

RAPPORT

Service
des politiques de
l'immobilier et du bâtiment
(SPIB)

Département réhabilitation,
construction, innovation
(RéCI)

Janvier 2018

Travaux d'étude concernant le raisonnements économiques liés à la rénovation énergétique des bâtiments

Rapport de phase 2



PRÉFET
DE LA RÉGION
D'ÎLE-DE-FRANCE

Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement
d'Île-de-France

www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	31/03/17	Espelia
1	12/04/17	Mise à jour après relecture DRIEA
2	15/11/17	Dernières corrections et passage en version finale

Affaire suivie par

Gwenolé LE ROUX - Efficacité énergétique du parc résidentiel existant
Tél. : 01 40 61 84 02
Courriel : Gwenole.Le-Roux@developpement-durable.gouv.fr

Rédacteur

Isabelle LOUISET - Espelia

Relecteur

Gwenolé LE ROUX - Efficacité énergétique du parc résidentiel existant

Référence(s) intranet

<http://>

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION.....	5
1.1 - Rappel du contexte de l'étude.....	5
1.2 - Phase 2 de l'étude.....	5
2 - LES PRATIQUES ACTUELLES.....	6
2.1 - Base documentaire.....	6
2.2 - Les biais des pratiques actuelles.....	6
2.2.1 - Présentation de scénario de travaux de rénovation énergétique sans scénario 0.....	7
2.2.2 - Non prise en compte de la durée de vie.....	8
2.2.3 - Non prise en compte de l'effet de levier de l'emprunt.....	9
2.3 - Les indicateurs.....	10
2.4 - Les besoins des maîtres d'ouvrage.....	12
3 - PRÉFIGURATION DE LA MÉTHODE.....	13
3.1 - Classification des éléments à prendre en compte dans le raisonnement économique.....	13
3.1.1 - Structuration du raisonnement.....	13
3.1.1.a - Coût global.....	13
3.1.1.b - Scénario 0.....	13
3.1.1.c - Période d'analyse économique.....	17
3.1.2 - Flux de trésorerie à prendre en compte.....	19
3.1.2.a - Flux technico-économiques du projet.....	19
3.1.2.b - Surcoût de l'investissement initial.....	19
3.1.2.c - Surcoût de l'entretien – renouvellement.....	19
3.1.2.d - Gains sur les factures énergétiques.....	19
3.1.2.e - Valeur résiduelle.....	19
3.1.3 - Flux liés au financement du projet.....	20
3.1.3.a - Aides.....	20
3.1.3.b - Emprunts.....	20
3.1.4 - Enjeux transversaux.....	21
3.1.4.a - Inflation.....	21
3.1.4.b - Courbe d'apprentissage.....	22
3.1.4.c - Actualisation.....	22
3.1.5 - Enjeux complémentaires.....	24
3.2 - Classification des indicateurs.....	25
3.2.1 - Approche n°1 : Temps requis pour récupérer l'argent investi dans le projet.....	25
3.2.1.a - Le temps de retour sur investissement simplifié.....	25
3.2.1.b - Le délai de récupération d'un capital investi ou temps de retour sur investissement.....	26
3.2.2 - Approche N°2 : montant de l'enrichissement.....	28
3.2.2.a - La Valeur Actuelle Nette (VAN).....	28
3.2.3 - Approche n°3 : taux.....	29
3.2.3.a - Le Taux d'Enrichissement en Capital (TEC).....	29

3.2.3.b - Le taux de rentabilité interne (TRI).....	31
3.2.4 - Mode de présentation complémentaire des résultats.....	32
3.2.4.a - Le reste à charge mensuel.....	32
3.2.5 - Préconisations et suites de l'étude.....	34

1 - Introduction

1.1 - Rappel du contexte de l'étude

La Direction régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Île-de-France (DRIEA) a souhaité faire réaliser une étude sur les raisonnements économiques liés à la rénovation énergétique des bâtiments.

Cette étude présente un double objectif :

- construire une méthode robuste d'analyse économique et de rentabilité des travaux de rénovation énergétique qui reste accessible et facilement utilisable par des non-spécialistes ;
- mobiliser les acteurs pour co-construire la méthode et faciliter sa diffusion et son utilisation.

La méthode et l'outil ont vocation à être diffusés à l'échelle nationale pour une utilisation large par les bureaux d'étude thermique, les acteurs de l'accompagnement et éventuellement les maîtres d'ouvrages eux-mêmes (particuliers, bailleurs, ...).

1.2 - Phase 2 de l'étude

A la suite d'une phase de consultation avec les acteurs concernés (cf. Rapport de phase 1), l'étude s'est focalisée en phase 2 sur l'exposé des enjeux et problématiques du raisonnement économique de la rénovation énergétique.

Ce document constitue le rapport de phase 2.

2 - Les pratiques actuelles

2.1 - Base documentaire

Un benchmark des pratiques actuelles en termes de raisonnement économique de la rénovation énergétique a été réalisé sur la base de rapports d'audits ou diagnostics énergétique, de cahiers des charges d'audits ou diagnostics énergétiques mais également de présentations issues de bureaux d'étude thermiques lors d'intervention à des groupes de travail ou à des colloques sur la rénovation énergétique. Cette base documentaire est détaillée en annexe 1 du présent rapport.

Les échanges avec les acteurs de la rénovation énergétique qui réalisent ces analyses économiques (bureaux d'études thermiques, sociétés d'ingénierie financière), ceux à qui sont destinées ces analyses économiques (particuliers propriétaires, particuliers copropriétaires, bailleurs sociaux, ...) mais également les acteurs qui accompagnent les particuliers dans leur projet de rénovation (PRIS ANAH, PRIS EIE, ADIL, PTRE, opérateurs ANAH, syndicats de copropriété, ...) complètent ce benchmark. Les compte-rendus des échanges avec ces acteurs sont présentés en annexe 2.

2.2 - Les biais des pratiques actuelles

Les pratiques en termes de raisonnement économique de la rénovation énergétique sont hétéroclites et se sont améliorées au fil des années d'expérience de réalisation d'audits énergétiques. Cependant la majorité des audits et diagnostics énergétiques présentent des raisonnements économiques biaisés (indicateur faussé, non prise en compte de scénario 0, ...) ayant pour conséquence d'orienter la décision du maître d'ouvrage (particulier ou bailleur) vers des scénarios de travaux à faible niveau de performance énergétique ou de favoriser l'abandon de ces travaux par le maître d'ouvrage.

Les raisonnements économiques les plus évolués issus des derniers cahiers des charges en vigueur en 2017 et des rapports de bureaux d'études thermiques ou d'ingénierie financière ayant travaillé ce sujet présentent toujours des biais importants.

Les exemples présentés ci-dessous se focalisent sur les trois principaux biais des pratiques actuelles :

- La présentation de scénarios de travaux de rénovation énergétique sans scénario 0 ;
- Le calcul d'indicateur économique sans prise en compte des différences de durée de vie entre les équipements et les matériaux qui composent les différents scénarios de travaux ;
- L'arrêt du raisonnement à un calcul économique sans prendre en compte les conditions de financement du projet et notamment l'effet levier de l'emprunt.

Les enjeux liés à l'inflation du prix des énergies et à l'actualisation de la valeur de l'argent n'ont volontairement pas été intégrés à ces exemples car ils ne concernent pas un raisonnement en particulier mais constituent des ajouts méthodologiques. Ces enjeux seront toutefois traités dans la construction de la méthode.

2.2.1 - Présentation de scénario de travaux de rénovation énergétique sans scénario 0

Un des principaux biais est lié à la nature de l'investissement sur lequel est basé le calcul économique. Ce biais est illustré dans l'exemple suivant.



Le tableau ci-dessous présente plusieurs gestes de travaux de rénovation énergétique et détaille, pour chaque geste, le coût total des travaux (2ème colonne), le coût des travaux pour la pérennisation du bâti effectués en dehors de tout projet de rénovation énergétique (3ème colonne) et enfin (4ème colonne) la différence entre ces deux coûts qui constitue le surcoût lié à l'embarquement des travaux de rénovation énergétique.

Exemple d'actions (chiffres à titre d'illustration)	Coût total des travaux	Dont coût du scénario 0 (travaux à réaliser de toutes façons)	Dont surcoût lié aux des travaux de rénovation énergétique
Ravalement avec isolation	100 000 €	70 000 € (ravalement seul)	30 000 €
Réfection étanchéité toiture + isolation	50 000 €	40 000 € (étanchéité seule)	10 000 €
Changement chaudière en fin de vie par chaudière condensation	10 000 €	8 000 € (chaudière basique)	2 000 €
Changement de fenêtres en fin de vie par fenêtres haute performance	20 000 €	15 000 € (fenêtres basiques)	5 000 €

L'investissement à prendre en compte pour le calcul économique figure dans la dernière colonne : le surcoût lié aux travaux de rénovation énergétique, or beaucoup d'audits présentent des calculs basés sur le coût total des travaux (2ème colonne).

L'ADEME, l'APC et la Région Ile-de-France ont défini le **scénario 0** dans le cahier des charges de l'audit global comme « **besoin de travaux pour la pérennisation du bâti effectués en dehors de tout projet de rénovation énergétique** ».

Calculer la rentabilité de travaux de rénovation énergétique sans prendre en compte le scénario 0 constitue un raisonnement aberrant. Ce raisonnement a pour conséquence de surestimer de façon importante le montant de l'investissement réel à prendre en compte et ainsi sous-estimer d'autant la rentabilité des travaux. Le maître d'ouvrage est alors confronté à une rentabilité faible ce qui oriente sa décision vers l'affaiblissement de l'ambition de son projet voire vers le renoncement aux travaux.

2.2.2 - Non prise en compte de la durée de vie

L'exemple suivant permet d'illustrer l'impact de la non prise en compte de la durée de vie dans le raisonnement économique.



Deux scénarios de travaux ayant le même montant d'investissement et présentant le même niveau d'économie annuelle sur les dépenses énergétiques mais ayant des durées de vies significativement différentes (respectivement 30 ans et 10 ans) sont comparés.

Nature des travaux	Investissement (TTC)	Durée de vie	Économies sur les dépenses énergétiques annuelles
Scenario 1	100 000 €	30	5 000 €
Scenario 2	100 000 €	10	10 000 €

Deux raisonnements sont analysés :

- Le raisonnement sans prise en compte de la durée de vie, représenté par l'indicateur « temps de retour sur investissement »

Le temps de retour sur investissement est l'indicateur rencontré en majorité dans les rapports d'audit. Il est la plupart du temps calculé de façon très simplifiée : montant des investissements divisé par les économies annuelles sur les factures énergétiques.

- Le raisonnement prenant en compte la durée de vie, représenté par la somme des économies réalisées durant la durée de vie du scénario moins son investissement initial.

Durée de vie prise en compte	NON		OUI	
	Temps de retour sur investissement	Classement	Économies générées sur la durée de vie - Investissement	Classement
Scenario 1	20 ans	2	50 000,00 €	1
Scenario 2	10 ans	1	0,00 €	2

Le raisonnement sans prise en compte de la durée de vie aboutit à un classement antagoniste à celui du raisonnement prenant en compte la durée de vie.

La non prise en compte de la durée de vie biaise de façon importante le raisonnement économique et influe sur le choix des maîtres d'ouvrage en favorisant artificiellement les actions à vie courte (travaux sur les systèmes) au détriment des

actions à durée de vie plus longue (travaux sur l'enveloppe). Ce biais peut expliquer en partie pourquoi, suite à un audit, le maître d'ouvrage arbitre prioritairement en faveur de travaux sur les systèmes, et beaucoup plus rarement en faveur de travaux sur l'enveloppe.

2.2.3 - Non prise en compte de l'effet de levier de l'emprunt

Les principaux indicateurs de comparaison économique des scénarios rencontrés dans les rapports d'audits ne prennent pas en compte les conditions de financement des travaux. Ceci présente **un inconvénient majeur : le scénario n'est choisi qu'en fonction des fonds propres que le maître d'ouvrage possède, c'est à dire son épargne.**

L'exemple présenté ci-dessous illustre l'importance de prendre en compte les conditions de financement dans le raisonnement.



L'audit énergétique de la copropriété aboutit aux deux scénarios suivants :

Nature des travaux	Investissement (TTC)	Durée de vie	Économies sur les dépenses énergétiques annuelles	Économies générées sur la durée de vie - Investissement
Scenario A	50 000 €	20	5 000 €	50 000 €
Scenario B	20 000 €	20	1 500 €	10 000 €

Un ménage ne possède que 20 000€ de disponible sur son épargne pour réaliser les travaux :

- En raisonnant uniquement sur les fonds propres du ménage : seul le scénario B est accessible, les gains atteignables sur la durée de vie du scénario sont de 10 000€
- En faisant l'hypothèse que le ménage peut emprunter 30 000 € (frais de dossier : 1 000 €, Taux d'intérêt assurance incluse : 8% sur 10 ans) : le scénario A est accessible, les gains sont égaux aux économies générées moins les fonds propres moins le coût de l'emprunt (frais de dossier+annuités de remboursement) soit : 20 ans x 5 000€ - 20 000€ de fond propre – 45 709 € de coût de l'emprunt = 34 291 € Le tableau suivant confronte ces deux raisonnements :

Raisonnement	Épargne disponible (fonds propres)	Montant de l'emprunt	Coût de l'emprunt	Scénario choisi	Économies générées sur la durée de vie – fonds propres – coût de l'emprunt
Sans emprunt	20 000€	/	/	Scenario B	10 000 €
Avec emprunt	20 000€	30 000 €	45 709,00 €	Scenario A	34 291 €

Emprunter permet d'accéder à des scénarios de travaux plus ambitieux en terme d'économies d'énergie, ce qui répond aux politiques publiques, mais aussi plus rentables pour les maîtres d'ouvrage. Ceci constitue l'effet levier de l'emprunt.

Les résultats de la campagne OPEN 2015¹ conforte cet aspect des pratiques actuelles : seulement 1/5ème des ménages ayant réalisé des travaux de rénovation les a financés par un emprunt. Toutefois cette proportion monte à plus de 40% lorsqu'il s'agit de travaux performants ou très performants.

Intégrer les conditions de financement au raisonnement permet également de prendre en compte les avantages qu'apportent certains type d'emprunts, notamment l'Eco-prêt à taux zéro, liés à des travaux ambitieux, face aux conditions de prêt classiques (prêt à la consommation ou prêt immobiliers).

2.3 - Les indicateurs



Les résultats des calculs de rentabilité des travaux de rénovation énergétique sont présentés dans les audits sous forme d'indicateurs.

Trois grandes approches se distinguent en fonction de la nature de l'information véhiculée par l'indicateur :

- Approche n°1 : quel est le temps nécessaire au retour à l'équilibre économique ?
- Approche n°2 : de combien les travaux permettent-ils de m'enrichir dans l'absolu ?
- Approche n°3 : de combien les travaux permettent-ils de m'enrichir par rapport au montant de l'investissement ?
- Approche n°4 : coût du kWh économisé ou de la tonne de CO2 évitée

Le tableau suivant décrit ces quatre approches, l'information donnée, son impact sur les trois biais majeurs détaillés précédemment, son impact sur le classement des projets en fonction de l'ambition des travaux mais également leur fréquence d'utilisation dans les audits.

1 Observatoire Permanent de l'amélioration Energétique du logement – Campagne 2015 – Travaux achevés en 2014 - ADEME

Famille d'indicateur	Temps requis pour récupérer l'argent investi dans le projet		Montant de l'enrichissement total généré par le projet		Taux d'enrichissement à l'€ investi dans le projet			Coût d'un kWh ou d'une tonne de CO ₂ évitée	
Unité	Années		€		Sans unité		%	€	
Description	Temps de retour sur investissement brut	Temps de retour sur investissement actualisé	Valeur actuelle nette (VAN)	Création de valeur (≈ VAN simplifiée)	Taux d'enrichissement en capital	Taux d'enrichissement en capital simplifié	Taux de rentabilité interne	Coût d'un kWh (ou d'une tonne de CO ₂) ANNUELLEMENT évité	Coût d'un kWh (ou d'une tonne de CO ₂) évité
Mode de calcul simplifié	$\frac{\text{investissement}}{\text{économies annuelles}}$	$\frac{\text{investissement}}{\text{économies annuelles actualisées sur la durée d'analyse}}$	$\text{somme des flux actualisés générés par un projet sur sa durée de vie}$	$\text{sommes des économies sur la période d'analyse} - \text{investissement}$	$\frac{\text{valeur actuelle nette}}{\text{investissement}}$	$\frac{\text{gains cumulés}}{\text{investissement}}$	$\text{taux d'intérêt annuel moyen de l'investissement}$	$\frac{\text{investissement}}{\text{kWh}_{\text{ANNUELLEMENT évités}}}$	$\frac{- \text{gains cumulés}}{\text{kWh}_{\text{évités}}}$
								$\frac{\text{investissement}}{\text{tCO}_{2\text{ANNUELLEMENT évités}}}$	$\frac{- \text{gains cumulés}}{\text{tCO}_{2\text{évités}}}$
Facilité d'appropriation par un maître d'ouvrage non professionnel	Facile	Moyen	Complexe	Facile	Complexe	Facile	Complexe	Moyen	Moyen
Scénario 0	Prise en compte possible								
Différence de durées de vie entre les actions	Non prise en compte		Prise en compte		Prise en compte			Non prise en compte	Prise en compte
Effet de levier de l'emprunt	Non pris en compte	Prise en compte possible						Non pris en compte	Prise en compte possible
Ambition du scénario de travaux	Gomme les différences d'ambition entre scénarios		Met en évidence les scénarios ambitieux		Gomme les différences d'ambition entre scénarios			Gomme les différences d'ambition entre scénarios	
Fréquence d'utilisation actuelle	Très forte	Faible	Absente	Absente	Absente	Absente	Absente	Courante	Faible

Une description détaillée des indicateurs est présentée au paragraphe 3.2.



La famille d'indicateur la plus utilisée n'intègre pas un des paramètres clefs des travaux de la rénovation énergétique, la différence de durée de vie des gestes de travaux, et défavorise les projets ambitieux dans le classement.

L'approche en enrichissement absolu permet de préserver l'échelle du projet de rénovation énergétique alors que l'approche en taux d'enrichissement gomme cet aspect ce qui nivelle l'ambition des travaux.

Nous proposons de retenir l'approche en enrichissement absolu.

2.4 - Les besoins des maîtres d'ouvrage



Outre l'aide au choix d'un scénario de travaux, les ménages (propriétaires de maisons individuelles ou copropriétaires) se posent deux questions sur l'analyse économiques :

- une sur la forme : puis-je avoir confiance en les résultats présentés ?

Le raisonnement économique appliqué aux travaux de rénovations des logements des particuliers doit pouvoir être expliqué par les techniciens des bureaux d'études thermiques ou par les conseillers et compris par les particuliers. Sans cette compréhension, les particuliers n'atteindront pas le niveau de confiance nécessaire à la prise de décision.

- une sur le fond : ce projet va-t-il entrer dans mon budget ?

Les résultats de l'analyse économique doivent permettre aux maîtres d'ouvrage particulier de connaître l'impact du projet de travaux sur ses finances. Le particulier raisonne son budget à un pas de temps mensuel en cohérence avec son salaire (majoritairement mensualisé) et ses principales charges mensuelles (loyer ou crédit immobilier, factures énergétiques, ...).

3 - Préfiguration de la méthode

3.1 - Classification des éléments à prendre en compte dans le raisonnement économique



L'analyse des biais des pratiques actuelles et les échanges avec les acteurs de la rénovation énergétique ont permis de classer les principes directeurs de l'élaboration d'une méthode partagée.

Nous distinguons quatre types d'éléments :

- Les éléments structurant le raisonnement économique ;
- Les éléments chiffrés à prendre en compte dans le calcul ;
- Les enjeux transversaux ;
- Les enjeux complémentaires au raisonnement économique.

3.1.1 - Structuration du raisonnement

3.1.1.a - Coût global

Pour apporter de la justesse à l'analyse, il est nécessaire de raisonner en coût global. Cette méthode permet de considérer les travaux de rénovation énergétique comme un projet auquel est attaché un investissement initial mais également des coûts différés liés à l'entretien, la maintenance et le renouvellement.

Le **coût global** inclut :

- Le coût prévisionnel des travaux ;
- Le coût énergétique (coût des énergies primaires, coût de l'électricité) ;
- Le coût d'entretien des installations (P2) maintenance préventive et curative (mise en route, arrêt, réglages, contrôles de combustion, disconnecteur, ramonage, ...) ;
- Le coût de renouvellement prévisionnel du matériel lourd sur la durée d'analyse.

Un **coût global simplifié** qui n'intègre pas le coût d'entretien des installations a été évoqué en atelier. L'utilisation de ce coût global simplifié permettrait de ne pas multiplier les paramètres d'entrée de la méthode.

3.1.1.b - Scenario 0

L'analyse économique des travaux de rénovation énergétique doit être raisonnée en comparaison d'un scénario 0 de la vie du bâti.

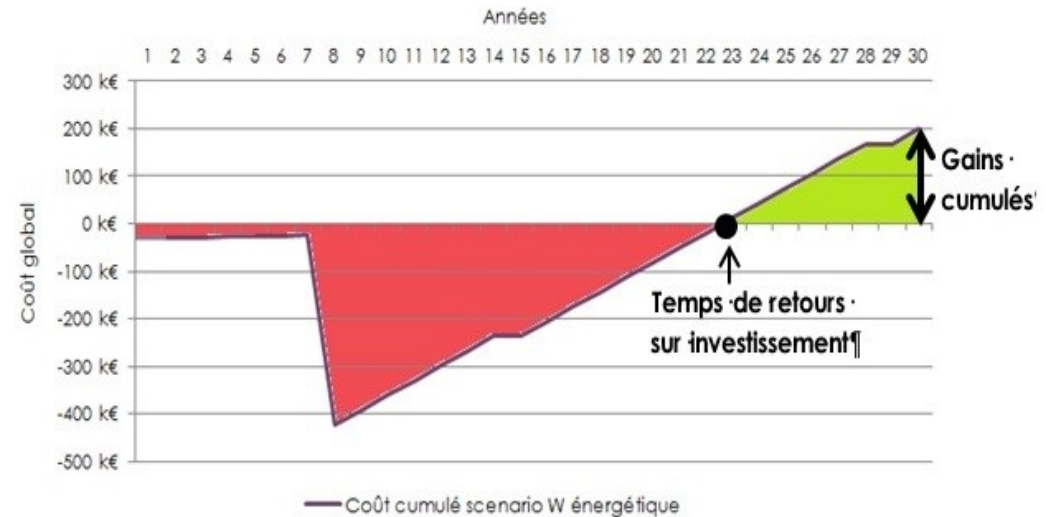
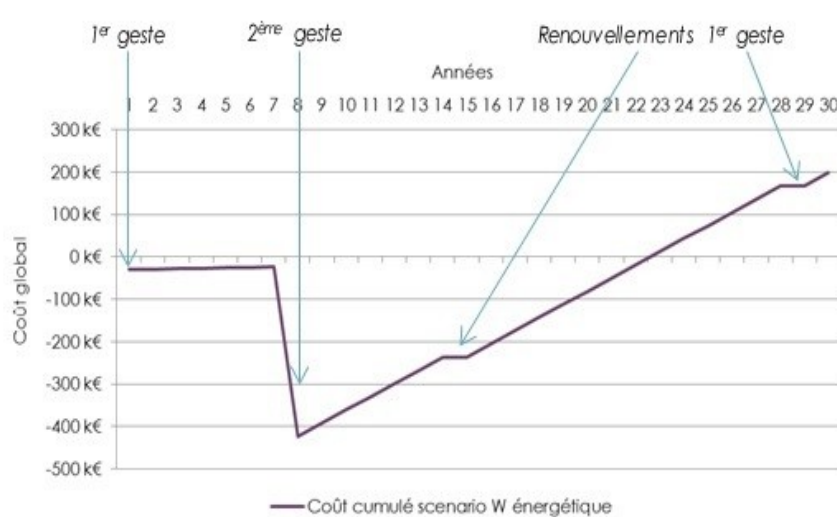
La démonstration suivante expose en détail l'intérêt de ce scénario 0. Deux modes de présentation d'un même scénario sont comparés :

- Une première présentation sans situation de référence : les coûts du scénario sont alors comparés à une situation fictive sans entretien ou renouvellement du bâti ou des équipements de chauffage.
- Une deuxième présentation avec scénario 0 : le scénario de travaux est alors mis en perspective du scénario 0, l'analyse économique du scénario est réalisé sur les surcoûts existant entre le scénario de travaux et le scénario 0.

Présentation d'un scenario sans scenario 0

Le scenario de travaux énergétiques comprend les gestes suivants (cf 1^{er} graphique) :

- 1^{er} geste en année 1 : 30 k€ d'investissement, 1 k€ d'économies annuelles, durée de vie de 14 ans
- 2^{ème} geste en année 8 : 400 k€ d'investissement, 30 k€ d'économies annuelles, durée de vie de 30 ans

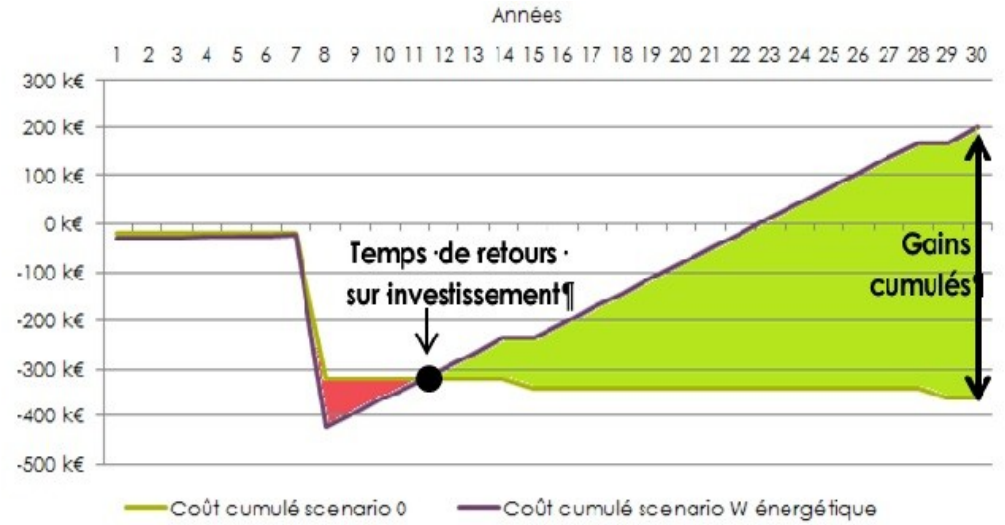
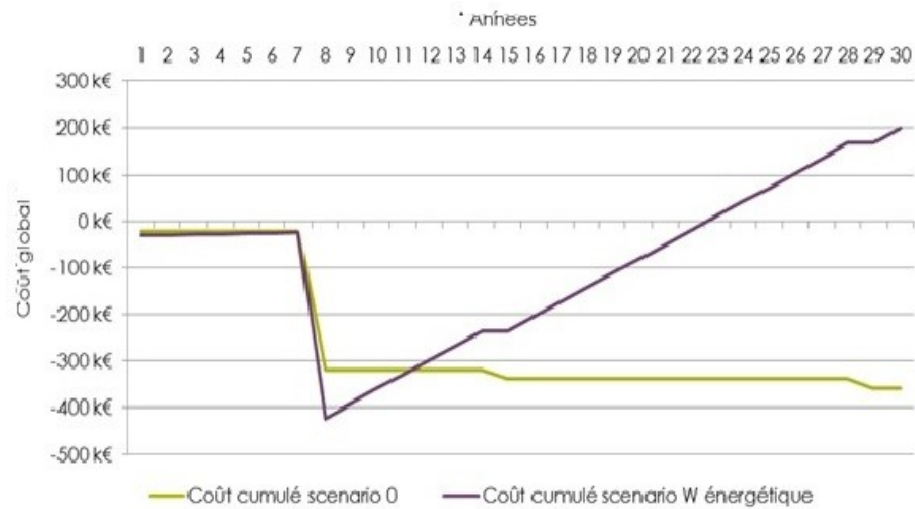


Cette première présentation sans situation de référence revient à indiquer un temps de retour sur investissement (renouvellement inclus) de 22,5 ans. Le taux de rentabilité interne (TRI) appliqué aux flux de trésorerie (investissement, économies et renouvellement) est de 4% et les gains cumulés (gains – investissement) sont de 200 k€.

Présentation d'un scenario et mise en perspective par rapport à un scenario 0

Le même scenario de travaux énergétiques est présenté, cependant il est comparé au scenario 0 suivant :

- Renouvellement d'un équipement d'une durée de vie de 14 ans : en années 1, 15 et 29
- Ravalement de façade en année 8



Cette présentation avec situation de référence revient à indiquer un temps de retour sur investissement (renouvellement inclus) de 11,25 ans. Le TRI appliqué aux flux de trésorerie du surcoût (surcoût d'investissement, économies et surcoût de renouvellement) est de 23% et les gains cumulés (gains – investissement) sont de + 560 k€.

Ainsi, quel que soit l'indicateur retenu, le raisonnement économique doit être réalisé en surcoût des scénarios de travaux énergétiques par rapport au scénario 0 pour ne pas diminuer sans raison la rentabilité.

3.1.1.c - Période d'analyse économique

Le raisonnement en coût global apporte la notion de temporalité de l'analyse.

Le périmètre temporel de l'analyse fait partie des paramètres dont le calibrage est crucial. La logique du raisonnement en coût global voudrait que la période d'analyse soit la durée de vie du projet. Cependant, une des difficultés provient de l'hétérogénéité des durées de vie et des périodes d'impact des équipements ou des travaux mis en œuvre au sein d'un même projet de travaux.

Plusieurs possibilités ont été évoquées lors de l'atelier et des échanges avec les acteurs sans toutefois qu'une des solutions soit plébiscitée par rapport à une autre. Ces possibilités sont décrites ci-dessous et leur impact étudié :

- **Durée de l'analyse = durée de vie la plus longue existante dans le bouquet de travaux**

Ce choix est celui qui se rapproche le plus de la durée de vie du projet puisque les gestes de travaux à durée de vie longue représentent la part majoritaire des investissements de rénovations énergétiques. Pour plus d'exactitude il serait nécessaire de caler la durée d'analyse sur la durée de vie du geste de travaux qui présente l'investissement le plus important.

Cette solution a toutefois l'inconvénient pour les ménages de devoir se projeter à un horizon lointain qui est en décalage avec leur temps de séjour dans un même logement (8 ans en moyenne).

De plus, le choix d'un périmètre temporel calé sur la durée de vie la plus longue entraîne l'émergence de nouvelles questions relatives au renouvellement des équipements à durée de vie inférieure intégrés dans le bouquet de travaux :

- Quelles technologies seront sur le marché à ces dates de renouvellement ?
- Quelle sera l'évolution des coûts pour une technologie équivalente sur la durée de l'analyse ?

Bien que les nouvelles technologies émergentes au cours de la période d'analyse ne puissent pas être prévues, deux positions sont possibles face à ces problématiques :

- Intégration d'une évolution des coûts en fonction de courbe d'apprentissage (cf paragraphe 3.1.3.2) ;
 - Raisonnement à coût constant : sachant que la problématique de l'évolution des coûts existe aussi bien dans le scénario 0 que dans les scénarios de travaux, il est envisageable de considérer que le surcoût soit peu impacté par cette dernière.
- **Durée de l'analyse = durée fixée**
 - Fixée à 20 ans : la durée de l'analyse peut être calée de façon arbitraire sur la durée de vie des équipements de chauffage

Cette solution présente l'inconvénient de réduire la rentabilité des gestes long terme puisque la totalité de l'investissement est pris en compte alors que la prise en compte des

gains sur les factures énergétiques s'arrêtent à 20 ans même s'ils continuent à exister a posteriori.

Il est possible de corriger partiellement ce biais en affectant les équipements à durée de vie longue d'une valeur résiduelle en fin de période d'analyse. Cette possibilité, traitée au paragraphe 3.1.2.1, a le défaut d'éloigner le raisonnement économique de la vie opérationnelle du bâtiment et de ses équipements et entraîne un niveau de complexité supplémentaire difficilement explicable aux ménages.

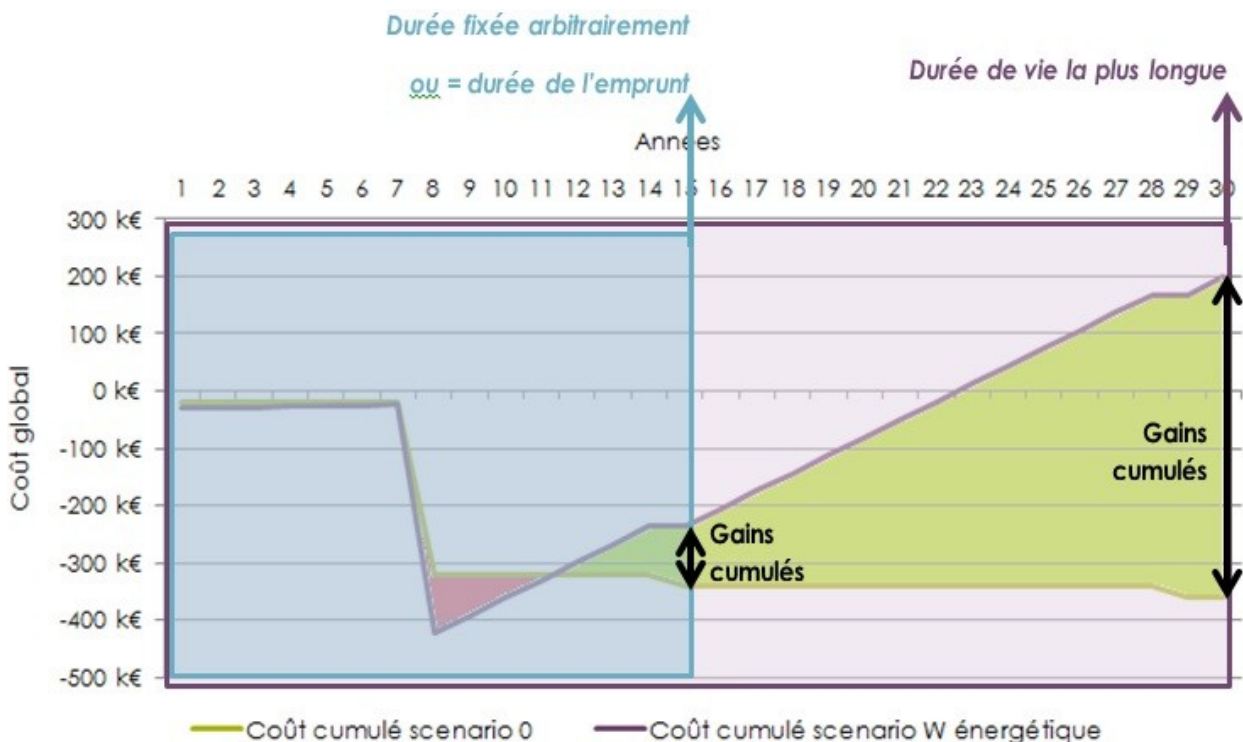
- Fixée à 40-50 ans : la durée de l'analyse peut être calée de façon arbitraire sur la durée de vie du bâti

Cette solution présente les mêmes avantages et inconvénients que de fixer la durée d'analyse sur la durée de vie la plus longue.

- **Durée de l'analyse = durée de l'emprunt**

Cette solution n'est envisageable que lorsque le financement des travaux de rénovations énergétiques repose en partie ou en totalité sur l'emprunt.

Fixer la durée d'analyse sur la durée de l'emprunt (10 à 20 ans) présente les mêmes biais que de fixer arbitrairement la durée à 20 ans. Ceci défavorise les gestes à durée de vie longue et réduit de façon générale la rentabilité des projets puisque les flux de trésorerie augmentent lorsque la période de remboursement de l'emprunt est finie.



Préconisation à valider sur la durée de l'analyse :

- durée de vie du geste de travaux qui présente l'investissement le plus important

3.1.2 - Flux de trésorerie à prendre en compte

La structuration décrite ci-dessus nous amène à décomposer le raisonnement économique en flux de trésorerie. Ces flux qui sont d'ordre technico-économique ou financier sont décrits ci-dessous.

3.1.2.a - Flux technico-économiques du projet

3.1.2.b - Surcoût de l'investissement initial

Il constitue un élément de base du calcul et est égal au montant de l'investissement du scénario de travaux de rénovation énergétique sur la période n moins le montant de l'investissement du scénario 0 sur cette même période.

3.1.2.c - Surcoût de l'entretien – renouvellement

Il constitue un élément de base du calcul et est égal au montant de l'entretien-renouvellement du scénario de travaux de rénovation énergétique sur la période n moins le montant de l'entretien-renouvellement du scénario 0 sur cette même période.

Une simplification est possible sur cet élément en ne considérant que les coûts liés au renouvellement. Cependant cette simplification biaise le calcul dans le cas où les renouvellements du scénario 0 ne s'effectuent pas sur la même temporalité que les renouvellements du scénario de travaux (par exemple : l'entretien d'une chaudière neuve est moins coûteuse que celui d'une chaudière âgée de 10 ans).

3.1.2.d - Gains sur les factures énergétiques

Ils constituent un élément de base du calcul et correspondent :

- Dans le cas classique : aux gains énergétiques de la période n multiplié par le prix de l'énergie sur cette même période ;
- Dans le cas où le scénario de référence inclus une obligation réglementaire de réaliser des travaux de rénovations énergétiques : le différentiel de gains énergétiques entre le scénario de travaux de rénovation énergétique et le scénario 0 multiplié par le prix de l'énergie.

L'inflation du prix des énergies est un facteur à prendre en compte puisqu'il peut être différentiant d'un scénario à un autre selon l'énergie utilisée. Cet élément fait l'objet du paragraphe 3.1.3.1.

3.1.2.e - Valeur résiduelle

Ce flux supplémentaire peut être ajouté en fin de période d'analyse : les gestes de travaux dont la durée de vie n'arrive pas à échéance à la fin de la période d'analyse se voient affecter d'une valeur résiduelle correspond à son coût d'acquisition diminué des amortissements opérés sur la durée d'utilité du bien. Ceci implique que les gestes de travaux et équipements soient considérés comme des biens amortissables.

La prise en compte d'une valeur résiduelle constitue un facteur de correction et augmente l'exactitude de la comparaison. Sans la prise en compte d'un tel flux, les scénarios de travaux pour lesquels la durée de vie de certains gestes n'arrive pas à échéance à la fin de la période d'analyse sont désavantagés.

Cependant, ce flux ne correspond pas à un flux réel de trésorerie et est plus complexe à expliquer à un ménage que les autres flux.

3.1.3 - Flux liés au financement du projet

3.1.3.a - Aides

Les aides sont un élément indispensable à prendre en compte puisqu'elles constituent des flux de trésorerie positifs inhérents à la réalisation des travaux de rénovations énergétiques. La temporalité de ce flux dépend de la nature des aides :

- Prise en compte en même temps que l'investissement initial qui se voit alors réduit d'autant :
 - dans le cas de la contractualisation de CEE avec des entreprises des agrégateurs ou avec des obligés ;
 - pour certaines aides des collectivités ;
 - pour les aides de l'ANAH.
- Prise en compte quelques mois après la facturation
 - cas de la TVA à taux réduit ;
 - cas de la contractualisation des CEE avec des fournisseurs de matériaux ;
 - cas de certaines aides des collectivités.
- Prise en compte 1 à 2 ans après la facturation
 - cas du Crédit d'Impôt pour la Transition Energétique - CITE (délai de 1 an après réalisation des travaux) ;
 - cas des CEE enregistrés sans intermédiaire ;
 - cas de certaines aides des collectivités.

Cas particuliers des copropriétés : le choix du scénario de travaux est réalisé à l'échelle de la copropriété mais les aides varient en fonction de la situation de chaque ménage (primo-accédant, revenus fiscaux, ...). Une solution serait d'intégrer uniquement au calcul les aides auxquelles tous les ménages peuvent être éligibles.

Une fois le scénario choisi, le calcul devra être personnalisé par copropriétaire en intégrant l'ensemble des aides auxquelles peuvent être éligible chaque ménage.

3.1.3.b - Emprunts

L'intégration des emprunts à travers les flux de trésorerie équivalents aux annuités de remboursement du ou des emprunts doit être réalisé en lieu et place de l'investissement initial.

Ces flux sont à intégrer seulement si les travaux sont financés en partie ou en totalité par un ou des emprunts.

Cas particuliers des copropriétés : le choix du scénario de travaux est réalisé à l'échelle de la copropriété mais les conditions d'emprunts varient en fonction de la situation de chaque ménage (primo-accédant, revenus fiscaux, âges, ...). L'emprunt ne peut pas être intégré à l'échelle de la copropriété. Cependant, une fois le scénario choisi, le calcul devra être personnalisé par copropriétaire en intégrant les conditions d'emprunts.

3.1.4 - Enjeux transversaux

3.1.4.a - Inflation

1. Position sur ce paramètre

L'inflation, qu'elle touche le prix des énergies ou le coût de la main d'œuvre ou des matériaux impacte la comparaison des scénarios de travaux entre eux et avec le scénario 0.

Nous proposons dans un premier temps d'intégrer l'inflation au calcul. Une fois l'outil créé, un travail de test de sensibilité permettra éventuellement de simplifier cette approche en préservant dans le calcul uniquement l'inflation dont l'impact est significatif (inflation du prix des énergies).

2. Hypothèses d'inflation

Des hypothèses d'inflation peuvent être appliquées sur les flux de trésorerie suivants :

- Le coût énergétique (coût des énergies primaires, coût de l'électricité) -> inflation des prix de l'énergie
- Le coût d'entretien des installations (P2) maintenance préventive et curative (mise en route, arrêt, réglages, contrôles de combustion, disconnecteur, ramonage, ...) -> inflation du coût de la main d'œuvre et du coût des matériaux
- Le coût de renouvellement prévisionnel du matériel lourd sur la durée d'analyse -> inflation du coût de la main d'œuvre et du coût des matériaux

Concernant l'inflation des prix des énergies, deux approches sont possibles :

- Hypothèse d'inflation basée sur les statistiques (exemple : base PEGASE de 1983 à 2017).

Cette solution nous amène à intégrer des taux d'inflation conservateurs qui ne prennent pas en compte les futures évolutions liées aux politiques publiques (TICGN, TICPE, ...). Il serait nécessaire de prendre en compte en sus de l'inflation basée sur les cours mondiaux de l'énergie les évolutions de fiscalité énergétique issues de la réglementation française ;

- Intégration d'hypothèses dépendant de modèles macroéconomiques (Mésange, Némésis, ThreeME).

Concernant l'inflation du coût de la main d'œuvre et des matériaux, nous proposons d'utiliser les hypothèses suivantes :

- Une hypothèse d'inflation à moyen terme : 3 premières années, 1,5%

- Une hypothèse d'inflation à long terme : à partir de la 4^{ème} année, 2%

3.1.4.b - Courbe d'apprentissage

1. Position sur ce paramètre

La courbe d'apprentissage est une loi empirique exposant l'amélioration de la qualité d'acquisition des connaissances ou de l'apprentissage en fonction du temps.

Selon cette loi, le coût de production des matériaux ou équipement diminuent avec le temps.

Ce paramètre amène un niveau de complexité supplémentaire pour une valeur ajoutée dans l'exactitude du calcul faible. Nous proposons de ne pas intégrer ce facteur dans le raisonnement économique.

2. Hypothèses d'apprentissage

Selon cette loi, le coût de production des matériaux ou équipement diminuent avec le temps selon l'équation suivante :

$$C(n) = C(1) \times n^{-a}$$

- $C(n)$ = Coût unitaire de la n-ème pièce produite
- Le coefficient a de la courbe d'expérience a été évalué par le Boston Consulting Group pour divers secteurs industriels et varie de 75% à 90%

Le coefficient applicable au secteur du bâtiment serait 80%.

3.1.4.c - Actualisation

1. Position sur ce paramètre

L'actualisation de l'euro permet de déterminer la valeur à aujourd'hui de flux de trésorerie qui se produiront dans le futur. La nécessité d'intégrer l'actualisation est d'autant plus important que la durée de l'analyse est longue. L'actualisation permet de comparer des sommes reçues ou versées à des dates différentes et est basé sur les deux principes suivants :

- un euro d'aujourd'hui vaut plus qu'un euro de demain ;
- un euro certain vaut plus qu'un euro espéré.

Cependant, l'actualisation a pour effet de diminuer la rentabilité brute des projets de travaux puisque la majorité des dépenses sont réalisées à échéance courte (investissement initial) alors que les recettes sont réalisées tout au long de la période d'analyse (gains sur les factures énergétiques).

2. Hypothèses d'actualisation

Plusieurs méthodes permettent de fixer le taux d'actualisation, trois méthodes sont présentées ici :

- Taux d'actualisation obtenu par l'arbitrage

Une méthode simple consiste à fixer le taux d'actualisation au niveau de rentabilité d'un autre projet dans lequel le maître d'ouvrage pourrait investir. Cet autre projet peut tout

simplement être l'épargne, dans ce cas le taux d'actualisation est égal au taux d'intérêt de ce placement.

Cette méthode permet de prendre en compte le principe relatif au temps mais pas celui relatif au risque et aboutit à des taux d'actualisation variant de 0,75% à 2% selon le type d'épargne considéré.

- **Modèle d'évaluation des actifs financiers**

Le taux d'actualisation est calculé à partir de trois paramètres : le taux sans risque pour la France, la volatilité des actions et la prime de risque du marché des actions. Cette méthode s'applique davantage aux entreprises qu'aux personnes physiques et permet de calculer le coût moyen des capitaux investis. Cette méthode aboutit à des taux d'actualisation élevés avoisinant les 8%.

- **Modulation du taux d'actualisation en fonction du temps**

Selon l'économiste belge Christian Gollier, l'utilisation d'un taux d'actualisation identique pour différents horizons temporels n'a pas de justification théorique et ne permet pas de prendre en compte les intérêts des générations futures. Christian Gollier propose, entre autre, de considérer une série de taux d'actualisation dépendant de l'horizon de temps et correspondant au taux d'intérêt de maturité équivalente.

Cette méthode aboutit à des taux d'actualisation s'échelonnant entre 0% jusqu'à 2,85% à 30 ans en passant par 1,25% à 10 ans.

Préconisation à valider

Dans une version simplifiée de l'outil, fixer le taux d'actualisation à 0 % (ce qui permet de faire « disparaître » ce paramètre et simplifier le calcul).

Intégration de l'actualisation avec un taux équivalent :

- **Dans le cas où le maître d'ouvrage est un ménage :**

- **à 0 % pour « doper la rentabilité » et favoriser les arbitrages en faveur de travaux ambitieux**
- **pour la part du projet financé sur fond propre : au taux d'intérêt moyen des dépôts des ménages ;**
- **pour la part du projet financé par emprunt : au taux d'emprunt.**

- **Dans le cas où le maître d'ouvrage est un bailleur social : au coût moyen des capitaux investis (soit 8% de base en laissant ce paramètre ajustable par l'utilisateur).**

3.1.5 - Enjeux complémentaires

La possibilité d'intégrer au raisonnement économique les enjeux liés à la valeur verte du logement, à sa valeur patrimoniale, aux gains sur la santé, aux gains sur le confort, à l'amélioration de l'esthétisme du bâtiment mais également les enjeux liés à d'autres facteurs

macro-économiques (coût environnemental évité, création d'emplois locaux) ont été étudiées.

L'intégration de ces éléments au raisonnement est possible en monétisant les gains de confort, d'esthétisme ou encore de santé. L'intégration de la valeur verte ou de la valeur patrimoniale demanderait quant à elle une analyse fine du marché immobilier ciblée sur le secteur géographique du projet de rénovation énergétique.

Toutefois, l'intégration de ces éléments viendrait perturber le raisonnement purement budgétaire en le mélangeant avec des informations micro et macro-économiques.

Le choix de se focaliser sur un raisonnement budgétaire a été réalisé. Ces enjeux complémentaires, qui revêtent toutefois une importance remarquable, pourraient venir compléter le raisonnement budgétaire mais n'y seront pas intégrés. Conclusions sur les principes directeurs

La méthode proposée intègre les principes directeurs suivants :

- Structuration du raisonnement : en coût global, par rapport à un scénario 0, sur une période d'analyse égale à la durée de vie du geste de travaux qui présente l'investissement le plus important
- Flux de trésorerie pris en compte :
 - Surcoût de l'investissement initial ou différentiel d'annuités de remboursement du et/ou des emprunts contractés par rapport au scénario 0
 - Aides aux travaux
 - Surcoût de l'entretien-renouvellement
 - Gains sur les factures énergétiques
 - Différentiel de valeurs résiduelles du projet en fin de période par rapport au scénario 0 (facteur de correction par rapport à la différence de durée de vie)

3.2 - Classification des indicateurs



L'objet de cette partie est d'analyser la capacité de chaque indicateur à refléter les principes directeurs de la méthode.

3.2.1 - Approche n°1 : Temps requis pour récupérer l'argent investi dans le projet

Nous considérons ici les indicateurs financiers, c'est-à-dire les éléments d'aides à la décision du maître d'ouvrage qui concernent la rentabilité financière du projet et notamment sa capacité à pouvoir le financer.

3.2.1.a - Le temps de retour sur investissement simplifié

- **Description**

Cet indicateur sert à déterminer le temps requis (généralement le nombre d'années) pour récupérer l'argent investi dans le projet. Il est également appelé délai de récupération.

- **Éléments pris en compte**

La version simplifiée du temps de retour sur investissement ne prend ni en compte la durée de vie des gestes de travaux ni les coûts ou surcoûts d'entretien et renouvellement du bâti.

Il est possible de calculer un temps de retour simplifié sur les surcoûts mais celui-ci se limitera aux surcoûts de l'investissement.

Cet indicateur ne permet pas de prendre en compte les économies sur les factures énergétiques au-delà de la première année.

- **Formule de calcul**

$$\text{Temps de retour simplifié} = \frac{\text{Investissement}}{\text{Economies annuelles réalisées}}$$

- **Complexité**

La version simplifiée du temps de retour sur investissement (ou délai de récupération du capital investi) est extrêmement simple à calculer et compréhensible par les particuliers.

- **Conclusion sur le temps de retour sur investissement simplifié**

	Avantages	Inconvénients
Description / Unité		Ne permet pas de savoir si un scénario est rentable Ne permet pas de comparer plusieurs scénarios entre eux.
Exhaustivité		Seuls les investissements et les

	Avantages	Inconvénients
Présentation et explication Conclusion	Simple et connue	économies annuelles sont intégrés
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Information faussée Comparaison faussée qui favorise les travaux à durée de vie faible ou à investissement faible	

3.2.1.b - *Le délai de récupération d'un capital investi ou temps de retour sur investissement*

- **Description**

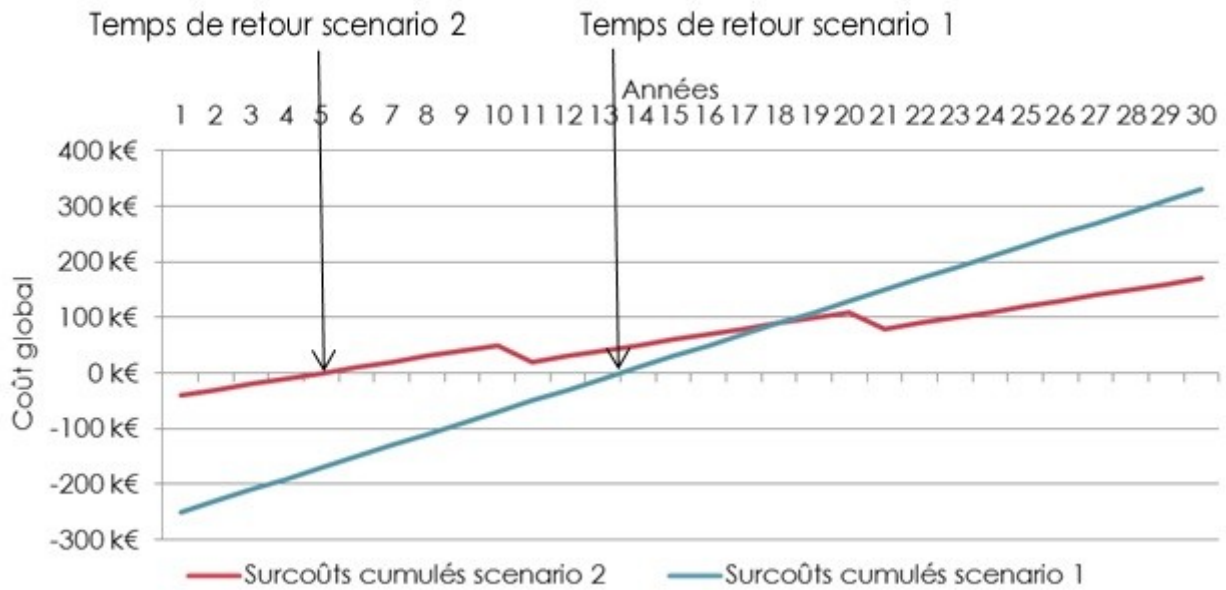
Le délai de récupération du capital investi est le temps au bout duquel le montant cumulé des flux de trésorerie actualisés est égal au capital investi. L'actualisation est faite aux taux de rentabilité minimum exigé par le maître d'ouvrage (particulier ou bailleur).

- **Éléments pris en compte**

Le délai de récupération est calculé à partir des flux de trésorerie du projet, il peut prendre en compte tous les éléments dans le calcul (investissement, aides, annuité de l'emprunt, coûts de renouvellement et entretien, valeur résiduelle).

Il est possible de calculer un délai de récupération sur les surcoûts (différentiel d'investissement, aides, différentiel d'annuité d'emprunt, différentiel de renouvellement, différentiel de la valeur résiduelle) et ainsi avoir un raisonnement intégrant le scénario 0.

Cet indicateur ne permet pas de prendre en compte les économies sur les factures énergétiques postérieures à la période de récupération. Ainsi sur le graphique suivant, bien que la valeur dégagée par les travaux du scénario 1 est supérieure à celle du scénario 2 (VAN de 330 k€ pour le scénario 1 contre 140 k€ pour le scénario 2), le temps de retour du scénario 2 est nettement inférieure à celui du scénario 1 (5 ans contre 13,5 ans).



• **Formule de calcul**

$$I = \sum_{n=1}^D FT_n (1 + t)^{-n}$$

Avec

- **FT_n** montant du n-ième flux de trésorerie,
- **n** le numéro du flux de trésorerie encaissé,
- **t** taux d'actualisation,
- **I** investissement initial (à la date 0)
- **D** le délai de récupération recherché.

• **Complexité**

Les flux de trésorerie nécessaires au calcul sont facilement calculables à partir des données connues par les Bureaux d'études thermiques.

La complexité de cet indicateur réside dans le fait que son calcul n'est pas compréhensible par un particulier lambda voir même par un ingénieur thermique ou un conseiller info énergie.

Cependant, sa définition et l'information donnée sont compréhensibles par les particuliers.

• **Conclusion sur le délai de récupération du capital**

Description / Unité	Avantages	Inconvénients
		Ne permet pas de juger de la

	Avantages	Inconvénients
Exhaustivité	Permet d'intégrer tous les éléments souhaités sous forme de flux de trésorerie	rentabilité intrinsèque d'un scénario projet car les économies sur les factures énergétiques postérieures à la période de récupération ne sont pas prises en compte. Ne permet pas de comparer des gestes de travaux entre eux dès lors qu'ils n'ont pas la même durée de vie.
Présentation et explication	Connue	Intègre des notions financières complexes
Conclusion	Information partielle	
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Favorise les scénarios pour lesquels les flux (gains-dépenses) sont les plus élevés sur la première période d'analyse (période de récupération du capital).	

3.2.2 - Approche N°2 : montant de l'enrichissement

3.2.2.a - La Valeur Actuelle Nette (VAN)

- **Description**

La valeur actuelle nette (VAN) est une mesure de la rentabilité d'un investissement calculée comme la somme des flux de trésorerie engendrés par cette opération sur sa durée de vie. Chaque flux de trésorerie est actualisé de façon à réduire son importance dans cette somme à mesure de son éloignement dans le temps.

Une version simplifiée de la VAN qui s'apparenterait au gains cumulés des travaux pourrait être calculer en sommant sur la durée d'analyse les gains sur les factures économiques sur la durée du projet et en soustrayant les investissements (investissement initial et renouvellement).

La valeur actuelle nette mesure si l'investissement peut réaliser les objectifs attendus des apporteurs de capitaux. Une VAN positive indique que l'investissement peut être entrepris. La VAN permet également de comparer des scénarios.

- **Éléments pris en compte**

La VAN est calculée à partir des flux de trésorerie du projet, elle peut prendre en compte tous les éléments dans le calcul (investissement, aides, annuité de l'emprunt, coûts de renouvellement et entretien, valeur résiduelle).

Il est possible de calculer une VAN sur les surcoûts (différentiel d'investissement, aides, différentiel d'annuité d'emprunt, différentiel de renouvellement, différentiel de la valeur résiduelle) et ainsi avoir un raisonnement intégrant le scénario 0.

- **Formule de calcul**

$$VAN = \sum_{n=1}^N FT_n (1 + t)^{-n}$$

Avec

- FT_n montant du n-ième flux de trésorerie (l'investissement étant le 1er flux de trésorerie)
- n le numéro du flux de trésorerie encaissé,
- N le nombre de FT (hors investissement),
- t le taux d'actualisation

• **Complexité**

Les flux de trésorerie nécessaires au calcul sont facilement calculables à partir des données connues par les Bureaux d'études thermiques.

La complexité de cet indicateur réside dans le fait que sa définition et son calcul n'est pas compréhensible par un particulier lambda voir même par un ingénieur thermique ou un conseiller info énergie.

Si cet indicateur venait à être retenu une définition plus simple qui insiste sur le fait que le projet est rentable si la VAN est positive devrait être utilisée.

• **Conclusion sur la VAN**

	Avantages	Inconvénients
Description / Unité	Permet de savoir si un scénario est rentable	
Exhaustivité	Permet de comparer plusieurs scénarios entre eux Permet d'intégrer tous les éléments souhaités sous forme de flux de trésorerie	
Présentation et explication		Intègre des notions financières complexes
Conclusion	Information globale et usage approprié	
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Comparaison exacte sur la durée du raisonnement économique	

3.2.3 - Approche n°3 : taux

3.2.3.a - Le Taux d'Enrichissement en Capital (TEC)

• **Description**

Le Taux d'Enrichissement en Capital (TEC) est par définition le ratio entre la valeur

actuelle nette du projet (VAN) et son coût d'investissement initial.

Une version simplifiée du TEC peut être calculé en utilisant la VAN simplifiée : Gains cumulés des travaux sur la durée de l'analyse divisé par l'investissement.

- **Éléments pris en compte**

Le calcul du TEC se base sur le calcul de la VAN, il peut prendre en compte tous les éléments dans le calcul (investissement, aides, annuité de l'emprunt, coûts de renouvellement et entretien, valeur résiduelle).

Il est possible de calculer un TEC sur les surcoûts sur la base d'une VAN différentielle (différentiel d'investissement, aides, différentiel d'annuité d'emprunt, différentiel de renouvellement, différentiel de la valeur résiduelle) et ainsi avoir un raisonnement intégrant le scénario 0.

- **Formule de calcul**

$$TEC = \frac{VAN}{I}$$

Avec

- **I** investissement initial (à la date 0)
- **VAN** la valeur actuelle nette

- **Complexité**

Les flux de trésorerie nécessaires au calcul sont facilement calculables à partir des données connues par les Bureaux d'études thermiques.

La complexité de cet indicateur réside dans le fait que sa définition et son calcul n'est pas compréhensible par un particulier lambda voir même par un ingénieur thermique ou un conseiller info énergie.

Si cet indicateur venait à être retenu une définition plus simple qui insiste sur le fait que le projet est rentable si le TEC est positive devrait être utilisée.

- **Conclusion sur le TEC**

	Avantages	Inconvénients
Description / Unité	Permet de savoir si un scénario est rentable	
	Permet de comparer plusieurs scénarios entre eux	
Exhaustivité	Permet d'intégrer tous les éléments souhaités sous forme de flux de trésorerie	
Présentation et explication	Information compréhensible (taux)	Intègre des notions financières complexes
Conclusion	Information globale et usage approprié	

	Avantages	Inconvénients
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Comparaison exacte sur la durée du raisonnement économique	

3.2.3.b - Le taux de rentabilité interne (TRI)

- **Description**

Le TRI correspond au taux d'actualisation pour lequel la VAN est nulle. Soit le seuil d'équilibre entre le montant de l'investissement et les flux de trésorerie actualisés. Le TRI permet de savoir si un projet est rentable, notamment en comparant le TRI du projet par rapport aux taux d'intérêt bancaire, cependant il ne permet pas de comparer plusieurs projets entre eux.

- **Éléments pris en compte**

Le TRI est calculé à partir des flux de trésorerie du projet, il peut prendre en compte tous les éléments dans le calcul (investissement, aides, annuité de l'emprunt, coûts de renouvellement et entretien, valeur résiduelle).

Il est possible de calculer un TRI sur les surcoûts (différentiel d'investissement, aides, différentiel d'annuité d'emprunt, différentiel de renouvellement, différentiel de la valeur résiduelle) et ainsi avoir un raisonnement intégrant le scénario 0.

- **Formule de calcul**

$$VAN = 0 = \sum_{n=1}^N \frac{FT_n}{(1 + TRI)^n} - I$$

Avec

- **FT_n** montant du n-ième flux de trésorerie,
- **n** le numéro du flux de trésorerie encaissé,
- **N** le nombre de FT (hors investissement),
- **I** investissement initial (à la date 0)
- **TRI** le taux de rentabilité interne recherché.

Lorsqu'on utilise le TRI, ceci suppose implicitement que le montant des rentrées nettes de fonds (économies réalisées une fois le délai de récupération du capital investi passé) sur toute la durée du projet puisse être réinvesti à ce même taux de rendement interne. Il est toutefois possible de définir une formule de calcul plus complexe (méthode du taux de rendement interne modifié ou TRIM) qui intègre le taux d'intérêt payé pour le financement de la trésorerie et le taux d'intérêt perçu sur le placement de la trésorerie excédentaire.

- **Complexité**

Les flux de trésorerie nécessaires au calcul sont facilement calculables à partir des données connues par les Bureaux d'études thermiques.

La complexité de cet indicateur réside dans le fait que sa définition et son calcul n'est pas compréhensible par un particulier lambda voir même par un ingénieur thermique ou un conseiller info énergie.

Si cet indicateur venait à être retenu une définition plus simple qui insiste sur le fait que le projet est rentable si le TRI est supérieur aux taux d'intérêt bancaire devrait être utilisée.

- **Conclusion sur le TRI**

	Avantages	Inconvénients
Description / Unité	Permet de savoir si un scénario est rentable	Ne permet pas de comparer plusieurs scénarios entre eux. Suppose que la trésorerie excédentaire est placée au même taux.
Exhaustivité	Permet d'intégrer tous les éléments souhaités sous forme de flux de trésorerie	
Présentation et explication	Taux qui peut être comparé au taux d'intérêt bancaire	Intègre des notions financières complexes
Conclusion	Information globale mais usage partiel	
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Pour le TRI : favorise les scénarios qui incluent des travaux à durée de vie courte.	
	Pour le TRIM : favorise les scénarios qui incluent des travaux à durée de vie longue.	

3.2.4 - Mode de présentation complémentaire des résultats

Les trois approches précédentes ne répondent pas au besoin des particuliers de savoir si le projet de travaux entre dans leur budget. Nous proposons de combler ce besoin en adossant un mode de présentation complémentaire à l'indicateur économique. Il s'agit du reste à charge mensuel.

3.2.4.a - Le reste à charge mensuel

- **Description**

Le reste à charge mensuel des ménages constitue les charges résiduelles à payer par les ménages après intégration des aides et de l'emprunt. Ce reste à charge est l'information essentiel d'aide à la décision des ménages dans un projet de rénovation énergétique.

Le reste à charge varie en fonction de la période considérée (période de remboursement de l'emprunt, période post-remboursement, ...). Pour apporter une information complète il est nécessaire de fournir le reste à charge pour chaque mois sur la durée de l'analyse.

- **Éléments pris en compte**

Le reste à charge est calculé à partir des flux de trésorerie du projet, il peut prendre en compte tous les éléments dans le calcul (investissement, aides, annuité de l'emprunt,

coûts de renouvellement et entretien, valeur résiduelle).

Il est possible de calculer un reste à charge sur les surcoûts (différentiel d'investissement, aides, différentiel d'annuité d'emprunt, différentiel de renouvellement, différentiel de la valeur résiduelle) et ainsi avoir un raisonnement intégrant le scénario 0. Cependant, cet indicateur a pour objectif d'indiquer au ménage l'impact de ce projet sur son budget, il est ainsi indispensable de faire figurer le reste à charge mensuel entier et non uniquement le reste à charge différentiel entre le scénario de travaux énergétique et le scénario 0.

- **Formule de calcul**

$$\text{Reste à charge}_m = FT_m$$

Avec

- **FT_m** montant des flux de trésorerie du mois m

- **Complexité**

Les flux de trésorerie nécessaires au calcul sont facilement calculables à partir des données connues par les Bureaux d'études thermiques.

Cet indicateur est facilement compréhensible par les ménages puisqu'il est calé sur la temporalité du raisonnement budgétaire des ménages.

- **Conclusion sur le reste à charge**

	Avantages	Inconvénients
Description / Unité	Permet au ménage de juger de sa capacité à financer le projet Permet de comparer plusieurs scénarios entre eux mais seulement sur une période donnée (emprunt en cours, emprunt soldé)	Ne permet pas d'avoir une vision globale du projet mais seulement une vision mois par mois Ne permet pas de juger de la rentabilité d'un scénario
Exhaustivité	Permet d'intégrer tous les éléments souhaités sous forme de flux de trésorerie	
Présentation et explication	Information très compréhensible	
Conclusion	Information segmentée (mois par mois)	
Impact sur la comparaison des scénarios de travaux	Comparaison exacte sur la durée du raisonnement économique	

3.2.5 - Préconisations et suites de l'étude

Nous préconisons de retenir une présentation des résultats sous deux formes à utiliser en parallèle :



- pour estimer la rentabilité d'un projet de travaux et comparer des projets de travaux entre eux : un indicateur d'enrichissement sur la durée d'analyse, le différentiel de VAN entre le scenario de travaux de rénovation énergétique et le scenario 0 ;
- pour permettre au maître d'ouvrage d'estimer sa capacité à financer le projet le reste à charge mensuel.

Par rapport aux indicateurs habituellement utilisés, cette double présentation des résultats comporte l'intérêt :

- de permettre d'éviter les biais classiques en intégrant un raisonnement en surcoût par rapport à un scenario 0, de prendre en compte la différence de durée de vie entre scenario et ainsi de réorienter les arbitrages vers des travaux de rénovation ambitieux qui ont été déclassés par les pratiques actuelles ;
- d'intégrer, grâce à l'actualisation des flux, la question de l'effet de levier de l'emprunt ;
- de délivrer une information dans une unité compréhensible par des ménages : un montant d'€, et leur permettant d'arbitrer en faveur de leur réel intérêt financier ;



La suite de l'étude consiste à fixer les paramètres à prendre en compte pour limiter la complexité de calcul, afin que l'analyse économique soit réalisable par un non-spécialiste et compréhensible par un ménage.

Des tests de sensibilité de résultats seront réalisés pour évaluer l'intérêt de chaque paramètre dans l'objectif de conserver uniquement les paramètres indispensables.