité.

57.1 Introduction à la résolution de problèmes liés à l'analyse du coût du cycle de vie

Cette leçon analyse les systèmes de chauffage et de climatisation dans les bâtiments résidentiels à l'aide de l'analyse du coût du cycle de vie (LCCA). Elle consiste à identifier les problèmes liés au système, à collecter des données financières, énergétiques et environnementales, puis à les saisir dans un calculateur LCCA. Les résultats sont évalués en fonction des coûts, des performances et des émissions, ce qui permet de comparer les différentes options afin d'identifier la solution la plus rentable et la plus durable.



Avantages de savoir comment réaliser et interpréter une ACLC dans les projets de rénovation

- Améliore la prise de décision en permettant de sélectionner la solution de rénovation la plus rentable.
- Permet d'identifier les économies à long terme, en tenant compte des coûts énergétiques, d'exploitation et de maintenance.
- Facilite une meilleure planification du projet, en aidant à adapter les conceptions de rénovation en fonction des performances sur le cycle de vie.
- Réduit les risques financiers en anticipant les coûts futurs tels que les remplacements ou les réparations.
- Favorise les rénovations durables, en conciliant efficacité économique et avantages environnementaux.

57.2 Exemple de problème – option 1

Un entrepreneur chargé de la construction d'une maison individuelle propose deux systèmes de chauffage et de climatisation pour l'intérieur de la maison. Les deux options utilisent un ballon d'eau chaude sanitaire de 200 litres équipé d'un système de circulation et de régulation électrique d'une puissance nominale de 0,5 kW, qui fonctionnera en parallèle avec le système de chauffage principal. Pour cette maison, on estime qu'environ 3 000 heures de chauffage et environ 1 500 heures de climatisation seront nécessaires. La maison a une puissance de chauffage de 36 kW et une puissance de refroidissement de 24 kW.

Cette option comprend une chaudière au gaz naturel de 36 kW avec un rendement de combustion de 95 %, d'un coût de 2 500 €. Le refroidissement sera assuré par des climatiseurs split muraux dans trois pièces, chacun avec un COP de 2,0, pour un coût total de 2 000 €. Le coût d'installation de ces deux systèmes est estimé à 1 200 €. L'entretien préventif annuel est estimé à 50 € pour le nettoyage de la chaudière et à 100 € pour la recharge en réfrigérant. Sur une période de 15 ans, le système devrait nécessiter le remplacement à mi-parcours des brûleurs, pour un coût actuel de 300 €, ainsi que le remplacement de l'un des climatiseurs individuels, pour un coût de 650 €. Le coût total de démantèlement du système s'élèvera à 150 € après 15 ans. L'empreinte carbone totale estimée pour cette solution est de 0,9 tCO₂eq.

58.3 Exemple de problème – option 2

Option 2 – Pompe à chaleur réversible (plus coûteuse mais plus écologique) :

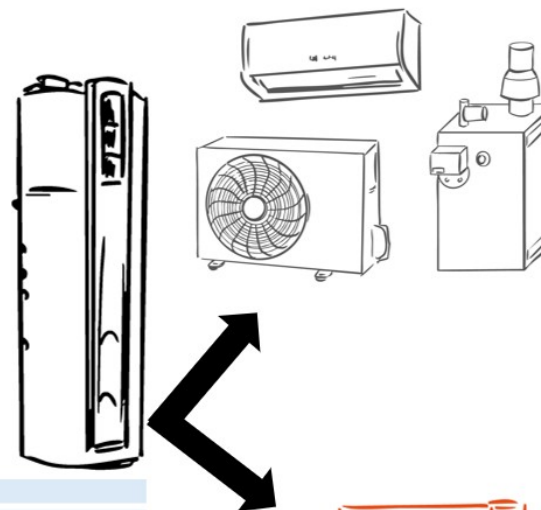
Cette alternative consiste à installer une pompe à chaleur réversible d'un coût de 9 000 €, qui assurera le chauffage avec un COP de 3,0. Le refroidissement sera assuré par trois ventilo-convecteurs montés au plafond dans les trois pièces, d'un coût unitaire de 250 €, la pompe à chaleur atteignant un COP de 2,5 en mode refroidissement.

La pompe à chaleur garantit des puissances de chauffage et de refroidissement de 36 et 24 kW, respectivement. L'entretien préventif annuel est estimé à 75 € pour le nettoyage de la chaudière et à 100 € pour la recharge en fluide frigorigène. Sur 15 ans, le système devrait nécessiter un remplacement à mi-parcours du compresseur de la pompe à chaleur pour un coût de 500 €, ainsi que le remplacement d'un ventilo-convecteur. Le coût total de démantèlement du système s'élèvera à 150 € après 15 ans.

L'empreinte carbone totale estimée pour cette solution est de 1,5 tCO₂eq. Les prix de l'énergie devraient augmenter à un taux de 3 % par an pour le gaz naturel et de 2 % par an pour l'électricité. Le prestataire garantit l'entretien préventif aux coûts spécifiés, avec une révision annuelle de 2,5 % et un taux d'actualisation de 6 % par an doit être appliqué. Les prix actuels sont d'environ 0,175 €/kWh pour l'électricité et 0,080 €/kWh pour le gaz naturel. Les émissions associées sont estimées à 0,204 kgCO₂eq./kWh pour le gaz naturel et 0,208 kgCO₂eq./kWh pour l'électricité.



57.4 Schéma des options de chauffage et de refroidissement



Operational Assumptions

Heating demand: 3,000 hours and 36 kW
Cooling demand: 1,500 hours and 24 kW
Peripheral system (pumping controlling) 0,5 kW – 3,000 hours
Energy costs: electricity €0.175/kWh, natural gas €0.080/kWh
Emission factors: electricity 0.208 kg CO₂eq/kWh, natural gas 0.204 kg CO₂eq/kWh

Financial Assumptions

Discount rate: 6% per year
Energy price escalation: gas 3% per year, electricity 2% per year
Labour for maintenance 2.5% per year

System A – Natural Gas Heating + Split AC Cooling

System Components and Costs:

- 36 kW natural gas boiler, 95% efficiency: €2,500
- 24 kW - 3 wall-mounted split AC units (COP 2.0): €2,000
- Installation cost: €1,200

Annual preventive maintenance:

- Boiler cleaning: €50
- AC refrigerant recharge: €100

Mid-Term Replacements (7 years):

- Burner replacement: €300
- Replacement of one AC unit: €650

End-of-Life Cost:

- System decommissioning after 15 years: €150

Environmental Impact:

- Total estimated carbon footprint: 0.9 tCO₂eq

System B – Reversible Heat Pump (More Expensive but More Eco-Friendly)

System Components and Costs:

- Reversible heat pump: €9,000 (heating COP 3.0, cooling COP 2.5)
- 3 ceiling-mounted fan coils (one per room): €250 each
- Heating power: 36 kW, Cooling power: 24 kW

Annual preventive maintenance:

- Boiler cleaning: €75
- Refrigerant recharge: €100

Mid-Term Replacements (15 years):

- Heat pump compressor replacement: €500
- Replacement of one fan coil

End-of-Life Cost:

- System decommissioning after 15 years: €150

Environmental Impact:

- Total estimated carbon footprint: 1.5 tCO₂eq

57.5 Saisie initiale de la feuille de calcul LCCA

Ouvrez le fichier fourni et :

- Saisissez l'emplacement du projet (province et ville) dans le fichier Excel.
- Définissez la durée de l'étude (40 ans maximum) ; 15 ans sont utilisés dans ce cas.
- Durée de vie typique des équipements : 15 à 20 ans avec un entretien normal.
- Sélectionnez le système de référence (A) et le système alternatif (B) à des fins de comparaison.

Systèmes analysés :

Système A : chaudière à gaz + climatiseur split

Système B : pompe à chaleur réversible

CAPEX and OPEX					
In this section, the simulation period for the financial feasibility study should be specified. The user should also provide the initial investment costs, preventive and corrective maintenance costs, and decommissioning or end-of-life costs for the solutions under study.					
Province	Porto	City	Trindade	Study Period [YEARS]	15
System A	Gas boiler (natural gas)	Split AC Wall-mounted	System B	Reversible heat pump	None
System A will serve as the reference system, or the system already installed at the site, to ensure proper comparison.			System B will be compared with System A to assess whether it represents a more advantageous alternative.		



Co-funded by
the European Union



57,6 Coûts initiaux

Investissement initial

Système A : 2 500 € (chaudière à gaz) + 2 000 € (climatiseurs split) + 1 200 € d'installation.

Système B : 9 000 € (pompe à chaleur) + 750 € (climatiseurs split) + 1 500 € d'installation.

Initial Investment of System A [Year 0]				
	Model/Intervention	pcs	unit price	TOTAL
1	Gas Boiler	1	€ 2,500.00	- 2,500.0 €
2	Split AC Wall-Mounted 3 rooms	1	€ 2,000.00	- 2,000.0 €
3	Intalation	1	€ 1,200.00	- 1,200.0 €
4	None		€ -	- €
5	None		€ -	- €
6	None		€ -	- €
7	None		€ -	- €
				- 5,700.00 €

Initial Investment of the System B [Year 0]				
	Model/Intervention	pcs	unit price	TOTAL
1	Reversible HP	1	€ 9,000.00	- 9,000.0 €
2	3 fan-coils	3	€ 250.00	- 750.0 €
3	Instalation	1	€ 1,500.00	- 1,500.0 €
4	None		€ -	- €
5	None		€ -	- €
6	None		€ -	- €
7	None		€ -	- €
				- 11,250.00 €



Co-funded by
the European Union



57.7 Entretien préventif

Entretien préventif (annuel)

Système A : 50 € pour le nettoyage de la chaudière + 100 € pour le rechargement en gaz R

Système B : 75 € pour le nettoyage du filtre de la pompe à chaleur + 100 € pour la recharge

Preventive maintenance of the System A [Annual Average]				
	Model/Intervention	pcs	unit price	TOTAL
1	Gas boiler Cleaning	1	€ 50.00	- 50.0 €
2	R-Gas	1	€ 100.00	- 100.0 €
3	None		€ -	- €
4	None		€ -	- €
5	None		€ -	- €
6	None		€ -	- €
7	None		€ -	- €
				- 150.00 €

Preventive maintenance of the System B [Annual Average]				
	Model/Intervention	pcs	unit price	TOTAL
1	Filters Cleaning	1	€ 75.00	- 75.0 €
2	R-Gas	1	€ 100.00	- 100.0 €
3	None		€ -	- €
4	None		€ -	- €
5	None		€ -	- €
6	None		€ -	- €
7	None		€ -	- €
				- 175.00 €



Co-funded by
the European Union



57.8 Maintenance corrective

Maintenance corrective

Interventions à mi-vie prévues pour maintenir les performances du système ; toutes les interventions auront lieu au cours de la 7e année

Système A : remplacement du brûleur (300 €) + remplacement éventuel de l'unité split

Système B : remplacement du compresseur (500 €) + remplacement éventuel de l'unité split et du convecteur (200 €)

Corrective maintenance / Equipment replacement of the System A					
Nº.	Intervention	Year	pcs	unit price	TOTAL
1	Burners	7	1	€ 300.00	- 300.0 €
2	Room Split	7	1	€ 650.00	- 650.0 €
3	None			€ -	- €
4	None			€ -	- €
5	None			€ -	- €
6	None			€ -	- €
7	None			€ -	- €
					- 950.00 €

Corrective maintenance / Equipment replacement of the System B					
Nº.	Intervention	Year	pcs	un price	TOTAL
1	Compressor	7	1	€ 500.00	- 500.0 €
2	Fan-coil	7	1	€ 200.00	- 200.0 €
3	None			€ -	- €
4	None			€ -	- €
5	None			€ -	- €
6	None			€ -	- €
7	None			€ -	- €
					- 700.00 €



Co-funded by
the European Union



57.9 Coûts de démantèlement ou de mise hors service

Démantèlement / élimination

Coûts d'élimination ou de démantèlement.

Disposal costs, decommissioning costs, or deconstruction costs of the System A					
Nº.	Intervention	Year	pcs	un price	TOTAL
1	Disposal	15	1	€ 150.00	- 150.0 €
2	None			€ -	- €
3	None			€ -	- €
4	None			€ -	- €
5	None			€ -	- €
6	None			€ -	- €
7	None			€ -	- €
					- 150.00 €

Disposal costs, decommissioning costs, or deconstruction costs of the System B					
Nº.	Intervention	Year	pcs	un price	TOTAL
1	Disposal	15	1	€ 150.00	- 150.0 €
2	None			€ -	- €
3	None			€ -	- €
4	None			€ -	- €
5	None			€ -	- €
6	None			€ -	- €
7	None			€ -	- €
					- 150.00 €

To perform the financial analysis considering only the difference in investment between the two solutions, please select this option.
(Initial investment of System B minus System A)



Co-funded by
the European Union



57.10 Conditions de fonctionnement et performance énergétique

Système A – Chaudière à gaz + climatiseur split

Chauffage : chaudière de 36 kW, 3 000 h/an, rendement de 0,95 → 108 000 kWh thermiques

Refroidissement : climatiseur split de 25 kW, 1 500 h/an, COP 2,0 → 40 500 kWh thermiques, 20 250 kWh d'électricité

Unité de contrôle : 0,5 kW × 3 000 h/an → 1 500 kWh ; rendement 1

Operating conditions of System A (Year 0) Eq.A1						
	Electric power	Thermal Power	Working Hours / year	COPIER or η	Annual Electricity Consumption	Total Delivered Power
	kW	kW	hours		kWh	kWh
Heating	0.0	36.0	3000.0	0.95	0	108,000
Cooling	13.5	27.0	1500.0	2.0	20,250	40,500
Auxiliary systems	0.5	0.0	3000.0	1.0	1,500	
Total					21,750	148,500

Système B – Pompe à chaleur réversible

Chauffage : 36 kW, COP 3,0 → 108 000 kWh thermiques, 36 000 kWh d'électricité

Refroidissement : 27 kW, COP 2,5 → 40 500 kWh thermiques, 16 200 kWh d'électricité

Unité de commande : 0,5 kW × 3 000 h/an → 1 500 kWh ; rendement 1

Operating conditions of System B (Year 0) Eq.B1						
	Electric power	Thermal Power	Working Hours / year	COPIER or η	Annual Electricity Consumption	Total Delivered Power
	kW	kW	hours		kWh	kWh
Heating	12.0	36.0	3000.0	3.00	36,000	108,000
Cooling	10.8	27.0	1500.0	2.5	16,200	40,500
Auxiliary systems	0.5	0.0	3000.0	1.0	1,500	
Total					53,700	148,500

Remarque : les deux systèmes répondent aux mêmes besoins en chauffage et en refroidissement



Co-funded by
the European Union



57.11 Coûts énergétiques pour l'analyse du cycle de vie (ACV)

Prix de l'énergie :

Gaz naturel : **0,08 €/kWh**

Électricité : **0,185 €/kWh**

Energy vector price 1		
Natural gas	€/kWh	0.080

Energy vector price 2		
Electricity	€/kWh	0.185

Energy vector price 3		
None	€/kWh	0.00

Système A – Chaudière à gaz + climatiseur split

Chauffage : 113 684 kWh de gaz → **9 094,74 €/an**

Refroidissement : 20 250 kWh d'électricité → **3 746,25 €/an**

Unité de commande : 1 500 kWh → **277,50 €/an**

Système B – Pompe à chaleur réversible

Chauffage : 36 000 kWh d'électricité → **6 660,00 €/an**

Climatisation : 16 200 kWh d'électricité → **2 997,00 €/an**

Unité de commande : 1 500 kWh → **277,50 €/an**

Energy Costs of System A / Eq.A1				
	Annual Energy Consumption kWh	Energy Vector	Energy Prices €	Costs with Energy €
Heating	113,684	Natural gas	0.080 €	9,094.74 €
Cooling	20,250	Electricity	0.185 €	3,746.25 €
Auxiliary systems	1,500	Electricity	0.185 €	277.50 €
Total				13,118.49 €

Energy Costs of System / Eq.B1				
	Annual Energy Consumption kWh	Energy Vector	Energy Prices €	Costs with Energy €
Heating	36,000	Electricity	0.185 €	6,660.00 €
Cooling	16,200	Electricity	0.185 €	2,997.00 €
Auxiliary systems	1,500	Electricity	0.185 €	277.50 €
Total				9,934.50 €



Co-funded by
the European Union



Remarque : les coûts énergétiques sont **des données essentielles** pour le calcul du LCCA



57.12 Paramètres financiers et environnementaux

Hypothèses financières :

Prix du gaz naturel : **+3 % par an**

Prix de l'électricité : **+2 %/an**

Coût de la maintenance préventive : **+2,5 %/an**

Taux d'actualisation : **6 % par an**

Facteurs d'émission :

Électricité : **0,208 kgCO₂/kWh**

Gaz naturel : **0,204 kgCO₂/kWh**

Émissions de carbone :

Système A : **0,9 tCO₂eq**

Système B : **1,5 tCO₂eq**

		Eq.A1	Eq.A2
Emissions Equipment Production [tCO ₂ eq]		0.9	0
Natural gas	Tiered rate [y]	3.00%	
Electricity	Tiered rate [y]	2.00%	
None	Tiered rate [z]	0.00%	
Maintenance tiered rate [m]		2.50%	
Discount tiered rate [r]		6.00%	

		Eq.B1	Eq.B2
Emissions Equipment Production [tCO ₂ eq]		1.5	0
Natural gas	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0.204	
Electricity	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0.208	
None	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0	



Co-funded by
the European Union



Remarque : les facteurs d'émission dépendent de la source d'énergie et de l'emplacement du projet.



57.12 Présentation des résultats

Résultats de l'ACV – Comparaison des systèmes (durée de vie de 15 ans)

Investissement initial (Cin) Coûts d'entretien (Cm)

Système A : 5 700 € Préventifs + correctifs

Système B : 11 250 €

Système A : 1 895 €

Système B : 2 311 €

Coûts énergétiques (Ce)

Système A : 134

825 €

Coûts d'élimination (Cd)

Les deux systèmes : 62,59

Coûts totaux du cycle de vie (LCC)

Système A : 142 483 €

Système B : 122 510 €

3 - LCCA - Results

This section will present the financial results of the simulation, the environmental assessment, and graphical representations of the results.

Economic parameters	
Discount rate	6.00%
Natural gas Tiered rate [y]	3.00%
Electricity Tiered rate [y]	2.00%
None Tiered rate [z]	0.00%
Maintenance tiered rate	2.50%
Study period	15.00
IRR Steps	1.00%

	System A	System B	DIFFERENCE
Initial Investment Cost (Cin)	- 5,700.00 €	- 11,250.00 €	- 5,550.00 €
Preventive Maintenance Costs (Co)	- 1,695.75 €	- 1,978.38 €	- 282.63 €
Corrective Maintenance Costs (Cr)	- 950.00 €	- 750.00 €	- 200.00 €
Total Maintenance Costs (Cm)	- 2,645.75 €	- 2,728.38 €	- 82.63 €
Disposal Costs (Cd)	- 150.00 €	- 150.00 €	- €
Total Energy Costs (Ce)	134,824.79 €	108,886.14 €	25,938.65 €
Total Costs w/o Cin	132,029.03 €	106,007.76 €	26,021.28 €
LCC	143,320.54 €	123,014.51 €	20,306.03 €
Emissions [kgCO2]	421,250	165,822	255,428

STUDY ECONOMIC INDICATORS		
DPP (1°)	4.01	Years
DPP (2°)		Years
NPV	14,771.28 €	Euros
IRR	25.68%	%
ROI	131%	%



Co-funded by
the European Union



57.13 Flux de trésorerie

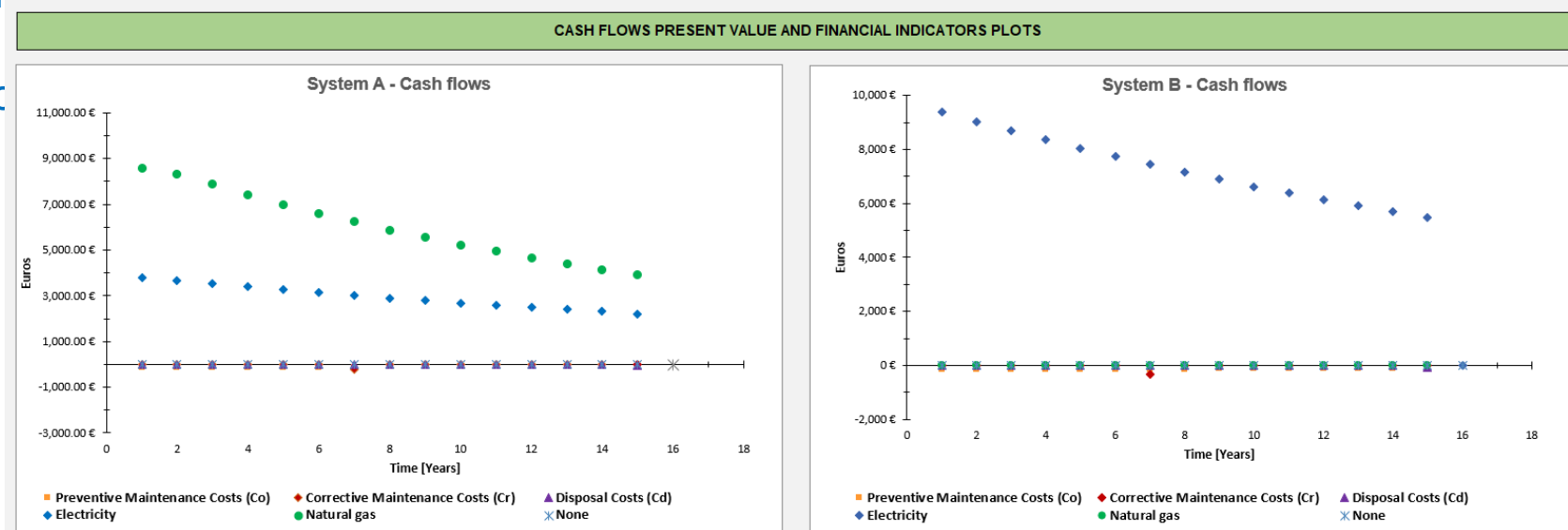
Quelques informations tirées des graphiques de flux de trésorerie

Les flux de trésorerie comprennent les coûts d'exploitation récurrents et les coûts ponctuels (remplacements, fin de vie).

La consommation d'énergie est le poste de coût le plus important.

Le système B (à haut rendement) présente des dépenses liées à l'énergie nettement inférieures à celles du système A.

La visualisation met en évidence la manière dont les catégories de coûts contribuent au coût total de possession. Permet de c



Co-funded by
the European Union



Graphiques des flux de trésorerie



57.14 Coût du cycle de vie

Le coût du cycle de vie sera exprimé en valeur actuelle

Catégories de coûts (pour les deux systèmes) :

Coûts d'investissement initiaux (Cin)

Coûts de maintenance préventive (Co)

Coûts de maintenance corrective (Cr)

Coûts de démantèlement / de fin de vie (Cd)

Coûts énergétiques (Ce)



**COÛT DU
CYCLE DE VIE**

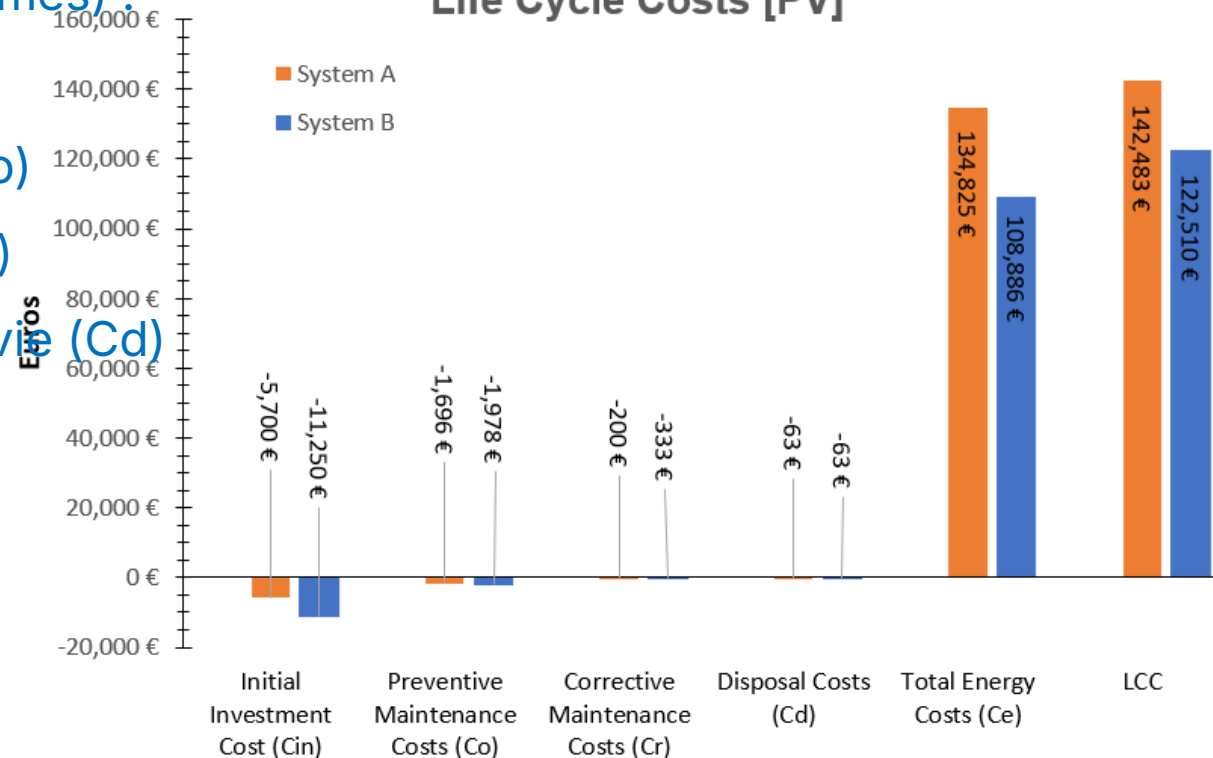
En valeur actuelle



Co-funded by
the European Union



Life Cycle Costs [PV]



Graphique du coût du cycle de vie – Valeurs actuelles



57.15 Indicateurs financiers – système B par rapport au système A

STUDY ECONOMIC INDICATORS		
DPP (1 ^o)	4.01	Years
DPP (2 ^o)		Years
NPV	15,171.12 €	Euros
IRR	26.02%	%
ROI	135%	%

Période de récupération actualisée (PRA)

4,01 ans

Valeur actuelle nette (VAN) :

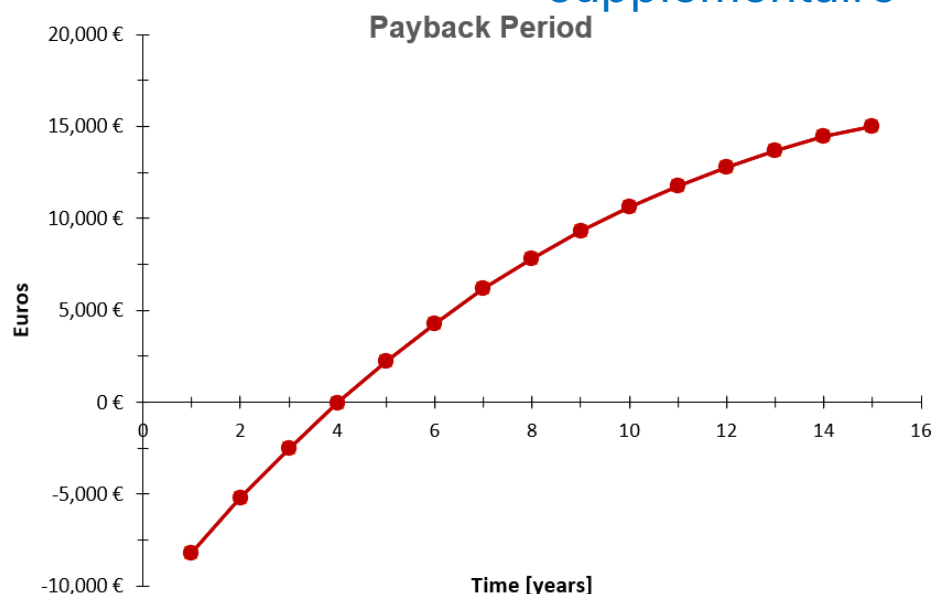
15 171 € → rendement positif de l'investissement supplémentaire

Taux de rendement interne (TRI) :

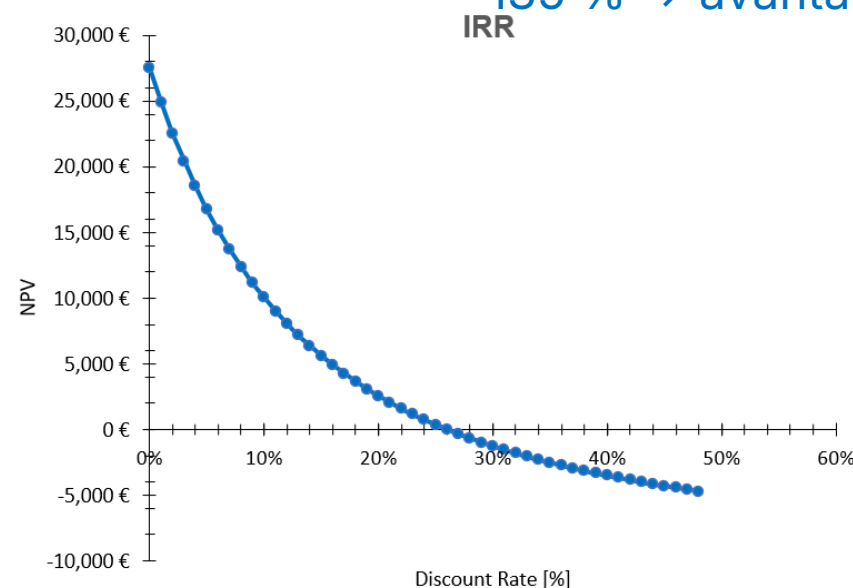
26,02 % → bien supérieur au taux d'actualisation

Retour sur investissement (ROI) :

135 % → avantage financier important



Graphique de la période de récupération



Graphique du TRI

57.16 Analyse des coûts du cycle de vie

Point clé :

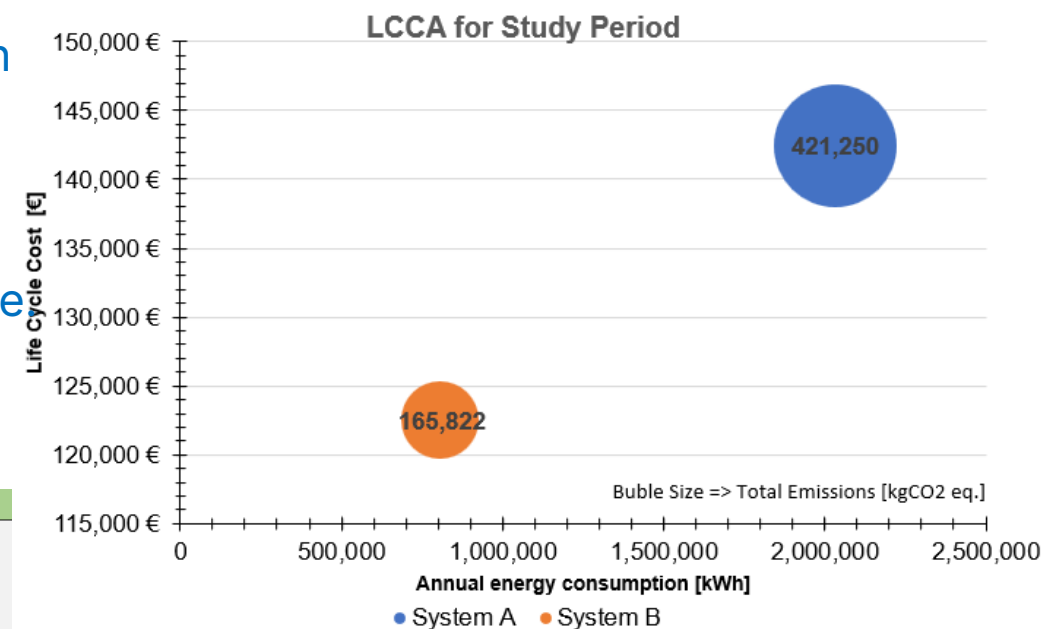
La solution B réduit la consommation d'énergie d'environ 60 %.

Réduction des émissions de CO₂ d'environ 61 %,
contribuant ainsi aux objectifs de développement durable
Économies de 19 973 € sur le cycle de vie sur 15 ans.

Malgré un coût initial plus élevé, la solution B est

**avantageuse tant sur le plan financier
qu'environnemental.**

Life Cycle Cost Analysis							
	System A			System B			
	Natural gas	Electricity	None	Natural gas	Electricity	None	DIFFERENCE
Emission factor [kgCO2 eq./kWh]	0.208	0.204	0	0.208	0	0	
Annual energy consumption [kWh]	143,694	59,390	0	0	0	0	
Total Energy Consumption [kWh]	2,031,513			805,500			1,226,013
Emissions energy vector [kgCO2 eq.]	354,695	164,322	0	0	0	0	
Total Project Emissions - LCA [kgCO2 eq.]	421,250			165,822			255,428
Life Cycle Cost - LCC [€]	142,482.65 €			122,509.63 €			19,973.02 €



Graphique LCCA

57.16 Conclusions

- Utiliser des données complètes et cohérentes (investissement, exploitation, maintenance, énergie, démantèlement, émissions).
- Appliquer les mêmes critères et la même période d'analyse à toutes les alternatives pour permettre une comparaison équitable.
- Distinguer les CAPEX (coûts d'investissement) des OPEX (coûts d'exploitation).
- Prendre en compte la valeur temporelle de l'argent à l'aide de taux d'actualisation (VAN, TRI).
- Évaluer plusieurs indicateurs financiers : VAN, TRI, ROI, délai de récupération.
- Prendre en compte les impacts environnementaux et sociaux (consommation d'énergie, émissions).
- Fonder les conclusions sur des comparaisons numériques objectives.
- Utiliser des tableaux et des graphiques pour présenter clairement les résultats clés.



Prendre en compte l'incertitude et l'analyse de sensibilité (prix de l'énergie, inflation, maintenance).



Références

Directives et règlements de l'UE

Directive sur la performance énergétique des bâtiments (UE/2024/1275, EPBD).
Pacte vert pour l'Europe et loi européenne sur le climat (règlement (UE) 2021/1119).
Conseil de l'UE. (12 avril 2024). *Communiqué de presse sur la révision de l'EPBD*.
Commission européenne. (2020). *Stratégie « Vague de rénovation »*.
Commission européenne. *Stratégies de rénovation à long terme (LTRS)*.

Rapports d'organisations

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (s.d.). *Rénovation en profondeur : vers un parc immobilier décarboné*.
BPIE. (2022). *Financer la vague de rénovation*.
Renovate Europe. (2020). *Stratégie de Renovate Europe pour un bâtiment économe en énergie*.
I4CE. (2024). *Rapport sur le déficit d'investissement climatique européen*.
I4CE. (2025). *État des investissements climatiques en Europe*.
Agence internationale de l'énergie (AIE). (2022/2023). *Financer la transition vers les énergies propres dans le secteur du bâtiment*.

Normes et directives techniques

ISO 14040:2006 (En). (2006). *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*. Genève, Suisse : Organisation internationale de normalisation.
Consulté sur <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
Whole Building Design Guide (WBDG). *Analyse des coûts du cycle de vie (LCCA)*. Extrait de <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>

Livres et manuels sur l'analyse des coûts du cycle de vie

Fuller, S. K. (2000). *Analyse des coûts du cycle de vie (LCCA) dans la gestion fédérale de l'énergie*.
Fuller, S. K., & Petersen, S. R. (1996). *Manuel sur le coût du cycle de vie pour le programme fédéral de gestion de l'énergie (Manuel NIST 135)*.
Département américain de la Défense. (1969). *L'analyse du coût du cycle de vie dans la politique d'acquisition d'équipements*.
Woodward, D. G. (1997). Calcul du coût du cycle de vie — Théorie, acquisition d'informations et application. *International Journal of Project Management*, 15(6), 335–343.
Dhillon, B. S. (2010). *Le calcul du coût du cycle de vie pour les ingénieurs*. CRC Press.

Normes et directives techniques

ISO 14040:2006 (En). (2006). *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*. Genève, Suisse : Organisation internationale de normalisation.
Consulté sur <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
Whole Building Design Guide (WBDG). *Analyse des coûts du cycle de vie (LCCA)*. Extrait de <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>

Références

Articles universitaires

- Maduta, C., Kakoulaki, G., Zangheri, P., & Bavetta, M. (s.d.). *Vers des logements économes en énergie et sans amiante grâce à la rénovation énergétique en profondeur*. Extrait de https://energy.ec.europa.eu/index_en?redir=1
- Copiello, S., Gabrielli, L., & Bonifaci, P. (2017). Évaluation de la rénovation énergétique des bâtiments dans des conditions d'incertitude : l'importance du taux d'actualisation. *Nom de la revue, volume* (numéro), pages.
- Andaloro, A., Salvalai, G., Fregonese, G., Tso, L., & Paoletti, G. (2022). Réduire les risques liés à la rénovation énergétique des immeubles de bureaux commerciaux grâce à l'évaluation des risques techniques et financiers. *Sustainability*, 14(Numéro), pages.
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). Le taux d'actualisation social dans l'évaluation des projets d'investissement : une application pour l'Équateur. *Nom de la revue, volume* (numéro), pages.
- Felicioni, L., Klepačová, K., & Hejtmánková, B. (2025). Évaluation économique de l'adaptation des bâtiments au changement climatique : une revue systématique des méthodes d'évaluation des coûts. *Nom de la revue, Volume*(Numéro), pages.
- Papangelopoulou, M. D., Alexakis, K., & Askounis, D. (2015). Méthodes d'évaluation des rénovations énergétiques des bâtiments, avec un accent sur l'évaluation financière : une revue systématique de la littérature. *Energy and Buildings*, 86, 431–444.
- Annexe 56 de l'EBC de l'AIE ; Ascione, F., et al. (2017). Annexe 56 de l'EBC : Optimisation rentable de la consommation d'énergie et des émissions de carbone dans la rénovation des bâtiments

Ressources financières en ligne

- Stobierski, T. (s.d.). *Qu'est-ce qu'une analyse coûts-avantages ? Processus en 4 étapes*. Harvard Business School Online. Consulté sur <https://online.hbs.edu/blog/post/cost-benefit-analysis>
- Investopedia. (s.d.). *Flux de trésorerie*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/c/cashflow.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Dépenses d'investissement (CapEx)*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Dépenses d'exploitation (OpEx)*. Consulté sur https://www.investopedia.com/terms/o/operating_expense.asp
- Investopedia. (s.d.). *Coût direct*. Extrait de <https://www.investopedia.com/terms/d/directcost.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Durée d'amortissement*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Valeur temporelle de l'argent*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/t/timevalueofmoney.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Valeur actuelle (VA)*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/p/presentvalue.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Période de récupération actualisée*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/d/discounted-payback-period.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Flux de trésorerie actualisés (DCF)*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/d/DCF.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Valeur actuelle nette (VAN)*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- Investopedia. (s.d.). *Retour sur investissement (ROI)*. Consulté sur <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>
- Abacum AI. (s.d.). *Entrées de trésorerie*. Consulté sur <https://www.abacum.ai/glossary/cash-inflows>
- Abacum AI. (s.d.). *Sorties de trésorerie*. Consulté sur <https://www.abacum.ai/glossary/cash-outflows>

